

한국의 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 및 외국인직접투자 유입 간 인과관계 분석

박창대 · 김성원 · 박중구[†]

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과

(2019년 4월 5일 접수, 2019년 5월 2일 수정, 2019년 5월 7일 채택)

An Analysis on Causalities Among GDP, Electricity Consumption, CO₂ Emission and FDI Inflow in Korea

Chang-dae Park · Sung-won Kim · Jung-gu Park[†]

Dept. of Energy Policy, Seoul National University of Science and Technology

(Received 5 April 2019, Revised 2 May 2019, Accepted 7 May 2019)

요 약

본 논문은 한국을 대상으로 1976년부터 2014년까지 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출과 외국인직접투자(FDI) 유입 간 인과관계를 단위근 검정, 공적분 검정, 벡터오차수정모형(VECM)을 적용하여 분석한다.

분석의 결과는 다음과 같다. 첫째, 경제성장과 전력소비 간에는 장기적으로 양방향의 인과관계가 나타나, 상호관계를 고려하지 않은 전력소비절약정책은 경제성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석되었다. 둘째, CO₂ 배출은 경제성장에 대한 단방향의 장단기적인 인과관계와 전력소비에 대한 단방향의 장기적인 인과관계를 나타내, CO₂ 배출 감축정책이 경제성장과 전력소비에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석되었다. 셋째, FDI 유입은 경제성장에 대해 단방향의 장기적인 인과관계를, 전력소비에 대해 단방향의 장단기적인 인과관계를 나타내, FDI 유입이 상대적으로 저렴한 전력소비비용에 기반을 둔 것으로 분석되었다. 반면, FDI 유입은 CO₂ 배출에 대해서는 인과관계가 없는 것으로 나타났는데, 이는 서비스 산업 중심으로 이루어지는 FDI의 특성에 따른 것으로 분석되었다.

이러한 네 변수 간 인과관계들을 고려할 때, 능동적인 전력수요관리를 위한 기술개발의 확대와 화석연료에서 신재생에너지로의 신중한 전환을 위한 정책 등이 모색되어야 한다. 또한 FDI 유치의 증대에 대응하여 에너지절약 시설 투자 및 설치를 통해 전력소비 감축을 유도할 필요가 있다.

주요어 : 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출, 외국인직접투자 유입, 한국

Abstract - This article analyzes causal relationships among gross domestic product(GDP), electricity consumption, carbon dioxide(CO₂) emission and foreign direct investments(FDI) inflow of Korea over the period from 1976 to 2014, using unit root test, cointegration test, and vector error correction model(VECM). As the results, this article found ① a long-run bi-directional causality between GDP and electricity consumption, which may imply a negative impact of electricity consumption-saving policy on economic growth, ② uni-directional short- and long-run causalities running from CO₂ emission to GDP, and a uni-directional long-run causality running from CO₂ emission to electricity consumption, which can result in a negative impact of CO₂ emission reduction policy on economic growth and electricity consumption, ③ a uni-directional long-run causality running from FDI to GDP, and uni-directional short- and long-run causalities running from FDI to electricity consumption, which may result from relatively lower electricity prices than investing countries, ④ no causality between FDI and CO₂ emission, which is based on the characteristics of FDI composed of service industries.

[†]To whom corresponding should be addressed.

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

Considering the above causal relationships among the four variables, the policy implication needs to focus on the electricity demand management based on the relevant R&Ds, and on the gradual transition from fossil fuel- to renewable-energy. Adaptive policy to increase the FDI inflow is also needed.

Key words : Economic growth, Electricity consumption, CO₂ emission, FDI Inflow, Korea

1. 서론

2015년 파리에서 열린 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21)에서는 기온 상승의 폭을 1.5℃로 제한하기 위해 선진국과 개발도상국 구분 없이 모든 국가가 스스로 결정한 온실가스 감축 기여방안(Nationally Determined Contributions, NDCs)을 5년 단위로 제출하고 이행하기로 합의를 하였다. 감축의 방식은 선진국의 경우 절대량 감축 목표를 유지하는 반면, 개발도상국들에게는 나라별 여건을 감안하여 경제성장률과 전력소비 등 경제 전반을 포괄하는 목표를 점진적으로 채택하도록 독려하고 있다. 또한 개발도상국의 협약 대응을 원활히 할 수 있도록 선진국의 재원 공급 의무를 규정하고 이를 장려하고 있다. 이를 위해 선진국이 개발도상국에 대해서 연구개발(Research & Development, 이하 R&D) 협력 및 이전 등 직·간접적인 투자를 진행할 것으로 보인다. 실제로 2017년 개발도상국은 선진국 등으로부터 국내총생산(Gross Domestic Product, 이하 GDP) 대비 외국인직접투자(Foreign Direct Investment, 이하 FDI) 유입비율이 32.6%를 기록하고 있는 것으로 나타났다(UNCTAD, 2019).

이와 같은 FDI 유입은 투자유치국에게 기술이전, 산업연관효과, 고용증대, 자본형성 등의 파급효과를 미치는 것으로 알려져 있다(Lee, 2015). 그러나 FDI의 유입으로 인해 투자유치국의 생산능력은 증대되지만, 오염의 수준 역시 전반적으로 증가하는 문제가 발생할 수 있는 것으로 분석되고 있다(Pao & Tsai, 2011). 또한 다국적기업들이 본국의 환경규제 강화로 인한 비용증가를 회피하기 위해 규제가 낮은 국가로 시설을 이전하고 있어 FDI 유치와 환경보호 정책 간 충돌이 발생할 수 있다. 우리나라의 경우 1997년 외환위기 이후 외국인투자촉진법이 제정되고 FDI 유치를 위한 여러 정책들이 시행되었으나, 다른 국가에 비해 그 규모가 작은 것으로 나타났다(MOTIE & KOTRA, 2017).

이와 같은 상황을 반영하여 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출, FDI 유입 등을 종합적으로 고려한 연구

들이 다수 등장하고 있다(AI-Mulali & Tang, 2013; Khachoo & Sofi, 2014; Kim, 2019; Kiviyiro & Arminen, 2014; Linh & Lin, 2015; Pao & Tsai, 2011). 그러나 그 결과들은 지역과 특성에 따라 상이하게 나타나, 이들 변수 간 관계는 상대적인 것으로 판단된다. 반면 우리나라를 대상으로 한 연구에서는 경제성장률과 전력소비 간 관계(Yoo, 2005; Baek & Kim, 2012)나 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 간 관계(Lee, 2012; Roh et al., 2016)를 분석한 사례는 있으나, FDI를 포함하여 네 변수를 분석한 연구는 외국에 비해 미흡한 것으로 보인다.

이에 본 논문은 한국을 대상으로 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 그리고 FDI 유입 간 인과관계를 분석하기로 한다. 분석방법론으로는 본 논문에서 고려하는 변수들이 추세를 가지고 있는 변수임을 감안하여 단위근 검정을 수행하고, 검정의 결과 각 변수들이 불안정할 경우 변수 간 장기 관계가 있는지 여부를 추정하는 공적분 검정을 수행한다. 그리고 공적분이 존재할 경우 벡터오차수정모형(Vector Error Correction Model, 이하 VECM)을 적용하여 변수 간 장·단기 인과관계를 확인하기로 한다.

본 논문은 1장 서론에 이어, 2장에서는 선행연구를 고찰한다. 3장에서는 분석에 사용되는 1976~2014년 기간 우리나라 통계의 내용과 구체적인 분석방법론을 제시하고, 4장에서는 분석된 결과를 제시하기로 한다. 마지막으로 5장에서는 분석내용의 요약 및 정책적 시사점을 제시하고 분석의 한계 및 추후 연구과제에 대해 언급한다.

2. 선행연구

에너지정책 분야에서 경제성장, 전력소비¹⁾, CO₂ 배출, FDI 유입 등을 고려한 선행연구들은 두 변수 간 관계를 고려한 분석에서 세 변수 이상 다변량 변수 간 관계를 고려한 분석으로 확장되어 다양하게 이루어져 왔다(Table 1. 참조).

우선, 경제성장을 중심으로 두 변수 간 관계를 분석한 논문을 살펴보면, 경제성장률과 전력소비 간의

1) 본 논문은 전력소비를 활용하고 있는 반면, 일부 논문(Acheampong, 2018; Ang, 2007; Pao & Tsai, 2010; Soytaş & Sari, 2009; Lee, 2012; He et al., 2012; Yildirim, 2014; AI-Mulali & Tang, 2013; Khachoo & Sofi, 2014; Kim, 2019; Kiviyiro & Arminen, 2014; Linh & Lin, 2015; Pao & Tsai, 2011; Baek, 2016; Shahbaz et al., 2018)은 에너지소비로 대신하고 있음.

관계와 경제성장과 CO₂ 배출 간의 관계를 주로 분석하고 있다(Yoo, 2005; Yoo & Kwak, 2010; Baek & Kim, 2012; Al-Mulali et al., 2015; Kim & Jo, 2017). 분석 결과는 장·단기적으로 변수 상호 간에 다양한 인과관계가 존재하는 것으로 나타났으며, 이는 세부방법론이나 시차의 설정의 차이에 기인한 것으로 보인다. 구체적으로, 한국의 경제성장과 전력소비 간의 분석은 CO₂를 비롯한 온실가스 감축을 위해서 유발원인 중 하나인 전력소비를 감소하는 노력이 필요하지만, 다른 한편으로 전력소비 감소가 경제성장에 부정적인 영향을 초래할 수 있다는 정책적 충돌도 발생하고 있다(Yoo, 2005; Baek & Kim, 2012). 그러나 여러 연구 결과에도 불구하고, 경제성장이나 전력소비 간 인과관계는 지역과 특성에 따라 다르게 나타나 명확하지 않은 것으로 보인다. 또한 경제성장 초기에는 CO₂ 배출이 증가하다가 일정 수준에 도달한 이후에는 CO₂ 배출이 감소한다는 환경쿠즈네츠가설(EKC)(Al-Mulali et al., 2015)이나 경제성장과 CO₂ 배출 간 탈동조화(decoupling) 현상(Kim & Jo, 2017)을 검증하는 시도들이 있다. 그러나 이 역시 분석 대상에 따라 그 결과가 상이하게 나타났다.

한편, Soytaş & Sari(2009)는 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 등 세 변수 간 인과관계가 중요한 정책적 함의를 내포하고 있기 때문에 이들을 모두 고려하여 연구를 수행해야 한다고 주장하고 있다. Acheampong(2018)은 탄소배출을 고려하지 않은 경제성장과 에너지소비 간 분석은 정책적 기여를 하지 못하며 에너지소비가 CO₂ 배출에 직접적인 영향을 미치는 것을 감안할 때 통합적 분석의 필요성을 지지하고 있다. 특히 Ang(2007)은 3변량을 고려한 분석이 경제·에너지·환경 대상 정책 간 상충의 문제를 해결하는데 도움이 될 것이라고 주장하고 있다. 구체적으로 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 간 관계를 살펴보면, 두 변수 분석들과 마찬가지로 분석 대상에 따라 다양한 인과관계가 있음을 확인할 수 있다(Acheampong, 2018; Ang, 2007; Cowan et al., 2014; Pao & Tsai, 2010; Soytaş & Sari, 2009; Lee, 2012; Roh et al., 2016). 이들 연구의 특징들을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 3변량의 분석은 분석대상을 어디로 설정하느냐에 따라 결과가 다르게 나타난 것을 확인할 수 있었으며, 이는 지역의 이질성이 분석결과에 영향을 미치는 중요한 요인이라고 할 수 있다. Acheampong(2018)이나 Cowan et al.(2014) 등의 연구는 같은 조건과 방법론을 이용하여 여러 대상의 국가나 지역을 대상으로 분석을 수행하였으며, 그 결과 대상에 따라 인과관계가 다르게 나타

났다. 한국을 대상으로 하는 Roh et al.(2016)와 Lee (2012)의 연구도 세 변수 간 장기 인과관계는 동일하게 나타났으나, 단기 인과관계는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 차이는 자료 분석기간이나 최적시차 선정에 기인한 것으로 보인다. 따라서 분석하고자 하는 지역의 특성을 고려하여 적절한 자료의 분석기간이나 시차를 선정하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 등에 FDI 유입을 포괄하는 논문들은 다음과 같다. 우선, FDI 유입을 중심으로 두 변수 간 관계를 살펴보면, Choi(2015)는 FDI 유입과 경제성장 간 인과관계를 분석한 선행연구 23개를 조사한 결과 양방향, 단방향의 인과관계뿐만 아니라 이들 사이에 인과관계가 없다는 연구결과들이 공존하는 것으로 나타났다. 이는 인과관계가 투자시기, 현지국의 정치경제상황·인프라 수준·제도 등에 따라 영향을 받는 것으로 보고 있다. 또한 Kim & Park(2014)의 연구에서는 중국을 8개 지역으로 나누어 분석한 결과 화동(East) 지역에서만 FDI 유입과 지역경제성장 간 양방향의 단기 인과관계가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 지역별 인적자본 보유정도, FDI 유입여건, 지방정부 정책 차이 등에 기인한 것으로 보고 있다. 이 밖에도 Hoffmann et al.(2005)는 다국적기업 등이 환경관련 비용을 절감하기 위해 규제가 낮은 국가로 이전한다는 오염 피난처 가설(Grossman & Krueger, 1991)을 검증하기 위해 다수의 국가를 대상으로 FDI 유입과 CO₂ 배출 간의 인과관계를 분석한 결과, 중소득 국가는 FDI 유입이 CO₂ 배출에 영향을 미치는 반면 저소득 국가에서는 CO₂ 배출이 FDI 유입에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 구체적으로, 한국에 대한 FDI 유입의 영향을 분석한 Oh & Oh(2015)는 FDI와 에너지소비 간 실증 분석을 수행한 결과, 선진국으로부터 우리나라에 유입된 FDI가 기업의 에너지사용량 증가를 유발하는 것으로 나타났으며 개도국으로부터 유입된 FDI보다 그 효과가 큰 것으로 나타났다. Hwang et al.(2015)은 국내에 유입된 FDI 유형별로 CO₂ 배출에 미치는 영향을 분석한 결과, Greenfield형 FDI가 M&A형 FDI보다 영향의 정도가 높은 것으로 나타났다.²⁾ 한편 Kim & Lee(2014)는 FDI를 유치한 기업이나 관련 정부기관의 관계자와 심층인터뷰를 진행한 결과, 저렴한 전기요금과 느슨한 환경규제가 우리나라의 외국인 제조업체 투자의 유인이라고 주장하고 있다.

FDI 유입을 중심으로 분석한 2변량 연구 외에 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 등을 같이 고려한 3변량 분석을 수행한 연구도 있다. Lee(2009)는 말레이

2) Greenfield형 FDI는 투자유치국에 공장이나 사업장을 설립하는 형태를, M&A형 FDI는 투자유치국의 기업을 인수 및 합병하는 형태를 의미함.

시아를 대상으로 경제성장, CO₂ 배출, FDI 유입 간의 인과관계를 분석한 결과, 장·단기에 걸쳐 FDI 유입과 GDP 간 양방향으로 영향을 미쳤으며, CO₂ 배출은 GDP에 단기적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. Peng et al.(2016)은 중국의 16개 도시별로 인과관계를 분석한 결과, 도시별로 FDI 유입과 CO₂ 배출, FDI 유입과 경제성장 간의 인과관계가 다양하게 나타났다. Yildirim(2014)의 연구는 76개국 별로 에너지소비, CO₂ 배출, FDI 유입 간 인과관계 분석을 수행하였는데, 한국에서는 FDI 유입과 CO₂ 배출 간에, 그리고 FDI 유입과 에너지소비 간에 인과관계를 찾을 수 없었다.

한편 Pao & Tsai(2011)는 환경오염에 영향을 미치는 또 다른 결정요인으로 금융발전의 대리변수인 FDI 유입을 고려해야 한다고 언급하고 있으며, 이에 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출, FDI 유입을 종합적으로 고려한 연구들이 등장하기 시작하였다(Al-Mulali & Tang, 2013; Khachoo & Sofi, 2014; Kim, 2019; Kiviyiro & Arminen, 2014; Linh & Lin, 2015; Pao & Tsai, 2011; Baek, 2016). 이들의 연구도 지금까지의 선행연구들과 같이 지역의 특성에 따라서 각 변수 간 방향성이 각기 다른 것으로 나타나고 있다. 이 외에도 Shahbaz et al.(2018)는 경제성장, 에너지소비, CO₂ 배출, FDI 유입 간 장기적

으로 양방향의 인과관계를 가지는 것을 확인하고 있다. 이들의 분석을 구체적으로 살펴보면, 개발도상국의 FDI 유입이 CO₂ 배출에 더 큰 영향을 미칠 것이라는 예상과 달리 선진국에서 FDI 유입과 CO₂ 배출 간의 인과관계가 발견되기도 하였으며, 개발도상국임에도 FDI 유입과 CO₂ 배출 간의 인과관계가 발견되지 않기도 하였다. 이는 개발도상국이 외국자본 유치를 위해 환경규제를 낮추더라도 일정 조건을 갖추지 못하면 기업의 투자를 이끌어내지 못할 것이며, 일정 조건이 충족되면 어느 나라도 오염피난처가 될 수 있다는 쌍방향 공간선별이론과 맥을 같이하는 것으로 보인다(Hwang, 2012). 그러나 이들 연구 중에서 우리나라만을 대상으로 한 연구는 확인되지 않거나 혹은 학술발표³⁾ 수준에 머물고 있다.

본 논문에서는 우리나라를 대상으로 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출, FDI 유입을 모두 고려한 분석을 수행하고자 한다. 특히 본 논문은 에너지소비 대신 전력소비를 사용하고자 한다. 이것은 Yildirim (2014) 연구에서 우리나라의 에너지소비와 FDI 유입 간 인과관계가 나타나지 않았고, 우리나라를 분석대상으로 하는 대부분의 논문들이 전력소비를 활용하고 있기 때문이다(Yoo, 2005; Baek & Kim, 2012; Roh et al., 2016).

Table 1. Literature Review

Variable	Researcher(year)	Country	Methodology	Period	Results	
GDP, E*	Yoo(2005)	South Korea	ECM*** Granger Causality	1970-2002	ELEC → GDP (Short-run)	GDP → ELEC (Long-run)
	Yoo & Kwak(2010)	Latin America (7) (no panel)	ECM*** Granger Causality	1975-2006	ELEC → GDP GDP ↔ ELEC (Short-run)	ELEC → GDP (Colombia, Peru) (Long-run)
	Baek & Kim(2012)	South Korea	ECM*** (Hsiao) Granger Causality	1970:01 -2009:04	GDP ↔ ELEC (Short-run)	ELEC → GDP (Long-run)
GDP, CO ₂	Al-Mulali et al.(2015)	Vietnam	ARDL*** Granger Causality	1982-2011	GDP → CO ₂ (Short-run)	GDP → CO ₂ (Long-run)
	Kim & Jo(2017)	105 countries (Groups by continent, income and industry)	Dynamic Panel Threshold Regression	1965-2009	The GDP-CO ₂ decoupling strongly holds for high-income and low-clean group.	
GDP, E*, CO ₂	Acheampong(2018)	116 countries (5 groups by continent)	Panel VAR*** System-GMM***	1990-2014	GDP → EC EC → CO ₂ GDP ↔ CO ₂ (Exclude group results) (Short-run)	-

3) Yoon et al.(2016)의 연구는 실제 분석에서 전력소비가 아닌 1차에너지 소비를 사용했음.

Table 1. continued

Variable	Researcher(year)	Country	Methodology	Period	Results	
GDP, E*, CO ₂	Ang(2007)	France	ECM*** Granger Causality	1960-2000	EC → GDP (Short-run)	GDP → EC GDP → CO ₂ (Long-run)
	Cowan et al.(2014)	BRICS** (no panel)	Bootstrap Panel Granger Causality	1990-2010	GDP ↔ ELEC (Russia) GDP → ELEC (Rep. of South Africa) ELEC → CO ₂ (India) CO ₂ → GDP (Brazil) GDP → CO ₂ (Rep. of South Africa) GDP ↔ CO ₂ (Russia)	
	Pao & Tsai(2010)	BRIC**	Panel VECM*** Granger Causality	1971-2005	EC → GDP CO ₂ → GDP EC ↔ CO ₂ (Short-run)	GDP ↔ EC CO ₂ → EC CO ₂ → GDP (Long-run)
	Soytas & Sari(2009)	Turkey	VAR*** Granger Causality	1960-2000	CO ₂ → EC (Short-run)	-
	Roh et al.(2016)	South Korea	VECM*** Granger Causality	1978-2010	CO ₂ → GDP (Short-run)	GDP ↔ ELEC CO ₂ → GDP CO ₂ → ELEC (Long-run)
	Lee(2012)	South Korea	VECM*** Granger Causality	1971-2008	GDP → EC EC → CO ₂ (Short-run)	GDP ↔ EC CO ₂ → GDP CO ₂ → EC (Long-run)
FDI, GDP	Choi(2015)	-	Meta Analysis (23 Articles)	-	There are 3 directional research results about the relationship between FDI and GDP (bidirectional / one direction / no relationship).	
	Kim & Park(2014)	8 regions in China	VAR*** & VECM*** Granger Causality	1983-2012	FDI ↔ GDP (East Region only) (Short-run)	-
FDI, E*	Kim & Lee(2014)	South Korea	Interview	1999-2012	Low electricity rates and loose environmental regulations attract investment from manufacturing FDI companies.	
	Oh & Oh(2015)	South Korea	Propensity Score Matching(PSM)	1998-2005	FDI inflows from developed countries have a greater impact on corporate energy use than FDI inflows from developing countries.	
FDI, CO ₂	Hoffmann et al.(2005)	112 countries (3 groups by income level)	Panel VAR*** Granger Causality	15-28 years	CO ₂ → FDI (Low income) FDI → CO ₂ (Middle income) (Short-run)	-
	Hwang et al.(2015)	South Korea	3SLS(Three-Stage Least Squares)	1995-2009	Greenfield FDI has a greater impact on CO ₂ emissions than M&A FDI.	

Table 1. continued

Variable	Researcher(year)	Country	Methodology	Period	Results	
FDI, GDP, E*	He et al.(2012)	China (Shanghai)	VAR*** Granger Causality	1985-2010	GDP → FDI EC → FDI (Short-run)	-
FDI, GDP, CO ₂	Lee(2009)	Malaysia	ECM*** Granger Causality	1970-2000	FDI → GDP CO ₂ → GDP (Short-run)	GDP → FDI (Long-run)
	Peng et al.(2016)	16 Cities in China (no panel)	Bootstrap Panel Granger Causality	1985-2012	GDP → FDI (Henan) FDI → GDP (Beijing & 5 Cities) GDP ↔ FDI (Yunnan) GDP → CO ₂ (Neimenggu & 4 Cities) CO ₂ → GDP (Shangxi) FDI → CO ₂ (Beijing & 3 Cities) FDI ↔ CO ₂ (Neimenggu)	
FDI E*, CO ₂	Yildirim(2014)	76 Countries (no panel)	Bootstrap Granger Causality	1980-2009	FDI → EC (5 Countries) FDI → CO ₂ (Oman) EC → FDI (13 Countries) CO ₂ → FDI (9 Countries) FDI ↔ CO ₂ (Zambia) ※ South Korea has no causal relationship.	
GDP, E*, CO ₂ , FDI	Al-Mulali & Tang(2013)	GCC**	FMOLS***, VECM*** Granger Causality	1980-2009	GDP → EC GDP → CO ₂ EC → GDP EC ↔ CO ₂ (Short-run)	GDP ↔ EC GDP ↔ CO ₂ GDP ↔ FDI (Long-run)
	Khachoo & Sofi(2014)	BRICSCAM**	Panel VECM*** Granger Causality	1992-2010	GDP ↔ EC GDP → CO ₂ GDP ↔ FDI EC → CO ₂ EC → FDI (Short-run)	GDP ↔ EC CO ₂ → GDP FDI → GDP CO ₂ → EC FDI → EC (Long-run)
	Kim(2019)	57 Countries (3 groups by continent)	Panel VECM*** Granger Causality	1980-2013	GDP ↔ CO ₂ EC → CO ₂ FDI → GDP (Exclude group results) (Short-run)	EC → GDP FDI → GDP GDP ↔ CO ₂ EC → CO ₂ FDI → CO ₂ (Exclude group results) (Long-run)
	Kiviyiro & Arminen(2014)	SSA** (6) (no panel)	ARDL*** Granger Causality	1971-2009	EC → GDP CO ₂ → GDP FDI → GDP (Omitted Results) (Short-run)	EC, CO ₂ , FDI → GDP (Congo) GDP, CO ₂ , FDI → EC (Congo) (Long-run)
	Linh & Lin(2015)	ASIA (12)	Panel VECM*** Granger Causality	1980-2010	GDP → EC GDP → CO ₂ GDP ↔ FDI EC ↔ CO ₂ (Short-run)	GDP ↔ EC CO ₂ → GDP CO ₂ → EC CO ₂ → FDI FDI → EC (Long-run)

Table 1. continued

Variable	Researcher(year)	Country	Methodology	Period	Results	
GDP, E*, CO ₂ , FDI	Pao & Tsai(2011)	BRICS**	Panel VECM*** Granger Causality	1992-2007	GDP ↔ EC GDP ↔ CO ₂ GDP → FDI EC → CO ₂ EC ↔ FDI CO ₂ ↔ FDI (Short-run)	GDP → CO ₂ GDP → FDI EC → CO ₂ EC ↔ FDI CO ₂ ↔ FDI (Long-run)
	Baek(2016)	ASEAN**	PMG*** estimator	1981-2010	-	GDP → CO ₂ EC → CO ₂ (All Group) FDI → CO ₂ (High Income Group only) (Long-run)
FDI etc.	Shahbaz et al.(2018)	France	Bootstrap ARDL*** Granger Causality	1955-2016	GDP → CO ₂ EC ↔ CO ₂ (Short-run)	GDP ↔ EC, CO ₂ , FDI, R&D / FDI ↔ GDP, EC, CO ₂ , R&D / EC ↔ GDP, CO ₂ , FDI, R&D / R&D ↔ GDP, EC, CO ₂ , FDI (Long-run)

* E is composed of Energy Consumption(EC) or Electricity Consumption(ELEC).

** BRICS: Brazil, Russia, India, China, Republic of South Africa / BRIC: Brazil, Russia, India, China

GCC: Bahrain, Kuwait, Oman, Qatar, Saudi Arabia, UAE

ASEAN: Indonesia, Malaysia, Philippines, Singapore, Thailand

BRICSCAM: BRICS + Mexico

SSA: Congo, DR Congo, Kenya, Rep. of South Africa, Zambia, Zimbabwe

*** VAR: Vector Autoregressive

VECM: Vector Error Correction Model / ECM: Error Correction Model

ARDL: Autoregressive Distributed-Lagged Model

System-GMM: System Generalized Method-of-Moments

PMG: Pooled Mean Group

3. 연구방법론

3-1. 분석 자료

본 논문은 1976~2014년 간 한국의 경제성장을 대리하는 GDP, 전력소비(Electricity Consumption), CO₂ 배출, FDI 유입의 시계열 자료를 기초통계로 이용한다. 각 변수는 세계은행에 수록되어 있는 자료들을 사용한다.

구체적으로 GDP는 2010년을 기준으로, 불변가격으로 환산된 1인당 실질GDP 자료를 사용하였고, 전력소비는 1인당 연간 총 전력소비량(kWh)을 사용하였다. CO₂ 배출은 1인당 연간발생량(metric tons)을 사용하였으며, FDI 유입은 외국에서 한국으로 투자된 순유입량(net inflow)을 GDP 대비 비중으로 환산한 자료에 1인당 실질GDP를 곱하여 금액 자료로 변환 후 사용하였다⁴⁾. 분석 기간은 1976년에서 2014년까지 설정하였다. 이는 실질GDP의 경우 1960년부터

4) Table 1.에서 FDI 유량(flow) 자료와 FDI 저장(stock) 자료를 사용한 선행연구들이 혼재되어 있으나 대다수의 연구들이 유량자료를 사용하고 있음. 저장 자료는 당해 연도의 순증감분을 분석에 반영하지 못하고 이를 통제하기 위해서 전기의 FDI를 설명변수로 추가한 동태모형으로 분석해야 한다는 단점이 있어(Peng & Bae, 2015), 본 연구에서는 유량자료를 사용함.

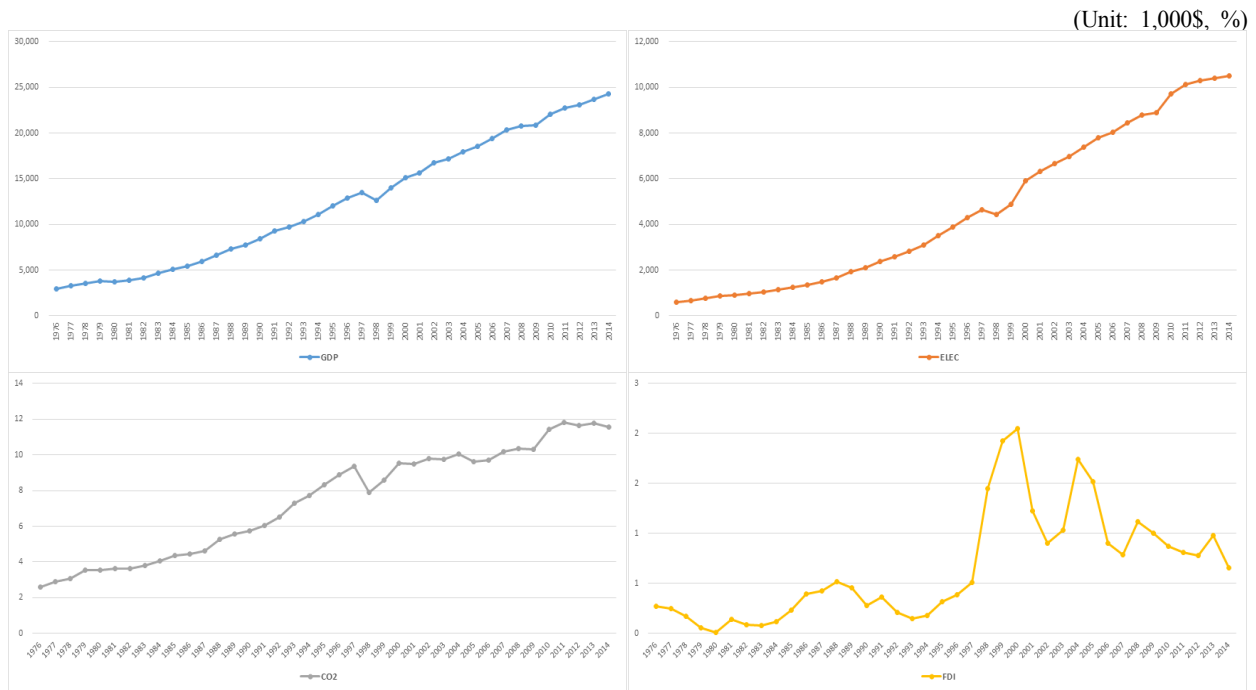
Table 2. Descriptive Statistics

Variables	LGDP	LELEC	LCO2	LFDI
Mean	9.226837	8.083977	1.902775	3.736184
Maximum	10.09920	9.258798	2.468351	5.740471
Minimum	7.993874	6.359456	0.956591	-1.074041
Std. dev.	0.668433	0.921667	0.469109	1.701959
Skewness	-0.387516	-0.319406	-0.497367	-0.710675
Kurtosis	1.787251	1.732832	1.824111	2.829083
Observation	39	39	39	39

Note: LGDP denotes the log of GDP per capita, LELEC denotes the log of Electricity Consumption per capita, LCO2 denotes CO₂ emissions per capita, LFDI denotes the log of inward FDI per capita.

Table 3. Pairwise Correlation Analysis

Variables	LGDP	LELEC	LCO2	LFDI
LGDP	1.000000	0.998307	0.992611	0.905895
LELEC	-	1.000000	0.991659	0.900178
LCO2	-	-	1.000000	0.883685
LFDI	-	-	-	1.000000



Data source: Worldbank World Development Indicators (<https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators/>)

Fig 1. Time Series Plots of 4 Variables, 1976-2014.

2017년까지 최신 자료 활용이 가능하나, FDI 유입은 1976년 이전의 자료가, 그리고 전력소비와 CO₂ 배출은 2014년 이후 자료가 없는 것에 기인한다. 분석에는 EViews 10을 사용하였으며, 모든 변수는 분석 이전에 로그(Logarithm, 이하 Log)로 변환하였다. 이는 탄력성 계수 계산의 편리함과 차분(difference)한 값은 해당 변수의 증가율로 나타내는 이점으로 실증연구에서 통상적으로 이용하는 방식이기 때문이다(Yoo, 2003).

따라서 본 논문의 변수는 GDP, 전력소비, CO₂ 배출, FDI 유입의 Log 변환값인 LGDP, LELEC, LCO₂, LFDI로 설정한다. 네 변수의 기초통계(Table 2.)와 추세(Fig 1.)를 살펴보면, 시간이 흐르면서 각 변수들이 꾸준하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 상관분석의 결과(Table 3.), 각 변수들은 다른 세 변수와 매우 높은 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

3-2. 분석 모형 및 방법론

본 연구에서는 통상 시계열자료를 이용한 변수 간 인과관계 분석에 있어 가장 보편적으로 적용되는 그랜저 인과관계(이하 Granger Causality) 검정을 사용하기로 한다(Granger, 1969). 동 검정법은 소표본을 활용하여 분석을 수행할 경우 인과성을 검정하는 다양한 기법들 중에서 바람직한 결과를 가져오는 것으로 알려져 있다(Guilkey and Salemi, 1982; Geweke et al., 1983)⁵⁾.

대개 거시경제 변수는 시계열자료가 불안정한 것으로 알려져 있기 때문에, 각 변수의 시계열 자료가 안정적(stationary)인지에 대한 확실한 판단을 위해 단위근 검정(unit root test)를 수행한다(Roh et al., 분석된 경우 공적분 검정(cointegration test)을 수행하게 된다. 공적분 관계는 각 변수가 선형결합을 통해 안정적인 성격을 갖게 되고, 그러한 성질이 성립할 때 각 변수 간 공적분이 되어 있다고 표현한다(Park & Ku, 2016). 본 연구에서는 단위근 검정을 위해 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정과 PP(Phillips-Perron) 검정을 그리고 공적분 관계 확인을 위해 Johansen Cointegration 검정을 활용하기로 한다(Dickey & Fuller, 1979; Philips & Perron, 1988; Johansen & Juselius, 1990).

만약 각 변수들이 불안정한 시계열이면서 공적분 관계가 발견되지 않는다면 차분된 변수와 벡터 자기회귀(Vector Autoregressive, 이하 VAR) 모형에

기초한 Granger Causality 검정을 적용해야 하지만 (Toda and Phillips, 1993), 공적분이 존재한다면 VECM을 이용한 인과성 검정을 적용해야 한다(Engle and Granger, 1987). 이는 각 변수 간 공적분 관계가 존재함에도 불구하고 통상적 인과성 검정기법을 사용하면 검정의 유효성을 저하시키며 인과관계가 존재함에도 불구하고 이를 포착하지 못하는 오류가 발생할 수 있기 때문이다(Rotemberg and Woodford, 1992; Jeong, 1998). 또한 VAR 모형이 아닌 VECM을 사용할 경우 안정적인 차분변수를 통해 허구적 회귀현상 없이 각 시계열의 단기적 영향을 명시적으로 보여줌과 동시에, 장기적으로 균형으로 가는 조정과정⁶⁾을 보여줌으로써 단기 및 장기 영향에 대한 분석이 모두 가능하다는 장점을 가질 수 있다(Lim & Kim, 2018). 본 연구에서 사용된 VECM은 다음과 같은 식으로 구성된다.

$$\begin{aligned} \Delta LGDP_t &= a_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta LELEC_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_i \Delta LCO2_{t-i} + \\ &\quad \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta LFDI_{t-i} + \lambda_1 EC_{t-1} + D_{-1998} + \mu_t \\ \Delta LELEC_t &= a_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta LGDP_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_i \Delta LCO2_{t-i} + \\ &\quad \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta LFDI_{t-i} + \lambda_2 EC_{t-1} + D_{-1998} + \mu_t \\ \Delta LCO2_t &= a_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta LGDP_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_i \Delta LELEC_{t-i} + \\ &\quad \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta LFDI_{t-i} + \lambda_3 EC_{t-1} + D_{-1998} + \mu_t \\ \Delta LFDI_t &= a_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta LGDP_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_i \Delta LELEC_{t-i} + \\ &\quad \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta LCO2_{t-i} + \lambda_4 EC_{t-1} + D_{-1998} + \mu_t \end{aligned}$$

이와 같은 식은 오차수정항 EC 를 포함하여 차분된(Δ) 설명변수의 시차(i)변수와 함께 차분된 종속변수를 설명하는 구조라 할 수 있다(Park & Ahn, 2017). 예를 들어 상기 첫 번째 식에서 LELEC의 과거변수가 LGDP의 원인인지를 파악하는 계수로서 α_i , LCO₂의 과거변수가 LGDP의 원인인지를 파악하는 계수로서 β_i , LFDI의 과거변수가 LGDP의 원인인지를 파악하는 계수로서 γ_i 를 통해 단기 인과관계를 확인할 수 있다. 다시 말해, $\alpha_{i,1} = \alpha_{i,2} = \dots = \alpha_{i,n} = 0$,

5) 단 인과관계분석은 시계열적 특성에 초점을 맞춘 분석으로 특정변수의 과거치가 다른 변수의 현재치를 예측하는데 도움을 주는지 여부를 살펴보는데 목적이 있어 철학적 인과관계와는 개념상 거리가 있을 수 있다는 점을 주의해야 함(Park & Jung, 2001).
6) 오차수정항은 장기 균형관계로부터의 이탈이 종속변수에 영향을 주는 틀을 파악한다는 점에서 장기적인 인과관계로 설명한다고 볼 수 있음(Yoo, 2003).

$\beta_{i,1} = \beta_{i,2} = \dots = \beta_{i,n} = 0$,
 $\gamma_{i,1} = \gamma_{i,2} = \dots = \gamma_{i,n} = 0$ 의 결합가설이 기각되지 않는다면 각각의 독립변수들이 종속변수의 원인 변수라 할 수 없다. 장기 인과관계를 살펴보고자 할 때는 $\lambda_1 = 0$ 이라는 귀무가설이 기각된다면 장기적으로 LELEC, LCO2, LFDI는 LGDP의 원인 변수라고 할 수 있다. 즉, $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = 0$, $\lambda_3 = 0$, $\lambda_4 = 0$ 이라는 귀무가설이 기각되지 않고 채택된다면 장기적으로 독립변수들이 종속변수의 원인이라고 할 수 없다⁷⁾. 이와 같이 각각의 VECM 내 모수들을 대상으로 통계적 검정(X -검정, t -검정)을 통하여 인과관계를 확인할 수 있다(Moon & Won, 2013). 단, 분석을 수행함에 있어서 LGDP, LELEC, LCO2의 경우 우리나라의 외환위기(IMF 구제금융) 시기의 마이너스(-) 성장에 대한 충격(Fig 1. 참조)을 통제하기 위해 1998년에 1을 둔 더미(dummy)변수(D_{1998})를 반영하였다. 이는 외환위기의 충격이 다음해인 1998년에 거시적으로 충격을 주었기 때문이다. 한편 LFDI의 경우 외환위기 이전에 경제규모에 비해 FDI 유입이 미미하였으나, 이후 국내투자자에 대한 규제를 대폭 철회하면서 FDI 유입이 1998년에 89억불로 급증한 것으로 나타났다(Nam & Yoon, 2005)(Fig 1. 참조). 따라서 LFDI도 급증에 대한 충

격을 통제하기 위해 1998년 더미 변수(D_{1998})를 동일하게 적용하였다.

4. 분석결과

LGDP, LELEC, LCO2, LFDI 등 4개 시계열 자료에 대해서 ADF 및 PP 단위근 검정을 실시한 결과(Table 4. 참조), 단위근을 갖는다는 귀무가설을 기각하지 못함에 따라 4개 자료 모두 불안정적인 자료로 나타났다. 이에 따라 네 변수통계에 대한 차분을 실시하여 재검정하였으며 그 결과 유의수준 1%에서 귀무가설은 기각되고, 차분자료의 안정성은 확보되는 것으로 나타났다.

단위근 검정 결과에 따라 공적분 검정을 수행하기에 앞서 정보기준(Information Criterion) 검정을 이용하여 최적시차를 도출하였다. 이는 공적분 및 VECM을 수행하는데 있어 시차가 길면 자유도를 잃게 되고, 시차가 짧을 경우 모델의 정확도를 감소시킬 수 있기 때문이다(Thomsen et al., 2013). 최적시차를 선정할 때 선행연구에서 지적된 과대추정의 문제를 해결하기 위해 Schwarz Information Criterion를 사용하였으며(Table 5. 참조), 그 결과 최적시차는 1로 확인되었다⁸⁾.

Table 4. Results of Unit Root Test

Variables	Method.	Level			1 st Difference		
		<i>t-value</i>	Test Stat.	<i>p-value</i>	<i>t-value</i>	Test Stat.	<i>p-value</i>
LGDP	ADF	-0.253021	-3.529758	0.9893	-5.804268	-3.529758	0.0001
	PP	-0.222406	-3.529758	0.9902	-5.801853	-3.529758	0.0001
LELEC	ADF	0.266538	-3.529758	0.9977	-5.158637	-3.529758	0.0008
	PP	0.535514	-3.529758	0.9991	-5.065930	-3.529758	0.0010
LCO2	ADF	-1.474998	-3.529758	0.8212	-6.517965	-3.529758	0.0000
	PP	-1.458031	-3.529758	0.8269	-6.623327	-3.529758	0.0000
LFDI	ADF	-2.539622	-3.529758	0.3085	-6.576513	-3.529758	0.0000
	PP	-2.710722	-3.529758	0.2382	-6.673434	-3.529758	0.0000

Note: Intercept & trend / The null hypothesis is nonstationary.

- 7) 단 λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 의 계수는 부호가 음(-)을 나타낼 때 장기 관계가 존재하며, 오차수정항은 λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 의 속도로 조정되면서 장기균형이 되었을 때 0이 됨. 조정 속도에 대한 추정치는 변수들 간의 관계가 장기균형에서 이탈할 경우 균형으로 다시 회복되는지의 여부와 회복속도를 예상할 수 있게 함(Choi & Kim, 2015).
- 8) FPE와 AIC는 시차를 과대 추정할 가능성이 있어 SC나 HQ를 근거해 최적시차를 추정함(Lütkepohl, 2005). 따라서 FPE를 사용하는 Baek & Kim(2012)의 연구나 AIC를 근거로 시차를 선정한 Yoo(2005), Lee(2012) 등의 연구는 과대 추정의 문제에서 자유롭지 않은 것으로 보여짐.

Table 5. Optimal Lag Length Criteria

Lag	LR	AIC	SC	HQ
0	38.64827	-1.979901	-1.802147	-1.918540
1	210.4020	-10.88011	-9.991341*	-10.57331
2	225.4179	-10.82388	-9.224091	-10.27163
3	258.5163	-11.80093*	-9.490130	-11.00324*
4	268.8117	-11.47496	-8.453136	-10.43182

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. Results of Johansen Cointegration Test

Null hypothesis	Trace Statistic	Eigenvalue	0.05 Critical Value	<i>p-value</i>
$\gamma = 0$ (None)	59.93253	0.603342	47.85613	0.0025
$\gamma \leq 1$ (At most 1)	25.71933	0.282520	29.79707	0.1373
$\gamma \leq 2$ (At most 2)	13.43495	0.254603	15.49471	0.0998
$\gamma \leq 3$ (At most 3)	2.562943	0.066924	3.841465	0.1094

Note: γ is Cointegration Rank.

Table 7. Results of Granger Causality Test

Null hypothesis(H ₀)	Independent Variables								
	Short-run				Long-run	Joint (Short+Long)			
	χ -value				<i>t</i> -value	χ -value			
	Δ LGDP	Δ LELEC	Δ LCO ₂	Δ LFDI	<i>ECT</i>	Δ LGDP & <i>ECT</i>	Δ LELEC & <i>ECT</i>	Δ LCO ₂ & <i>ECT</i>	Δ LFDI & <i>ECT</i>
LELEC, LCO ₂ , LFDI do not cause LGDP	-	0.044	8.033*	0.6408	-2.435*	-	7.188*	19.706*	6.180*
LGDP, LCO ₂ , LFDI do not cause LELEC	1.943	-	0.042	4.561*	-4.452*	23.242*	-	22.312*	19.836*
LGDP, LELEC, LFDI do not cause LCO ₂	1.363	0.261	-	1.503	0.955	2.524	2.165	-	1.654
LGDP, LELEC, LCO ₂ do not cause LFDI	0.023	0.043	0.550	-	-1.083	1.241	1.309	1.370	-

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

다음으로, 각 변수 간 장기적인 관계가 있는지 여부를 파악하기 위해 공적분 검정을 수행한 결과 (Table 6. 참조), 공적분 관계의 개수가 0라는 귀무가설이 통계적 유의수준 5%에서 기각되는 것으로

나타났다. 이는 95% 신뢰수준에서 1개 이상의 공적분이 존재함을 의미한다. 상기 결과에 따라 변수 간 인과관계는 VAR를 이용한 Granger Causality가 아닌 VECM을 이용하여 분석하도록 한다. VECM

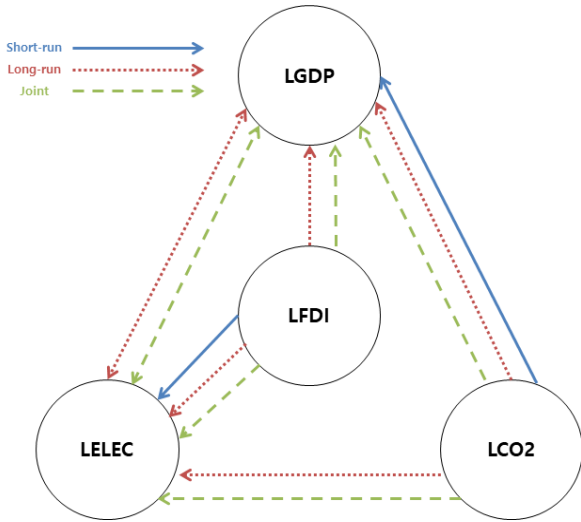


Fig 2. Causality Relationships Flow

을 활용하여 네 변수 간 장·단기 인과관계 가설을 검증한 결과는 다음과 같다(Table 7. 참조).

첫째, LGDP에 대해서 장기적으로 LELEC, LCO2, LFDI가, 그리고 단기적으로 LCO2가 인과관계를 가지며 강인과성을 내포하는 것으로 나타났다. 둘째, LELEC에 대해서 장기적으로 LGDP, LCO2, LFDI가, 그리고 단기적으로 LFDI가 인과관계를 가지며 강인과성을 내포하는 것으로 나타났다. 셋째, LCO2에 대해서는 장·단기적으로 어떤 변수도 인과관계를 가지지 않는 것으로 나타났다. 넷째, LFDI에 대해서는 장·단기적으로 어떤 변수도 인과관계를 가지지 않는 것으로 나타났다.

상기 가설검증의 결과를 변수 간 인과관계별로 정리하면 다음과 같다(Fig 2. 참조). 첫째, LGDP와 LELEC 간에는 장기적으로 전력소비가 경제성장에, 그리고 경제성장이 전력소비에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 강인과성을 내포하고 있는 것으로 분석되었다. 다시 말해 경제성장의 정도가 전력소비의 정도에 영향을 미치듯 전력소비가 경제성장에 영향을 미친다는 시사점을 내포한다. 이와 같은 두 변수 간 상호의존성은 우리나라를 대상으로 분석하고 있는 Lee(2012), Roh et al.(2016)의 연구와 Linh & Lin(2015), Khachoo & Sofi(2014) 등의 연구 결과에서도 확인할 수 있다. 그러나 단기적으로는 두 변수 간에 인과관계가 나타나지 않았으며 Lee(2012), Linh & Lin(2015) 등의 연구와는 결과가 다르게 나타났다.

둘째, LGDP와 LCO2 간에는 장·단기적으로 CO₂

배출이 경제성장에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 강인과성을 내포하고 있는 것으로 분석되었다. 다시 말해 CO₂ 배출 억제정책이 경제성장에 영향을 미칠 수 있다는 시사점을 내포한다. 동 분석에 사용된 World Bank의 CO₂ 배출 자료의 정의를 살펴보면, 'CO₂ 배출은 화석연료의 연소 및 시멘트 제조로 인한 것이며 여기에는 고체, 액체 및 가스 연료 소비 중에 발생하는 CO₂를 포함하고 있다'라고 제시하고 있다. 이와 같은 정의와 동 연구의 분석기간을 감안하였을 때 1970~80년대 중화학공업을 중심으로 성장한 우리나라의 특성이 잘 반영된 분석 결과로 여겨진다. 이와 같은 두 변수 간의 관계는 우리나라를 대상으로 한 Lee(2012), Roh et al.(2016)의 연구와 사하라이남 아프리카 지역을 분석한 Kiviyiro & Arminen(2014), BRIC을 대상으로 분석한 Pao & Tsai(2010) 연구 등에서 확인할 수 있다.

셋째, LELEC과 LCO2 간에는 장기적으로 CO₂ 배출이 전력소비에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 강인과성을 내포하는 것으로 분석되었다. 이는 우리나라를 대상으로 한 Lee(2012), Roh et al.(2016)의 연구와 Pao & Tsai(2010), Soytaş & Sari(2009), Khachoo & Sofi(2014), Linh & Lin(2015) 등의 연구에서 동일하게 나타났다. 이와 같은 결과는 우리나라의 에너지원별 발전설비 용량을 살펴보면, CO₂ 배출에 높은 영향을 미치는 화력발전이 60.7%로 가장 높으며(2017년 기준, Table 8. 참조), 산업 및 상업부문의 전력소비가 85% 이상이라는 점에서 우리나라 전력산업이 이른 시일 내에 탄소고착(Lock-in)⁹⁾을 벗어날 수 없다는 주장(Chae et al., 2014)을 반증하고 있다.

넷째, LFDI와 LGDP 간에는 장기적으로 FDI 유입은 경제성장에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 강인과성을 내포하는 것으로 분석되었다. 이는 외국인 자본의 유입으로 투자유치국의 투자를 증가시켜 승수효과를 통해 경제성장을 촉진한다(Nam & Yoon, 2005)는 성장가설을 입증하고 있으며, Kim(2019), Khachoo & Sofi(2014), Peng et al.(2016), Lee(2009) 등의 연구에서 동일한 결과를 확인할 수 있다.

다섯째, LFDI와 LELEC 간에는 장·단기적으로 FDI 유입이 전력소비에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 강인과성을 내포하는 것으로 분석되었다. 반면 LFDI와 LCO2는 변수 간 어떤 인과관계도 확인할 수 없었으며, 이와 같은 결과는 Yildirim(2014)의 연구와 동일하게 나타났다. 이와 같은 결과는 우리나라의 산업별 FDI 유입이 제지, 석유화학, 합

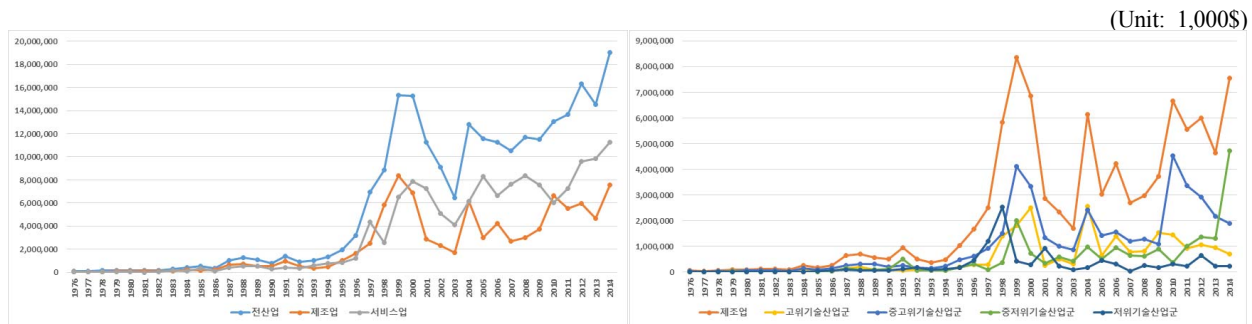
9) 에너지 기술의 경우, CO₂ 감축 기술이 가진 명백한 환경적·사회적 편익에도 불구하고 기존 대규모 화석연료 발전기술에 기반을 둔 기술-제도 복합시스템은 CO₂ 감축기술의 확산을 저지하는 시장 및 정책 실패를 지속적으로 가져온다고 주장하고 있음(Unruh, 2000).

Table 8. Status of Electricity Generation Facilities by Energy Sources in Korea

Division	Combustible Fuel				Hydro	Nuclear Power	etc.*	Total
	Anthracite coal	bituminous coal	Oil	LNG				
Electricity Generation Capacity (10,000kW)	60	3,471	386	3,185	649	2,253	1,687	11,691
Composition Ratio(%)	0.5	29.7	3.3	27.2	5.6	19.3	14.4	100

* etc.: Renewable Energy, District Heating

Data source: Electricity supply and demand trend - e-Country Index (<http://www.index.go.kr/>)



Data source: Ministry of Trade, Industry and Energy(Rep. of Korea) - inward FDI Statistics Industrial Statistics Analysis System (<https://istans.or.kr/>)

Fig 3. FDI declared by industries

성수지, 화학섬유, 철강 등 에너지집약적인 산업이 다수 유치되고 있으며, FDI를 유치한 기업의 에너지 사용량이 4년 차부터 급증한다는 연구를 반증하고 있다(Oh & Oh, 2015). 또한 FDI 유입이 전력소비에 대해서 영향을 미친 것은 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 일본기업들이 한국으로 생산기지를 옮기는 주요 요인이 한국의 낮은 산업용 전기요금이라고 밝히고 있다는 점과 우리나라 외국인투자지역 선정업종에 통신분야가 추가되면서 대량의 전력소비를 유발하는 글로벌데이터센터(IDC) 유치가 적극적으로 이루어지는 점에서 분석결과를 반증할 수 있다(Kim & Lee, 2014).

반면, LFDI와 LCO₂ 배출 간 아무 관계가 없는 것은 우리나라 FDI 유입의 산업별 구성을 통해 반증할 수 있다(Fig 3. 참고). 해당 자료의 추세를 살펴보면, 2000년 이전에는 제조업과 서비스업의 FDI 유입이 비슷한 수준으로 증가하다가 2000년 이후에는 서비스업의 FDI 유입이 제조업의 FDI 유입보다 증가폭이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 우리나라의 FDI 유입이 GDP 대비 그 비중이 높지 않으며 그 안에서도 서비스업의 비중이 높게 나타나기 때문에 CO₂ 배출에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 추정된다. Baek(2016)의 연구에서는 고소득국의 경우 FDI 유입 증가가 CO₂ 배출 증가로 반드시 연

결되는 것은 아니며, 이는 고소득국의 FDI 유치가 서비스 분야에 주로 이루어지기 때문으로 추정된다는 주장과 동일하다.

5. 요약, 정책적 시사점 및 한계

본 논문은 한국에 있어서 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출, FDI 유입 간 인과관계를 분석하였다. 본 논문은 한국의 1976~2014년 동안 시계열 통계를 바탕으로 단위근 검정, 공적분 검정, VECM을 이용하여 Granger Causality 검정을 실시하였다. 분석의 결과, 첫째, 경제성장과 전력소비 간에는 장기적으로 양방향의 인과관계가 나타났다. 둘째, CO₂ 배출은 경제성장에 대해 단방향의 장·단기적인 인과관계와 전력소비에 대해 단방향의 장기적인 인과관계가 나타났다. 셋째, FDI 유입은 경제성장에 대해 단방향의 장·단기적인 인과관계가 나타났다. 반면 FDI 유입은 CO₂ 배출에 대해서는 인과관계가 없는 것으로 나타났다.

이상의 분석결과를 바탕으로 정책적 시사점을 정리하면, 다음과 같다. 첫째, 경제성장과 전력소비는 양방향의 인과관계를 가지는 것으로 나타났기 때문에 상호 관계를 고려하지 않은 전력소비절약정

책은 경제성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있을 것이다. 최근 4차 산업혁명과 전기자동차 보급 등으로 인해 전기 수요가 늘어갈 것이라는 전망이 나오고 있음에도 불구하고, 이를 고려하지 않는다면 과거 2011년 블랙아웃을 경험한 우리나라의 전력수급에 차질을 유발할 수 있을 것이다. 따라서 능동적인 수요관리를 위한 기술개발 및 관련 정부지원의 확대가 필요하다.

둘째, CO₂ 배출이 경제성장과 전력소비에 단방향 인과관계를 가지는 것으로 나타났기 때문에 CO₂ 배출 감소 정책이 이들에게 부정적인 영향을 미치지 않도록 신중하게 추진할 필요가 있다. 국내 재생에너지의 단가가 다른 국가에 비해 상대적으로 높은 이유가 투자부족으로 인한 낮은 규모의 경제 효과와 석탄이나 원전에 비해 대규모 입지 선정의 어려움 등에 기인한다는 점을 감안할 경우(Han, 2018) 화석연료에서 신재생에너지로의 급격한 전환은 국민경제에 직접적인 영향을 미칠 것으로 전망된다. 따라서 시장의 충격을 최소화하기 위해서는 신재생에너지로의 전환을 점진적으로 진행할 필요가 있으며, 신재생에너지나 스마트그리드 등 온실가스 감축과 연계된 기술에 대한 지속적인 R&D를 통해 경제성 확보를 위한 노력이 필요하다.

셋째, FDI 유입이 전력소비에 단방향의 인과관계를 나타낸 것을 감안하여 이를 고려한 신중한 정책 추진이 필요하다. 구체적으로, 에너지집약적인 산업을 대상으로 한 투자가 많다는 점과 FDI를 유치한 기업들의 에너지사용량이 급증한다는 점을 감안하여(Oh & Oh, 2015), 에너지절약시설 투자 및 설치를 통해 전력소비 감축을 유도할 필요가 있다.

마지막으로, 본 논문은 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출, FDI 유입 간에 인과관계를 분석하고, 정책적 시사점을 도출하였으나, 네 부문 간 상호작용 체계는 이보다 훨씬 복잡하다고 할 수 있다. 특히 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 간 인과관계는 FDI 유입 외에 연구개발, 산업구조, 무역, 규제, 금융 등에 따라 이들 관계가 영향을 받을 수 있기 때문에 이를 고려한 추가 연구가 필요하다.

References

1. Acheampong, A. O., 2018, Economic growth, CO₂ emissions and energy consumption: What causes what and where?, *Energy Economics*, Vol. 74, pp. 677-692
2. Al-Mulali, U., & Tang, C. F., 2013, Investigating the validity of pollution haven hypothesis in the gulf cooperation council (GCC) countries, *Energy Policy*, Vol. 60, pp. 813-819
3. Al-Mulali, U., Saboori, B., & Ozturk, I., 2015, Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam, *Energy Policy*, Vol. 76, 123-131
4. Ang, J. B., 2007, CO₂ emissions, energy consumption, and output in France, *Energy policy*, Vol. 35, No. 10, 4772-4778
5. Baek, J., 2016, A new look at the FDI-income-energy-environment nexus dynamic panel data analysis of ASEAN, *Energy Policy*, Vol. 91, pp. 22-27.
6. Baek, M. Y., & Kim, W. H., 2012, Investigation on Granger Causality between Economic Growth and Demand for Electricity in Korea: Using Quarterly Data (in Korean), *The Korean Journal of applied Statistics*, Vol. 25, No. 1, pp. 89-99
7. Chae, Y. J., Roh, K. K., & Park, J. G., 2014, An historical analysis on the carbon lock-in of Korean electricity industry (in Korean), *Journal of Energy Engineering*, Vol. 23, No. 2, pp. 125-148
8. Choi, J. H., & Kim, I. T., 2015, The Relationship between Regional Economic Variables and Local Employment Growth (in Korean), *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 86, pp. 3-15
9. Choi, W. I., 2015, The Determinants of FDI and The Relationship between FDI and Economic Growth, *International Area Studies Review*, Vol. 19, No. 4, pp. 201-233.
10. Cowan, W. N., et al., 2014, The nexus of electricity consumption, economic growth and CO₂ emissions in the BRICS countries, *Energy Policy*, Vol. 66, pp. 359-368
11. Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 74(366a), 427-431.
12. Engle, R. F., & Granger, C. W., 1987, Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing, *Econometrica: journal of the Econometric Society*, pp. 251-276.
13. Geweke, J., Meese, R., & Dent, W., 1983, Comparing alternative tests of causality in temporal systems: Analytic results and experimental evidence, *Journal of Econometrics*, Vol. 21, No. 2, pp. 161-194
14. Granger, C. W., 1969, Investigating causal rela-

- tions by econometric models and cross-spectral methods, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 424-438
15. Grossman, G. M., & Krueger, A. B., 1991, Environmental impacts of a North American free trade agreement, National Bureau of Economic Research, Working Paper 3914
 16. Guilkey, D. K., & Salemi, M. K., 1982, Small sample properties of three tests for Granger-causal ordering in a bivariate stochastic system, *The Review of Economics and Statistics*, pp. 668-680
 17. Han, B. H., 2018, Energy Transition - To Be Or Not to Be (in Korean), Energy Transition Forum
 18. He, W., Gao, G., & Wang, Y., 2012, The relationship of energy consumption, economic growth and foreign direct investment in Shanghai, *Advances in Applied Economics and Finance*, Vol. 3, No. 1, pp. 507-512
 18. Hoffmann, R., et al., 2005, FDI and pollution: a granger causality test using panel data, *Journal of International Development: The Journal of the Development Studies Association*, Vol. 17, No. 3, pp. 311-317
 20. Hwang, S. J., 2012, Pollution Haven Hypothesis and Trading Partners (in Korean), *Journal of Korean Economy Studies*, Vol. 30, No. 2, pp. 119-139
 21. Hwang, Y. S., Park, J. H., & Lee, S. W., 2015, An Analysis of the Impacts of FDI Types on CO₂ Emissions - Focus on Scale Effects and Technique Effects (in Korean), *International Commerce and Information Review*, Vol. 17, No. 3, pp. 379-402
 22. Jeong, J. H., 1998, Causality between Governmental Expenditure and Economic Growth (in Korean), *Journal of Korean National Economy*, Vol. 7, No. 2, pp. 303-318
 23. Johansen, S., & Juselius, K., 1990, Maximum likelihood estimation and inference on cointegration-with applications to the demand for money, *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, Vol. 52, No. 2, pp. 169-210
 24. Khachoo, Q. & Sofi, I., 2014, The Emissions, Growth, Energy Use and FDI Nexus: Evidence from BRICSAM, *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, Vol. 3, No. 8, pp. 1-9
 25. Kim, J. A., & Lee, H. Y., 2014, Impacts of Low-priced of Industrial Electricity and Loose Environment Regulations on Investment Incentives of Inward Foreign Direct Investment of the Manufacturing Industries in Korea (in Korean), *The Economic Geographical Society of Korea*, Vol. 17, No. 2, pp. 231-248
 26. Kim, J. H., & Jo, H. H., 2017, Testing the convergence of per capita carbon emissions : dynamic panel threshold regression of 105 countries (in Korean), *Journal of International Trade and Industry Studies*, Vol. 22, No. 1, pp. 123-154
 27. Kim, J. S., & Park, I. S., 2014, A Study on the Causalities and Impacts among FDI(Inward), Capital and Economic Growth in China (in Korean), *International Area Studies Review*, Vol. 18, No. 1, pp. 457-484
 28. Kim, S. (2019). CO₂ Emissions, Foreign Direct Investments, Energy Consumption, and GDP in Developing Countries: A More Comprehensive Study using Panel Vector Error Correction Model, *Korean Economic Review*, Vol. 35, pp. 5-24
 29. Kiviyiro, P. & Arminen, H., 2014, Carbon Dioxide Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, and Foreign Direct Investment: Causality Analysis for Sub-Saharan Africa, *Energy*, Vol. 74, pp. 595-606
 30. Lee, C. G., 2009, Foreign direct investment, pollution and economic growth evidence from Malaysia. *Applied Economics*, Vol. 41, No. 13, pp. 1709-1716
 31. Lee, S. R., 2012, Two Essays on Energy Economics and Policy, *Seoul National University of Science and Technology*, Ph. D., pp. 4-40
 32. Lee, T. K., 2015, Economic Effect & Implications of FDI Flow Losses (in Korean), *KERI Insight* 15-45, Korea Economic Research Institute
 33. Lim, Y. Y., & Kim, D. W., 2018, An Empirical Study on the Long Run Equilibrium and Market Integration of International Energy Prices: Evidence from the Error Correction Model (in Korean), *Korean Energy Economic Review*, Vol. 17, No. 1, pp. 131-151
 34. Linh, D. H., & Lin, S. M., 2015, Dynamic causal relationships among CO₂ emissions, energy consumption, economic growth and FDI in the most populous Asian Countries, *Advances in Management and Applied Economics*, Vol. 5, No. 1, pp. 69-88

35. Lütkepohl, H., 2005, New introduction to multiple time series analysis, Springer Science & Business Media
36. Moon, Y. H., & Won, I., 2013, A Study on the Causal Relationship between Economic Growth and Public Expenditure (in Korean), Korean Journal of Social Welfare Education, Vol. 21, pp. 225-248
37. Nam, K. H., & Yoon, S. H., 2005, Problems and Improvements of FDI Policy in Korea (in Korean), Bank of KOREA - Economic Research Institute
38. Oh, S. H., & Oh, I. H., 2015, Study on the effect of inward foreign direct investment to Korea: focusing on the source country difference and carbon leakage (in Korean), The Journal of Industrial Innovation, Vol. 31, No. 4, pp. 49-73
39. Pao, H. T., & Tsai, C. M., 2010, CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries, Energy policy, Vol. 38, No. 12, pp. 7850-7860
40. Pao, H. T., & Tsai, C. M., 2011, Multivariate Granger causality between CO₂ emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries, Energy, Vol. 36, No. 1, pp. 685-693
41. Park, C. D., & Ahn, S. K., 2017, Multivariate Granger Causality between Regional R&D Investment and Regional Economic Variables (in Korean), Korea Technology Innovation Society Conference, pp 247~258
42. Park, C. H., & Jung, D. H., 2001, Analysis of Influence of IT Capital and R & D Stock Variation on Growth by Domestic Industry (in Korean), Korean Institute of Industrial Engineers Spring Joint Conference, pp. 200-203
43. Park, C. M., & Ku, B. C., 2016, A Causality Analysis between R&D Investment and Technology Trade (in Korean), JOURNAL OF TECHNOLOGY INNOVATION, Vol. 24, No. 2, pp. 91-113
44. Peng, H., et al., 2016, Economic growth, foreign direct investment and CO₂ emissions in China A panel granger causality analysis, Sustainability, Vol. 8, No. 3:233
45. Peng, Q., & Bae, Y. H., 2015, Determinants of FDI Inflow and Trade in China and OECD Countries, Journal of International Trade & Commerce (in Korean), Vol. 11, No. 2, pp. 655-678
46. Phillips, P. C., & Perron, P., 1988, Testing for a unit root in time series regression, Biometrika, Vol. 75, No. 2, pp. 335-346
47. Roh, K. K., Lee, J. H., & Park, J. G., 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
48. Rotemberg, J. J., & Woodford, M., 1992, Oligopolistic pricing and the effects of aggregate demand on economic activity, Journal of political Economy, Vol. 100, No. 6, pp. 1153-1207
49. Shahbaz, M., Nasir, M. A., & Roubaud, D., 2018, Environmental degradation in France: The effects of FDI, financial development, and energy innovations, Energy Economics, Vol. 74, pp. 843-857
50. Soytas, U., & Sari, R., 2009, Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: challenges faced by an EU candidate member, Ecological economics, Vol. 68, No. 6, pp. 1667-1675
51. The Ministry of Trade, Industry and Energy, & KOTRA. (2017). FDI References
52. Thomsen, A. et al., 2013, "Introduction to EVIEWS 6.0/7.0", Århus(Denmark): AARHUS University
53. Toda, H. Y., & Phillips, P. C., 1993, Vector autoregressions and causality, Econometrica: Journal of the Econometric Society, pp. 1367-1393
54. Unruh, G. C., 2000, Understanding carbon lock-in, Energy policy, Vol. 28, No. 12, pp. 817-830
55. Yildirim, E., 2014, Energy use, CO₂ emission and foreign direct investment: Is there any inconsistency between causal relations?, Frontiers in Energy, Vol. 8, No. 3, pp. 269-278
56. Yoo, S. H., 2003, The Analysis of Granger Causality between Government and Private R&D Investments (in Korean), JOURNAL OF TECHNOLOGY INNOVATION, Vol. 11, No. 2, pp. 175-194
57. Yoo, S. H., 2005, Electricity consumption and economic growth: evidence from Korea, Energy policy, Vol. 33, No. 12, pp. 1627-1632

58. Yoo, S. H., & Kwak, S. Y., 2010, Electricity consumption and economic growth in seven South American countries, *Energy Policy*, Vol. 38, No. 1, pp. 181-188
59. Yoon, S. P., Jin, B. Y., & Park, J. G., 2016, A Study on Casualty Among Electric Consumption, GDP, CO₂ emission and FDI in Korea, *Korean Society for Energy Conference*, pp. 86-86

〈Statistics〉

01. Statistics Korea, e-Country Index,
<http://www.index.go.kr/>
02. Ministry of Trade, Industry and Energy,
Industrial Statistics Analysis System,
<https://istans.or.kr/>
03. UNCTAD(United Nations Conference on Trade and Development), UNCTADSTAT,
<http://unctadstat.unctad.org/EN/>
04. Worldbank, World-Development-Indicators,
<https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators/>