

한국의 전력소비와 경제성장의 인과관계 분석*

조정환** · 강만옥***

〈요 약〉

본 연구는 1980~2009년 동안 한국의 경제성장과 총 전력소비 및 산업별 전력소비 사이의 인과관계를 분석하였다. 이를 위해 단위근 검정을 실시하였으며 그 결과, 실질 GDP, 제1차 산업, 제조업 그리고 총 전력소비는 1차 차분형태의 안정적인 변수로 나타났다. 그러나 서비스업 전력소비는 2차 차분을 실시했을 때 안정적인 변수로 나타났다. 공적분 검정을 실시한 결과, 실질 GDP와 총 전력소비 및 산업별 전력소비 사이에는 장기균형 관계가 존재하지 않는 것으로 분석되었다. 따라서 표준 Granger 인과관계 검정에 의하면, 경제성장이 총 전력소비, 제1차 산업 및 제조업의 전력소비에 영향을 주는 일방향 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 그러나 서비스업 전력소비는 경제성장과 아무런 인과관계를 발견할 수 없었다. 이러한 인과성은 전력부문의 가격 및 비가격정책 등이 경제 성장에 부정적인 영향을 최소화하면서 실행될 수 있음을 의미한다.

주제어 : 전력소비, 에너지 효율화, 경제성장, Granger 인과관계

* 본 논문은 한국환경정책·평가연구원의 2012년도 기본과제 “자원·환경위기 시대에 대비한 에너지가격 개편 추진전략 연구 : 전력요금 개편 중심”의 일부로 수행되었음.

** 한국환경정책·평가연구원 연구원(제1저자).

*** 한국환경정책·평가연구원 선임연구위원(공동저자).

The paper examined the relationship between total and sector level electricity consumptions and economic growth in Korea for the period of 1980-2009. The results of unit-roots and cointegration tests show that all variables—real GDP, total, primary, manufacture, and service sector electricity consumptions—were not stationary and there were no linear combinations in the long run between electricity consumptions and economic growth. Thus, by using standard Granger-causality test we found that total, primary, and manufacture sector electricity consumptions were Granger-caused by economic growth, not vice versa. This means that causality runs from economic growth to each electricity consumption. However, there is no causal relationship between service sector electricity consumption and economic growth. These results imply that the government policies aimed at reducing electricity consumptions and increasing energy efficiency etc. can be feasible without deterring economic growth in Korea.

Keywords : electricity consumption, energy efficiency, economic growth,
Granger causality

JEL 분류 : C22, L94, Q48

I. 서 론

전력소비 감축을 위한 다양한 노력들과 방안들이 강구되고 진행되고 있다. 한국의 계절적 특성인 하고동저의 기온 분포 때문에 발생하는 전력피크 문제(이학노 외, 2010)와 고질적인 전력 수급 불균형 문제를 해결하기 위해 수요 측면에서는 전력소비를 줄이거나 공급측면의 전력 공급 능력 확대를 위한 정책이 고려되고 있다. 이를 위해, 추가 발전소를 건설하고 노후화된 전력계통 시스템을 정비하여 전력 손실을 줄이는 공급측면에서의 방법이 있으나 환경문제와 발전소 설립에 따른 비용 문제를 해결해야 하고 또한 전력계통 시스템 정비를 통한 전력 확보에도 한계가 있다. 따라서 전력 공급을 통한 안정적인 전력 수급 목표 달성에는 제약이 따른다.

수요 측면에서는 전력소비 감축을 통해 안정적인 전력을 확보하고자 하는 노력들이 있다. 전력 수요관리 프로그램에는 크게 가격기능에 의한 방법과 비가격기능에 의한 방법이 있는데 가격기능에 의한 방법에는 기본요금 피크 연동제, 시간대별 차등 요금제도 등이 있고, 비가격기능에 의한 방법에는 전력을 감축할 수 있는 기기보급을 통한 방법이 있다. 즉 축냉식 냉방설비 보급, 원격제어 에어컨 보급을 통하여 전력소비를 줄일 수 있는 기기를 보급하고자 하는 것이다.

전력소비를 줄이기 위한 노력은 기술혁신 측면에서도 이루어지고 있다. 정보통신기술과 전력망을 융합하고 공급자와 수요자간의 양방향 전력소비 정보를 공유하여 에너지 효율을 최적화시키고 전력소비를 줄일 수 있는 스마트 그리드(Smart Grid)가 바로 그것이다. 2009년에 이미 제주도에 통합실증단지를 선정하여 시범운영에 들어갔고 2012년에는 기술 모듈화 및 시범도시 구축사업을 완료하여 2030년에는 최초 국가 단위의 스마트 그리드를 구축할 계획이다.

한편, 우리나라의 발전설비별 전력량 구성비를 보면 원자력과 화력에 대한 의존도가 높다. 원자력은 전체 발전 설비별 전력량 중에서 34.1%를 차지하고

화력은 62.9%를 차지한다. 그러나 수력 및 대체에너지의 전력량 구성비는 미미하여 각각 1.3%와 0.4%를 차지할 뿐이다. 따라서 전력사용량이 급증한다면 원자력과 화석연료 사용에 따른 오염배출량이 증가하는 문제를 가지고 있다.

그리고 우리나라 종별 전력사용량 구성비는 제조업이 47.5%를 차지하여 가장 높은 구성비를 보이고 있으며 그 다음으로 서비스업(30.2%)과 주택용(14.6%)의 전력사용량 구성비가 높다. 제조업의 전력사용량 비중이 높기 때문에 정부의 에너지효율화 및 전력감축 노력에 대해 제조업이 민감하게 반응할 수밖에 없다. 원가 이하의 전기 요금이 전력 낭비의 원인이라는 지적 때문에 단계적으로 전기 요금 인상을 추진할 시점에 와 있지만 철강, 섬유, 석유화학, 시멘트 등 에너지 다소비 산업은 제조 원가 상승으로 수출 채산성 악화 등 기업 경쟁력 하락을 우려하고 있다.

그러므로 전력 사용과 경제성장 사이에 밀접한 상관관계가 존재한다면 전력 과소비는 환경질을 저하시키고 제조업의 전력사용 비중이 높은 현실을 감안할 때 전력 사용 감축 노력은 경제성장에 부정적인 영향을 줄 것이다. 왜냐하면, 경제성장을 달성하기 위해서는 노동과 자본이라는 기본적인 생산요소의 투입이 필요하고 전력은 노동과 자본이라는 본원적 생산요소에 더하여 고려할 수 있는 보완적 생산요소로 간주될 수 있기 때문이다(Ebohon, 1996; Templet, 1999). 그러나 상관관계가 곧 인과관계를 의미하지는 않으므로 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계를 규명할 필요가 있다. 만약 전력소비에서 경제성장으로의 인과관계 방향이 존재하거나 서로 영향을 주고받는 피드백 관계가 있다면 전력소비 감축 노력은 경제성장에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 반대로, 경제성장이 오히려 전력소비를 증가시키거나 두 변수가 서로 아무런 관계가 없다면(독립적 관

〈표 1〉 종별 전력사용량 구성비 (2009년)

1차산업	제조업	서비스업	주택용	공공용	전철용	합계
2.7%	47.5%	30.2%	14.6%	4.5%	0.6%	100%

자료 : 에너지경제연구원, 국가에너지통계종합정보시스템.

계) 전력소비 절감 노력과 정책은 경제 활동에 대해 부정적인 영향 없이 실행 가능하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 총 전력소비뿐만 아니라 산업별 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계를 검증하는 데 있다. 다시 말해서, 총 전력소비, 1차 산업, 제조업, 서비스 부문의 전력소비와 실질 GDP 시계열 자료를 사용하여 단위근 검정과 공적분 검정, 그리고 Granger 인과관계 검정을 수행하고 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계 방향을 규명하고자 한다.

이에 본 논문은 먼저 제II장에서 전력소비와 실질 GDP의 상관관계를 살펴 보았다. 그리고 제III장에서는 가성적 회귀분석 문제의 해결과 인과관계 검정을 위한 모형 설정과 분석방법을 제시하고 제IV장에서는 실증분석 결과를 도출했다. 마지막으로 제V장에서는 실증분석 결과를 토대로 결론과 시사점을 제시한다.

II. 전력소비와 경제성장 상관관계

전력 사용의 감축과 효율화가 경제에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 전에, 우선 전력소비와 경제성장 사이의 관련 정도를 파악해 볼 필요가 있다. 뿐만 아니라, 1차 산업, 제조업 그리고 서비스업 부문의 전력소비와 경제성장 사이의 상관관계를 알아보하고자 한다.

우리나라의 각 산업별 전력소비량, 총 전력소비량과 실질 GDP 사이의 상관관계가 <표 2>에 제시되어 있다. 전력소비량은 에너지경제연구원에서 발간하는 연간 산업 부문별 전력소비량 자료를 사용하였다. 1차 산업 부문의 전력소비량은 농림어업과 광업부문의 전력소비량의 합계이고, 제조업 부문의 전력소비량은 식료품, 섬유, 제지인쇄, 석유화학, 요업, 1차 금속, 기계장비, 기타 부문의 전력소비량의 합계이다. 그리고 서비스업 부문의 전력소비량은 전기사업자, 수도,

〈표 2〉 산업별 전력소비와 경제성장 상관관계

	실질 GDP	1차 산업 전력소비량	제조업 전력소비량	서비스업 전력소비량	총 전력소비량
실질 GDP(10억원)	1.0000				
1차 산업 전력소비량(GWh)	0.9929**	1.0000			
제조업 전력소비량(GWh)	0.9983**	0.9960**	1.0000		
서비스업 전력소비량(GWh)	0.9747**	0.9895**	0.9806**	1.0000	
총 전력소비량(GWh)	0.9941**	0.9981**	0.9972**	0.9924**	1.0000

주 : **는 5% 수준에서 통계적으로 유의함.

상가 및 기타 부문의 전력소비량의 합계이다. 총 전력소비량은 1차 산업부문, 제조업, 서비스업 부문의 전력소비량의 합계에 주택용, 공공용, 전철용 전력소비량을 더해서 구해진다. 경제성장 지표로는 한국은행의 국민계정 자료를 이용하여 경상 GDP(2005년 기준)를 GDP 디플레이터로 나눈 실질 GDP를 사용하였고 1980년부터 2009년 사이의 연간 자료이다.

전력소비와 경제성장 사이의 관련 정도가 약하다면 전력소비 감소의 경제성장에 대한 영향 정도가 미미할 것이다. 그러나 두 변수 사이의 상관관계가 밀접하다면 전력소비의 감소는 경제에 부정적인 영향을 줄 가능성이 있다. 인과관계의 방향을 알아보기 전에 1차적으로 전력소비와 경제성장 사이의 관련 정도를 통해 전력소비 감소가 경제성장에 유의미한 영향을 줄 수 있는지를 알아보고자 하는 것이다.

〈표 2〉를 보면, 총 전력소비량과 실질 GDP 사이의 상관관계는 매우 밀접하다. 즉, 두 변수 사이의 상관계수는 0.9941로 매우 높다. 그리고 1차 산업 부문의 전력 사용량과 실질 GDP 사이의 상관계수는 0.9929이고, 제조업 부문의 상관계수는 0.9983, 서비스업 부문의 상관계수는 0.9747로서 각 산업 부문별 전력소비량과 실질 GDP 사이의 관련 정도 역시 매우 높다는 것을 보여준다. 산업 부문별 전력소비량과 경제성장 사이의 관련 정도는 제조업, 1차 산업, 서비스업 순이다. 흥미로운 점은 각 산업별 전력소비량 사이의 상관관계 또

한 높게 나타났다는 점이다. 1차 산업과 제조업 부문의 전력소비량 상관계수는 0.9960이고, 1차 산업과 서비스업 부문의 전력소비량 사이의 상관계수는 0.9895, 제조업과 서비스업 부문의 전력소비량 상관계수는 0.9806으로, 이는 각 산업 별 전력소비량 사이의 관련 정도 또한 매우 높다는 것을 보여준다.

이러한 결과는 Ferguson et al.(2000)의 상관관계 분석 결과와 유사하다. 그들은 분석 기간 동안 100여 개 국가를 대상으로 전력 사용량과 경제성장 사이의 상관관계를 분석하였는데 한국의 경우 두 변수 사이의 상관관계는 0.9930으로 나타났다. 특히, 부국으로 분류된 국가들의 전력 사용량과 경제성장의 관련 정도는 빈국으로 분류된 국가들보다 높으며, 에너지 사용량 보다는 전력 사용량이 경제성장 기여도 측면에서 더 적합함을 분석하였다.

그러나 이러한 상관관계 분석이 곧 인과관계를 의미하는 것은 아니므로 (Yoo, 2005) 상관관계 분석만으로 전력소비가 경제성장에 영향을 줄 수 있다는 결론을 지지하기에는 부족하다. 왜냐하면 그 반대의 방향으로, 경제성장이 오히려 전력소비 증가 결과를 가져올 수 있기 때문이다. 따라서 다음 장에서는 적합한 모형 설정과 방법을 통해 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계 방향을 식별하고자 한다.

III. 모형의 설정과 분석 방법

1. 선행연구 검토

Kraft and Kraft(1978)는 처음으로 미국의 에너지 소비와 소득 사이의 인과관계를 1947년부터 1974년 데이터를 가지고 분석하여 소득에서 에너지 소비로의 인과관계가 있음을 보였다. 그 이후 에너지 소비(또는 전력소비)와 경

제성장 사이의 인과관계 방향을 알아보기 위해 많은 연구가 진행되었다.¹⁾ 한국의 경우에도 다양한 분석방법과 기간을 대상으로 하여 경제성장과 에너지 소비 및 전력소비 사이의 인과관계를 식별하고자 하는 연구가 진행되어 왔다.

Soytas and Sari(2003)는 한국을 대상으로 1953년과 1991년 사이의 총 에너지소비와 실질 GDP 데이터를 가지고 분석한 결과 경제성장에서 에너지소비로의 일방향 인과관계가 존재한다고 보고하였다. Glasure and Lee(1997)는 1961~1990년 기간 동안, 표준 Granger 인과관계 검정 방법을 통해서 에너지소비와 경제성장 사이에 인과관계가 존재하지 않는 반면에, 오차수정모형(VECM)으로는 에너지소비와 경제성장 사이에 피드백 관계가 존재함을 나타냈다. Glasure(2002)는 석유가격과 실질화폐잔고, 실질정부소비지출 변수를

〈표 3〉 선행 연구

기간	저자	인과관계 방향
1953~1991	Soytas and Sari(2003)	Energy ← Y
1961~1990	Glasure and Lee(1997)	Standard GCT : Neutrality VECM : Energy ↔ Y
1961~1990	Glasure(2002)	Energy ↔ Y
1970~1999	Oh and Lee(2004a)	Short term : Energy → Y Long term : Energy ↔ Y
1980 : 1~2004 : 4	Oh and Lee(2004b)	Short term : Neutrality Long term : Energy ← Y
1970~2002	Yoo(2005)	Electricity ↔ Y
1971~2001	Chen et al.(2007)	Long term : Electricity ← Y
1970~2002	유승훈 · 정군오(2004)	Electricity ↔ Y
1970~2000	모수원 · 김창범(2003)	Energy ↔ Y

주: 화살표의 방향은 인과관계의 방향임. Y는 경제성장, Energy는 에너지 소비, Electricity는 전력소비를 나타냄. VECM은 벡터오차수정모형, Standard GCT는 표준 Granger 인과관계 검정을 나타냄.

1) 구체적인 선행연구는 Huang et al.(2008), Mozumder and Marathe(2007), Shiu and Lam (2004)을 참조.

모형에 포함하여 인과관계를 검정한 결과, 에너지소비와 경제성장 사이에 양방향 인과관계가 존재함을 나타냈다. Oh and Lee(2004a, 2004b)는 한국을 대상으로 분석 기간을 달리하여 인과관계를 검정하였는데, 1970년부터 1999년까지의 연간 자료를 이용하여 분석한 결과, 단기에는 에너지소비에서 경제성장으로의 인과관계, 장기에는 양방향 관계가 존재함을 보였다. 1980년 1분기부터 2004년 4분기 동안의 자료를 사용한 경우에는, 단기에는 에너지소비와 경제성장 사이에 서로 인과관계가 없음을 보였고 장기에는 경제성장에서 에너지소비로의 일방향 인과관계가 존재함을 보였다. Yoo(2005)는 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계를 1970년부터 2002년 사이의 연간자료를 이용하여 분석하였는데, 전력소비와 경제성장 사이에 양방향 인과관계가 있음을 보였다. 그러나 Chen et al.(2007)은 경제성장에서 전력소비로의 장기 일방향 인과관계를 발견하였다. 유승훈·정군오(2004)는 1970년과 2002년 동안의 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계를 오차수정모형을 이용하여 검정하였다. 그 결과, 전력소비와 경제성장 사이에는 피드백 관계, 즉 양방향 인과관계가 존재함을 나타냈다. 모수원·김창범(2003)은 경제성장과 에너지소비 사이의 인과관계 모형에 물가지수를 고려하여 1970년부터 2000년까지의 데이터를 가지고 분석하였다. 그 결과에 의하면, 우리나라 경제성장과 에너지소비 사이에는 양방향 인과관계가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 에너지소비로 인한 물가상승 압력으로 경제성장에 부정적인 영향을 줄 수 있음을 보였다.

그러나 기존 논문에서는 산업별 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계를 분석하지 않고 총 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계만 확인하는 한계점이 있다. 따라서 본 논문에서는 보다 최근 자료를 이용하여 총 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계뿐만 아니라 산업별 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계를 검정하는 데 목적이 있다.

2. 모형의 설정과 분석방법

전력소비와 경제성장 사이의 인과관계 살펴보기 위해서는 먼저 두 변수가 안정적인 시계열 자료인지를 확인하는 작업이 필요하다. 대부분의 거시 경제적 변수들이 불안정 시계열 자료라는 것이 알려져 있기 때문에 가성회귀의 문제가 나타날 수 있다(Granger and Newbold, 1974; Stock and Watson, 1989). 따라서 인과관계 검정에 앞서 관심 변수들의 안정적 시계열 속성과 장기 균형 관계 여부를 알아보기 위해서 단위근 검정과 공적분 검정을 시행할 필요가 있다.

시계열 자료의 안정성 여부를 검정하는 방법으로 본 연구에서는 ADF(Augmented Dickey-Fuller, 1979) 검정과 PP(Phillips-Perron, 1988) 검정 방법을 사용한다. 만약, 단위근 검정을 통해 관심변수들이 불안정 변수들로 확인되고 차분을 통하여 안정성을 확보한 후에 모두 동차 적분으로 판정된다면 인과관계 검정을 실시할 수 있다. 이 경우에, 오차수정모형이 인과관계 검정 방법으로 더 적합하다(Engle and Granger, 1987). 그러나 만약 두 변수들이 불안정하고 공적분 관계가 없다면 표준 Granger 인과관계 검정을 시행해야 한다(Toda and Phillips, 1993).

본 연구에서 전력소비와 경제성장의 Granger 인과관계 추정을 위한 모형은 다음과 같다.

$$LRGDP_t = \alpha_{1t} + \sum \beta_{1k} LRGDP_{t-k} + \sum \beta_{2k} LEC_{t-k} + \epsilon_{1t} \quad (1)$$

$$LEC_t = \alpha_{2t} + \sum \gamma_{1k} LEC_{t-k} + \sum \gamma_{2k} LRGDP_{t-k} + \epsilon_{2t} \quad (2)$$

여기서 $LRGDP_t$ 는 실질 GDP의 자연로그, LEC_t 는 총 전력소비량, 1차

산업 부문 전력소비량, 제조업 전력소비량, 서비스업 전력소비량의 자연로그이다. ε_t 는 오차항이다. 위의 식 (1)과 (2)를 통하여 전력소비와 경제성장 사이의 Granger 인과관계를 검정할 수 있는데 만약 식 (1)의 β_{2k} 값의 모든 최적 시차에 대해서 추정된 F값이 임계값보다 크다면 전력 소비는 경제성장을 Granger cause하지 않는다는 귀무가설을 기각하게 된다. 즉, 총 전력소비 및 각 산업별 전력소비는 경제성장에 유의미한 영향을 미친다는 것을 의미한다. 반대로, 식 (2)에서 모든 최적 시차에 대해서 추정된 γ_{2k} 의 F값이 임계값보다 크다면 경제성장은 전력소비를 Granger cause하지 않는다는 귀무가설을 기각하게 된다. 이는 경제성장이 총 전력소비와 각 산업별 전력소비에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 본 연구에서 최적 시차는 AIC(Akaike Information Criteria) 또는 SC(Schwartz Criteria) 검정을 통해 선택하였다.

구체적인 귀무가설 형태는 다음과 같다.

$$H_0 : \beta_{21} = \beta_{22} \cdots \cdots = \beta_{2n} : LEC \text{ does not Granger cause } LR GDP \quad (3)$$

$$H_0 : \gamma_{21} = \gamma_{22} \cdots \cdots = \gamma_{2n} : LR GDP \text{ does not Granger cause } LEC \quad (4)$$

그러나 Granger 인과관계는 엄밀한 논리적 의미에서의 인과성을 의미하기 보다는 변수간 시간적 선행여부 검정을 통해서 한 변수의 다른 변수에 대한 예측가능성을 의미한다. 본 연구에서는 Granger 인과관계 모형의 이러한 한계를 인식하고 모형 내의 예측가능성에 대한 결과를 선행연구에서처럼 약한 의미의 인과성 결과로 해석하고자 한다.

IV. 실증분석 결과

1. 단위근 검정 결과

본 연구에서 사용된 실질 GDP와 총 전력소비량 및 1차산업 전력소비량, 제조업 전력소비량, 서비스업 전력소비량에 대해 단위근 검정을 수행한 결과가 <표 4>에 제시되어 있다. 단위근 검정은 ADF와 PP 검정을 사용하였다. 인위적 시차 설정으로 잘못된 결과를 피하기 위해 본 연구의 시차결정은 AIC와 SC 검정을 사용하였다. 한국경제는 과거 1980년대 초의 석유파동과 1997년

<표 4> 단위근 검정 결과

변수		ADF test	PP test	최적시차
ln_Y	수준 변수	-0.508	-0.157	1
	1 차 차분	-5.201***	-5.776***	1
ln_ECP	수준 변수	-0.689	-1.076	3
	1 차 차분	-4.230**	-6.495***	3
ln_ECM	수준 변수	-0.052	0.115	1
	1 차 차분	-4.528***	-5.050***	1
ln_ECS	수준 변수	0.425	0.833	2
	1 차 차분	-2.202	-3.039	2
	2 차 차분	-4.143**	-6.513***	2
ln_ECT	수준 변수	0.465	0.751	1
	1 차 차분	-3.990**	-4.525***	1

주: 1) ln_Y(실질GDP), ln_ECP(1차산업전력소비량), ln_ECM(제조업전력소비량), ln_ECS(서비스업전력소비량), ln_ECT(총전력소비량)의 자연로그.

2) ***은 1% 수준에서 통계적으로 유의하고, **는 5% 수준에서 통계적으로 유의하며, *는 10% 수준에서 통계적으로 유의함.

외환위기 등과 같은 변화를 겪어왔으므로 에너지소비 행태에도 구조적인 변화(structural change)를 초래했을 가능성 있다. 따라서 잔차항 검정을 위한 추정식은 상수항과 시간추세항을 포함하여 OLS 방법을 사용하였다(모수원·김창범, 2003).

단위근 검정 결과 모든 수준 변수는 불안정 변수로 나타났다. 그러나 1차 차분 형태로 검정하였을 때, 실질 GDP, 1차 산업, 제조업, 총 전력소비는 안정적인 변수로 판정되었다. 서비스업 전력 소비는 2차 차분형태로 실시했을 때 안정적인 변수로 나타났다. 따라서 실질 GDP, 1차 산업, 제조업, 총 전력소비 변수는 1차 적분(integrated of order 1; I(1)) 변수, 서비스업 전력 소비는 2차 적분(integrated of order 2; I(2)) 변수이다.

2. 공적분 검정 결과

경제성장과 전력소비의 인과관계를 알아보기 전에 본 논문에서 사용된 변수들의 장기균형 관계 여부를 알아보기 위해서 Engle and Granger의 2단계 공적분 검정이 사용되었다. 이는 실질 GDP를 종속변수로 하고 총 전력소비와 각 산업의 전력소비를 독립변수로 하여 잔차의 안정성을 검정하는 것으로 만약에 잔차의 안정성이 확보 된다면 경제성장과 총 전력소비 및 산업별 전력소비 사이에 장기균형 관계가 존재함을 의미한다. 역시 상수항과 시간추세항을 포함하여 OLS 방법으로 검정을 수행하였다. 공적분 검정 결과는 <표 5>에 정리되어 있다.

공적분 검정 결과, 실질 GDP와 1차 산업 전력소비, 제조업 전력소비, 총 전력소비 사이에는 공적분 관계가 존재하지 않았다. 그러나 실질 GDP와 서비스업의 전력소비 경우에는 ADF 검정 결과 공적분 관계가 존재하는 것으로 나타났다지만 PP 검정 결과는 공적분 관계가 존재하지 않는 것으로 나타났다.²⁾ 따

2) ADF 검정법이 자기상관 문제를 명시적으로 고려하고 있지만 이분산 없다고 가정하는 반면에 PP 검정법은 자기상관과 시차에 따른 이분산성에 대해 더 강건한 것(robustness)으로

〈표 5〉 공적분 검정 결과

종속변수: ln_Y	ADF test	PP test	최적시차
ln_ECP	-2.660	-3.053	1
ln_ECM	-2.946	-2.986	4
ln_ECS	-3.661**	-2.006	4
ln_ECT	-2.540	-2.578	2

주: 1) ln_Y(실질GDP), ln_ECP(1차산업전력소비량), ln_ECM(제조업전력소비량), ln_ECS(서비스업전력소비량), ln_ECT(총전력소비량)의 자연로그.

2) **는 5% 수준에서 통계적으로 유의함.

라서 실질 GDP와 각 전력소비 사이에는 대체로 장기균형 관계가 존재하지 않는다고 결론 내릴 수 있다.

지금까지의 단위근 검정과 공적분 검정 결과는 실질 GDP와 총 전력소비 및 각 산업별 전력소비는 불안정 변수이고 장기균형 관계가 없음을 의미한다. 그러므로 앞에 제시된 식 (1)과 (2)와 같이 표준 Granger 인과관계 검정을 통해 경제성장과 전력소비 사이의 인과관계를 알아보는 것이 적합하다.

3. Granger 인과관계 검정 결과

경제성장과 전력소비 사이의 인과성 검정과 관련하여 네 가지 가설이 제기되어 왔다. 첫째는 경제성장과 사람들의 소득 증가가 전력소비에 영향을 미친다는 가설($EC \leftarrow Y$)이고, 둘째는 전력소비는 생산 활동에 필요한 생산요소로 간주될 수 있으므로 전력소비가 경제성장에 영향을 준다는 가설($EC \rightarrow Y$), 셋째로는 두 변수 모두 상호 영향을 주는 피드백 관계가 존재한다는 견해($EC \leftrightarrow Y$)와, 넷째로 둘 사이에 아무런 영향도 없다는 가설($EC \nleftrightarrow Y$)이다.

전력소비 감축과 에너지 절약 및 효율화 정책이 경제에 부정적인 영향을 주지 않고 시행되기 위해서는 앞서 제기된 4가지 가설 중에 어떤 것이 한국의 경

알려져 있기 때문에 PP 검정법의 결과를 받아들인다.

우에 타당한지 검증해야 한다. 만약 전력소비에서 경제성장으로의 일방향 인과관계나 양방향관계가 존재한다면 전력소비 감축 및 에너지 효율화 정책은 경제에 부정적인 영향을 줄 것이다. 하지만 반대로, 경제성장에서 전력소비로의 일방향 인과관계가 존재하거나 둘 사이에 서로 영향이 없는 독립적인 관계라면 전력소비 감축 정책은 경제에 부정적인 영향 없이도 수행될 수 있을 것이다. 따라서, 총 전력소비와 1차산업, 제조업, 서비스업 부문의 전력소비와 경제성장의 대리 변수인 실질 GDP 사이의 인과관계를 식별하는 것은 현 시점에서 전력과 에너지 정책에 대해 시사점을 줄 수 있다. 경제성장과 총 전력소비 및 산업별 전력소비 사이의 인과관계 결과가 <표 6>에 제시되어 있다.

먼저, 실질 GDP가 1차 산업의 전력소비에 영향을 미치지 못한다는 귀무가설은 유의수준 5% 수준에서 기각되는 반면에 1차 산업의 전력소비는 실질 GDP에 영향을 미치지 못한다는 귀무가설은 기각할 수 없었다. 이는 경제성장에서 1차 산업 전력소비로의 일방향 인과관계가 존재함을 나타낸다. 다음으로, 실질 GDP가 제조업의 전력소비에 영향을 주지 못한다는 귀무가설은 유의수준

<표 6> Granger 인과관계 검증

가설	F 통계량	P-value	인과관계 방향
<i>ln_Y does not Granger cause ln_ECP</i>	6.35**	0.02 [1]	$ln_Y \rightarrow ln_ECP$
<i>ln_ECP does not Granger cause ln_Y</i>	0.19	0.67 [1]	$ln_ECP \nrightarrow ln_Y$
<i>ln_Y does not Granger cause ln_ECM</i>	3.74**	0.04 [2]	$ln_Y \rightarrow ln_ECM$
<i>ln_ECM does not Granger cause ln_Y</i>	1.90	0.17 [2]	$ln_ECM \nrightarrow ln_Y$
<i>ln_Y does not Granger cause ln_ECS</i>	2.43	0.11 [2]	$ln_Y \nrightarrow ln_ECS$
<i>ln_ECS does not Granger cause ln_Y</i>	0.45	0.64 [2]	$ln_ECS \nrightarrow ln_Y$
<i>ln_Y does not Granger cause ln_ECT</i>	8.66***	0.01 [1]	$ln_Y \rightarrow ln_ECT$
<i>ln_ECT does not Granger cause ln_Y</i>	1.21	0.28 [1]	$ln_ECT \nrightarrow ln_Y$

주: 1) ln_Y (실질GDP), ln_ECP (1차산업전력소비량), ln_ECM (제조업전력소비량), ln_ECS (서비스업전력소비량), ln_ECT (총전력소비량)의 자연로그.

2) ***, **는 유의수준 1%, 5% 수준에서 각각 귀무가설이 기각. []안의 숫자는 최적 시차임.

5%에서 기각되지만, 제조업의 전력소비가 실질 GDP에 영향을 주지 못한다는 귀무가설은 기각할 수 없었다. 이 또한 경제성장에서 제조업 전력소비로의 일방향 인과관계가 존재함을 의미한다. 실질 GDP와 서비스업의 전력소비 사이에는 아무런 인과관계도 존재하지 않아서 두 변수는 서로 독립적임을 나타낸다. 마지막으로, 실질 GDP가 총 전력소비에 영향을 주지 못한다는 귀무가설이 1% 유의수준에서 기각되는 반면에, 총 전력소비가 실질 GDP에 영향을 주지 못한다는 귀무가설은 기각할 수 없었다. 이 역시, 경제성장에서 총 전력소비로의 일방향 인과관계가 존재함을 의미한다.

그러므로 경제성장에서 총 전력소비, 1차 산업 전력소비, 제조업 전력소비로의 일관된 일방향 인과관계가 발견되었고 경제성장과 서비스업 전력소비는 아무런 인과관계를 발견할 수 없는 독립적인 관계가 존재하므로, 이러한 인과성은 전력소비 감축과 에너지 효율화 정책이 경제에 부정적인 영향을 주지 않고도 실행될 수 있음을 의미한다. 서비스업 전력소비는 전기사업자, 수도, 상가 및 기타 부분의 전력소비로 이루어져 있어서 경제 성장에 직접적인 영향을 주지 않고 그 반대로도 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

V. 결론 및 시사점

본 연구에서는 1980년부터 2009년 동안의 실질 GDP와 전력소비 자료를 가지고 전력소비와 경제성장 사이의 인과성을 검정하여 보았다. 각 산업별 전력소비를 1차 산업부문, 제조업, 그리고 서비스업으로 나누었다. 시계열 자료의 인과관계 검정을 통해서 정부의 전력소비 감축 노력이 경제에 부정적인 영향을 주지 않고서도 실행될 수 있는지를 알아보고자 한 것이다.

분석결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 단위근 검정을 시행한 결과 본 논문에서 사용된 실질 GDP와 1차 산업, 제조업, 그리고 총 전력소비는 1차 차분

형태의 안정성을 보였으나, 서비스업 전력소비는 2차 차분했을 때 안정적인 변수로 나타났다. 둘째, 실질 GDP와 총 전력소비 및 각 산업의 전력소비 사이에는 장기균형 관계가 존재하지 않는 것으로 분석되었다. 따라서 변수들의 불안정성과 실질 GDP와 전력소비 사이에 안정적인 선형결합 형태가 존재하지 않기 때문에 본 연구에서는 표준 Granger 인과관계 검정을 수행하였다. 셋째, 인과성 검정 결과, 경제성장이 1차 산업, 제조업, 그리고 총 전력소비에 영향을 주는 일방향 인과관계가 존재했다. 서비스업의 경우 어떠한 인과관계도 발견할 수 없었는데, 서비스업의 전력소비는 경제성장과 어떠한 영향도 주고받지 못하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 경제성장이 총 전력소비뿐만 아니라 서비스업을 제외한 산업별 전력소비에 유의미한 영향을 주었음을 의미한다. 전력소비가 경제성장에 유의미한 영향을 주지 못하는 이유로는 한국의 경제발전은 전력소비 보다는 다른 요인에 의한 결과라는 추론이 가능하다. 전력소비의 경제성장에 대한 기여 정도는 한 국가의 발전 정도, 대외개방, 에너지 정책 등에 따라 다를 수 있기 때문이다.

현행 우리나라의 전력사용은 여러 가지 문제점을 내포하고 있다. 에너지 다소비 산업의 집중과 에너지 의존도 심화 및 환경문제, 그리고 전력과소비 등의 문제가 불거지고 있다. 우리나라 전력요금 수준은 주요 국가들보다 상당히 낮은 수준이다. 강만옥 외(2011)의 연구에 의하면 2010년 산업용 전력요금은 OECD 평균 55.7% 수준, 가정용 전력요금은 53.2% 수준에 불과하다. 그리고 국내 에너지 다소비 업종의 비율은 58%를 점유하고 있어 주요 선진국의 에너지 다소비 업종의 비율(30~40%)보다 높은 수준이다. 최근 전력공급 중단 사태도 일차적 이유로는 이상기온 발생으로 한전의 전력수요 예측실패에 있지만 근본적으로는 낮은 전력요금으로 인한 전력수요자들의 전력과소비 문제가 자리 잡고 있다.

발전설비별 전력량 구성비를 보면 우리나라는 화력(62.9%)과 원자력(34.1%)의 전체 전력량 중에서 차지하는 비중이 높아서 환경문제도 새로운 과제로 대두되고 있다. 현행 에너지 및 전력 요금에는 환경오염 비용을 포함하지 않아 환

경오염 물질이 과다하게 배출되고 있다(강만옥 외, 2011). 이러한 비용을 내재화하기 위해서는 에너지 및 전력요금 현실화를 통해 근본적으로 소비자들에게 올바른 가격신호를 주어 전력소비를 감축하도록 하는 것이 바람직하다. 또한 대외적으로는 국제적인 온실가스 감축량 수준을 충족하기 위해서 청정에너지 및 대체에너지 사용으로의 발전 구성을 점진적으로 실현하는 것이 중요하다.

한편으로는 전력소비를 줄이고 에너지 소비 효율화를 추진하는 정책들이 경제에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 우려가 있다. 전력은 산업의 중간재로 사용되기 때문에 정부의 전력요금 인상과 전력소비 감축 노력은 산업계에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 것이다. 실제로 종별 전력사용량 구성비를 살펴보면 1차 산업은 2.7%인데 비하여 제조업의 전력사용량 비중은 47.5%로 가장 높고 그 다음으로 서비스업이 30.2%를 차지하고 있다. 만약 정부의 전력요금 인상을 통한 전력사용량 감축 노력이 산업에 부정적인 영향을 준다면 특히 제조업 부문의 부정적인 영향이 클 것이라고 예상된다.

그러나 본 연구의 분석결과에 의하면 우리나라의 총 전력소비는 경제성장의 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 경제성장이 1차 산업과 제조업의 전력소비에 영향을 미치나 서비스업의 전력소비와는 독립적인 것으로 분석되었다. 다시 말해서 전력소비의 경제성장에 대한 영향보다는 경제성장이 전력소비에 영향을 주었다는 해석이 가능하다. 경제가 발전하면서 산업과 생활에 필요한 전력사용 역시 증가했음을 시사한다. 그러므로 산업계의 우려와는 반대로 정부의 전력소비 감축과 에너지 효율화 정책 등이 경제에 부정적인 영향을 최소화하면서도 실행될 수 있음을 보여주는 부분이다. 그럼에도 불구하고 단기적으로 산업의 공정별 특성 때문에 특별히 고려해야 할 산업이 있을 수 있다. 철강, 섬유, 석유화학, 시멘트 산업은 전력 및 에너지 정책에 민감한 분야로 알려져 있다. 따라서 정부가 에너지 감축 및 효율화 정책을 추진할 때 산업의 특성을 고려한 세밀한 모니터링과 정밀한 정책 입안이 필요하다.

본 연구의 한계점으로는 다음과 같다. 전력소비 감축 정책 등이 구체적으로 어떠한 산업에 영향을 주는지 산업별로 좀 더 구체적으로 살펴볼 필요가 있다.

그리고 한국경제는 경제발전 과정에서 에너지소비에 구조적인 변화를 겪어왔으므로 이러한 구조변화를 고려한 인과관계 분석을 수행할 필요가 있다. 이러한 인과관계 분석은 추후 연구 과제로 남겨둔다.

◎ 참고 문헌 ◎

1. 강만옥·강광규·조정환, 『탄소세 도입 및 에너지세제 개편방안 연구』, 한국환경정책·평가연구원, 2011.
2. 모수원·김창범, “에너지소비와 경제성장의 동태적 인과관계”, 「자원·환경경제연구」, 제12권 제2호, 2003, pp. 327~346.
3. 유승훈·정군오, “전력소비와 경제성장의 인과관계 분석”, 「산업경제연구」, 제17권 제1호, 2004, pp. 81~94.
4. 에너지경제연구원, <http://www.keei.re.kr>.
5. 이학노·한진현·이명훈, “전력피크의 추정 및 예측에 대한 연구”, 「에너지경제연구」, 제9권 제2호, 2010, pp. 83~99.
6. Chen, S.-T., H.-I. Kuo, and C.-C. Chen, “The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries,” *Energy Policy*, Vol. 35, No. 4, 2007, pp. 2611~2621.
7. Dickey, D. A. and W. A. Fuller, “Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root,” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 74, No. 366, 1979, pp. 427~431.
8. Ebohon, O. J., “Energy, economic growth and causality in developing countries: A case study of Tanzania and Nigeria,” *Energy Policy*, Vol. 24, No. 5, 1996, pp. 447~453.
9. Engle, R. F. and C. W. J. Granger, “Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing,” *Econometrica*, Vol. 55, No. 2, 1987, pp. 251~276.
10. Ferguson, R., W. Wilkinson, and R. Hill, “Electricity use and economic development,” *Energy Policy*, Vol. 28, No. 13, 2000, pp. 923~934.
11. Glasure, Y. U., “Energy and national income in Korea: further evidence on the role of

- omitted variables,” *Energy Economics*, Vol. 24, No. 4, 2002, pp. 355~365.
12. Glasure, Y. U. and A.-R. Lee, “Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and energy: The case of South Korea and Singapore,” *Resource and Energy Economics*, Vol. 20, No. 1, 1997, pp. 17~25.
 13. Granger, C. W. J. and P. Newbold, “Spurious regression in econometrics,” *Journal of Econometrics*, Vol. 2, No. 2, 1974, pp. 111~120.
 14. Huang B.-N., M. J. Hwang, and C. W. Yang, “Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach,” *Ecological Economics*, Vol. 67, No. 1, 2008, pp. 41~54.
 15. Kraft, J. and A. Kraft, “On the Relationship Between Energy and GNP,” *Journal of Energy and Development*, Vol. 3, No. 2, 1978, pp. 401~403.
 16. Mozumder, P. and A. Marathe, “Causality relationship between electricity consumption and GDP in Bangladesh,” *Energy Policy*, Vol. 35, No.1, 2007, pp. 395~402.
 17. Oh, W. and K. Lee, “Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: the case of Korea 1970-1999,” *Energy Economics*, Vol. 26, No. 1, 2004a, pp. 51~59.
 18. _____, “Energy consumption and economic growth in Korea: testing the causality relation,” *Journal of Policy Modeling*, Vol. 26, No. 8-9, 2004b, pp. 973~981.
 19. Phillips, P. C. B. and P. Perron, “Testing for a unit root in time series regression,” *Biometrika*, Vol. 75, No. 2, 1988, pp. 335~346.
 20. Shiu, A. and P.-L. Lam, “Electricity consumption and economic growth in China,” *Energy Policy*, Vol. 32, No. 1, 2004, pp. 47~54.
 21. Soytas, U. and R. Sari, “Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets,” *Energy Economics*, Vol. 25, No. 1, 2003, pp. 33~37.
 22. Stock, J. H. and M. W. Watson, “Interpreting the evidence on money-income causality,” *Journal of Econometrics*, Vol. 40, No. 1, 1989, pp. 161~181.
 23. Templet, P. H, “Energy, diversity and development in economic systems; an empirical analysis,” *Ecological Economics*, Vol. 30, No. 2, 1999, pp. 223~233.

24. Toda, H. Y. and P. C. B. Phillips, "Vector Autoregressions and Causality," *Econometrica*, Vol. 61, No. 6, 1993, pp. 1367~1393.
25. Yoo, S.-H., "Electricity consumption and economic growth: evidence from Korea," *Energy Policy*, Vol. 33, No. 12, 2005, pp. 1627~1632.

접수일(2012년 5월 8일), 수정일(2012년 9월 6일), 게재확정일(2012년 9월 8일)