

A Study on the Causal Relationship Between Electricity Consumption and Output in Manufacturing Sectors of Korea

국내 제조업종별 전력소비와 경제산출간 인과관계 분석

Min Hyuk Park
박민혁

Korea Electric Power Corporation, 55 Jeollyeok-ro, Naju-si 58218, Korea
bluwind@kepcoco.kr

Abstract

This study analyzed causal relationship between electricity consumption and economic output (GDP) for Korea from 2001 to 2014 employing the vector error-correction model estimation by manufacturing sector. The results of unit-roots tests show that all sectoral GDP and electricity consumptions were not stationary. And cointegration tests show that processed foods, Wood·Pulp·Paper, electricity apparatus, Precision·Medical sectors had a linear combinations in the long run between electricity consumptions and economic growth. With respect to the direction of causality, manufacturing sector has a uni-directional running from economic output (GDP) to electricity consumption in short term. The results of study show that sectoral causal relation were different each other in short term and long term. These findings imply that electricity demand management policy focusing on efficiency improvement is necessary to minimize negative impacts on economic growth and to adopt suitable structural policies can induce energy conservation.

단위근검정, 공적분검정, 오차수정모형을 이용하여 2001년~2014년 기간 중 한국의 11개 제조업종별 분기별 전력 소비량과 산출(GDP)간 인과관계를 분석하였다. 단위근 검정 결과 전업종에서 단위근이 존재하다는 귀무가설을 기각하지 못하여 불안정한 시계열됨을 확인 하였다. 공적분 검정에 있어서 식료품, 목재·종이·인쇄, 전기전자, 정밀기기 등 4개 업종에서 공적분 관계가 존재함을 확인하였으며, 공적분 관계가 있는 4개 업종은 장기 인과관계가 있다는 의미이므로 오차수정모형(VECM)을 통해 장기 인과관계를 검정하고 나머지 7개 업종은 표준 그랜저 인과관계 검정을 통한 단기인과관계를 검정하였다. 오차수정 모형을 통한 인과관계 검정결과 전기전자는 보존가설을, 식료품은 성장가설을, 정밀기기는 상호의존 가설을 그리고 목재·종이·인쇄는 독립 가설을 지지하는 것으로 각각 나타났다. 표준 Granger 인과관계 검정결과 보존가설은 1차 금속 등 3개 업종이, 성장가설은 식료품, 섬유·의복 업종이, 상호의존 가설은 석유화학, 전기전자 업종이, 독립가설은 목재·종이·인쇄, 비금속광물, 정밀기기, 운송장비에서 각각 지지하는 것으로 나타났으며 제조업 전체적으로 경제성장이 전력소비를 이끄는 보존가설을 지지하는 것을 확인하였다. 연구 결과가 제시하는 시사점은 요금 현실화, 효율향상 투자 등을 통한 전력수요관리정책이 에너지 생산성 향상과 기후변화 대응 측면에서 중요하나, 제조업종별 특성을 반영하여 부정적 영향을 최소화하고 신중한 추진도 고려해야 함을 시사하고 있다.

Keywords: Sectoral Electricity Consumption, Economic Output, Granger Causality, Vector Error Correction Model

I. 서론

범세계적으로 온실가스 감축을 포함하는 기후변화에 대한 대응이 에너지부문에 중요한 정책 이슈로 부각되고 있다. 파리기후협약을 통해 온실가스 감축을 위한 새로운 가이드라인이 마련되고 있으며, 우리나라는 2030년까지 기준치 대비 온실가스 배출량을 37% 줄이겠다는 계획을 제출하였다. 향후 온실가스 배출량 목표 달성을 위하여 범정부 차원에서 추진될 에너지 정책적 대응에서 전력 부문이 담당하는 역할은 매우 클 것으로 전망된다. 제시된 37% 감축목표 중 26%는 국내에서 감축하고 11%를 해외에서 감축한다면 핵심적인 감축 수단 중

하나인 에너지 효율성의 향상이 문제점으로 대두되는데, 에너지효율 향상을 통한 에너지소비 절감이 경제성장에 부정적 영향을 줄 수도 있기 때문이다.

우리나라 제조업 구조는 1999년부터 본격적으로 에너지 저소비형 산업구조로 변화함으로써 에너지소비를 감소시키는 방향으로 작용하고 있고 에너지효율도 지속적으로 개선되고 있다. 하지만 에너지 절감에 대한 기여도는 에너지 효율개선 보다는 산업구조 개선에 의한 기여도가 더 높아 제조업부문 에너지 효율 개선에 대한 정책의 필요성이 지속적으로 제기되고 있다.

이에 따라 국가 제2차 에너지 기본계획은 수요관리 중심 에너지 정책으로 전환하여 '35년 BAU 대비 에너

Table 1. 선행연구 요약

저자(연도)	분석대상	분석결과
Kraft and Kraft (1978)	미국 자료	경제성장 → 에너지 소비
Yoo and Lee (2010)	88개국 자료	인당 전력소비와 인당 GNP간 역U유자형
Lee and Lee (2010)	25개 OECD국가 자료	전력소비는 소득탄력적, 가격비탄력적
Yu and Choi (1985)	한국 1차 에너지원 자료	석유소비 → 경제성장
Oh (1997)	한국 1차 에너지원 자료	실질 GDP → 1차 에너지 소비
Glasure and Lee (1997)	한국 총에너지소비량	경제성장 ↔ 에너지 소비
조정환, 강만옥 (2012)	한국 산업별 전력소비량	총 GDP → 1차산업, 제조업 전력소비
박기현, 김진경 (2013)	한국 부문별 전력소비량	산업, 가정, 상업부문 전력소비 → 경제성장
임재규, 김종익 (2014)	한국 업종별 전력소비량	제조업 총 전력소비 ↔ 제조업 총 GDP

지 수요의 13%, 전력수요의 15%를 절감하는 목표를 제시하고 있다. 더불어 소비절감을 위한 방안으로 소비왜곡 개선을 위한 요금제도 개편, ICT형 수요관리 도입 등을 제시하고 있어 효율 향상과 요금 현실화 등 수요측 소비 절감이 경제성장에 영향을 미치는지 여부가 중요 이슈가 될 전망이다.

노동, 자본과 더불어 전력을 고려할 수 있는 보완적 생산요소로 본다면 경제성장과 상관관계가 큰 전력소비의 감축은 경제 성장에 부정적 영향을 줄 수 있다고 추정할 수 있다. 하지만 소비와 성장 간의 밀접한 상관성이 곧 인과관계를 의미하지는 않으므로 전력소비와 경제성장간 인과관계를 규명할 필요가 있다. 관련하여 경제규모가 커짐에 따라 에너지소비도 함께 증가하는 것으로 받아 들여 지다가 오일쇼크 이후 경기침체를 겪으면서 에너지소비와 경제성장의 인과관계에 대한 연구가 시도되었다. 만약 인과관계 분석결과 경제성장이 전력소비를 증가시키거나 두 변수간 아무런 관계가 없는 것으로 판명되면 전력소비 절감 노력과 정책은 경제 활동에 부정적 영향 없이 실행 가능하다고 볼 수 있을 것이다. 이러한 배경하에서 전력소비와 경제성장간의 인과관계를 규명하기 위하여 그간 많은 선행 연구가 진행되었다. 하지만 연구접근에 있어 데이터의 차이, 경제환경, 분석기간, 연구방법 등이 일정하지 않아 서로 상이한 연구 결과들을 제시하고 있으며 경제성장과 전력소비간 관계 규명을 위한 연구는 아직도 진행중이다. 본 연구는 제조업종별 특성을 반영한 전력소비와 산출을 나타내는 지표로서 GDP 간의 인과관계를 검증하였다. 연구는 경제 성장과 전력수요간의 인과성에 관한 국내외 선행 연구를 검토 하고, 오차수정모형(VECM)을 활용하여 Granger-인과성(causality)을 검증 후 시사점을 제시한다.

II. 선행연구

경제성장과 에너지소비간 인과관계에 대한 연구는 오일쇼크 이후 Kraft and Kraft (1978)를 시작으로 그동안

많은 작업들이 진행되어 왔으며 관계 규명을 위한 연구는 아직도 진행 중에 있다. 이 연구들이 활용하고 있는 분석모형도 다양하여, 활용된 데이터 특성에 따라 VAR 모형, Hodrick-Prescott (HP) 과정, Granger 인과관계, 공적분 추정법, 오차수정모형 등을 기반으로 에너지 소비 혹은 전력 소비와 경제성장 간의 인과관계를 분석하고 있다.

국내 선행연구 결과를 살펴 보면, 김철환(1998)은 1962-1995년 연간 자료를 사용하여 우리나라의 에너지소비와 경제성장사이의 관계를 분석하여 오차수정모형 추정 결과 에너지소비와 경제성장간에 양방향의 인과관계가 존재하는 것으로 분석하였고 인과관계는 장기적인 인과관계뿐만 아니라 단기적으로도 존재하는 것을 확인하였다.

유승훈(2004)은 1970-2002년의 연간 자료와 오차 수정모형을 통해 우리나라의 전력소비와 총 생산간 인과관계를 분석하여 두 변수간 양방향의 인과관계가 존재함을 확인하였다. 백문영(2012)은 1970년 1분기부터 2009년 4분기까지 실질 GDP와 전력소비 시계열 자료를 바탕으로 한국의 경제성장과 전력수요간의 인과성을 연구하여 Hsiao 방식의 Granger-인과성 분석결과, 한국의 경제성장과 전력수요는 양방향의 인과관계를 보임을 확인하였다. 조정환(2012)은 1980-2009년 동안 한국의 경제성장과 총 전력소비 및 산업별 전력소비사이의 인과관계를 분석하였다. 공적분 검정 결과, 실질GDP와 총 전력소비 및 산업별 전력소비사이에는 장기균형관계가 존재하지 않는 것으로 확인하였다.

이어 표준 Granger 인과관계검정에 의해 연구를 진행 결과 경제성장이 총 전력소비, 제1차 산업 및 제조업의 전력소비에 영향을 주는 일방향 인과관계가 존재하는 것을 확인하였다. 이명환(2012)은 중국의 전력소비와 경제성장의 인과관계를 분석한 결과 중국의 전력소비와 경제 성장 사이에 장, 단기적 양방향 인과성이 있음을 발견하였다. 박기현(2013)은 분기별 데이터를 이용하여 1990년대 이후 한국의 경제성장과 부문별 에너지소비사이의 인과관계를 시계열분석법을 이용하여 추정하였다. 에너지소비를 산업부문, 수송부문, 가정·상업부문에 나누고 실질GDP와의 인과관계를 추정하였다. 분석 결과, 산업부문의 경우에는 장기적으로 보존가설을, 가정·상업부문에서는 피드백가설을 지지하는 것으로 나타났다. 또한 장기균형관계가 존재하지 않는 수송부문의 표준 Granger 인과관계 검정 결과 단기적으로 성장가설을 지지하는 것으로 나타났다. 임재규(2014)는 제조업종의 전력소비와 생산활동 간 인과관계를 분석하기 위해 1985년~2011년 동안의 업종별 연간 전력소비량과 실질부가가치 자료를 이용하여 단위근검정, 공적분검정, 오차수정모형을 통해 시계열분석을 수행하였다. 연구결과 제조업 전체적으로 양방향의 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 업종별 특성에 따라 구분하여 도출한 인과관계에서도 전력비다소비업종, 고부가가치업종, 저부가가치 업종에서는 전력소비와 생산활동 간에 양방향의 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 다만 전력다소비업종의 경우 전력소비에서 생산활동으로의 단방향 인과관계를 확인하였다. 이러한 결과는 전력수요관리정책은 효율 개선을 우선적으로 추진하여 생산활동에 미치는 부정적인 영향을 최소화해야 하고, 증가하는 전력수요를

안정적으로 충족하기 위한 전력공급체계를 구축할 필요가 있음을 시사점으로 제시하였다. 그러나 선행연구들은 전력소비와 경제성장간 인과관계를 분석 시 각각의 업종별로 독립된 인과성 검정을 수행할 경우 업종별에 상이한 인과관계가 도출될 수 있으나, 총 전력소비와 경제성장 사이의 매크로한 인과관계만을 분석한 한계점이 있다. 따라서 전력다소비업종으로 분류되어 있는 업종들을 포함한 개별 산업별 에너지소비 특성을 반영한 인과성 검정이 필요하였다. 이에 본 연구는 선행연구 한계를 극복하고자 제조업종별 특성을 반영한 전력소비와 GDP 간의 인과관계를 검증하고자 한다.

III. 연구방법론

A. 가설검토

그간 선행연구에 설정한 가설들은 크게 네 가지로 구분된다. 첫째, 보존가설(conservation hypothesis)은 경제성장이 에너지소비를 증가 시킨다는 주장이다. 최초로 경제성장과 에너지소비의 관계를 분석을 시도한 Kraft and Kraft (1978)는 1947년부터 1974년까지 미국의 GNP와 에너지소비를 Sims검정을 이용하여 분석한 결과 경제성장이 에너지소비를 이끈다는 결과를 도출하였다. 이후 Abosedra and Baghestani (1991)는 Kraft and Kraft (1978)를 뒤따르는 연구가 동일한 결과를 얻지 못하자 연구 기간을 1947년부터 1987년으로 확장하여 Granger 인과관계 검정을 실시한 결과 경제성장이 에너지소비를 이끈다는 동일한 결과를 얻었다.

둘째, 성장가설(growth hypothesis)은 보존가설과 정반대로 에너지소비가 경제성장을 이끈다는 것이다. Stern (1993)은 1947년부터 1990년까지 미국의 에너지소비와 GDP 그리고 자본과 노동을 포함시킨 다변량 VAR (multivariate vector autoregressive)모형을 이용한 검정 결과, 앞서 실시된 에너지소비와 경제성장간의 인과관계의 결과를 뒤엎고 에너지소비가 경제성장을 이끈다는 결과를 얻었다. 이러한 결과는 에너지절약정책이 경제성장을 저해하므로 정책의 실행에 있어 신중을 기해야 함을 시사한다.

셋째, 상호의존가설(feedback hypothesis)은 에너지소비와 경제성장이 일방적인 인과관계가 아니라 상호 영향을 미친다는 것이다. Hwang and Gum (1991)는 대만의 GNP와 에너지소비의 인과관계를 공분산과 오차수정모형을 통해서 두 변수의 쌍방의 인과관계를 발견하였으며, 김철환(1998)은 한국의 에너지소비와 경제성장사이의 인과관계를 분석한 결과, 두 변수 사이에 공적분의 존재를 밝히고, 오차수정모형을 이용하여 쌍방향 인과성을 발견하였다. 이 경우에도 에너지절약정책은 경제성장에 영향을 미치므로 정책 시행에 있어 신중함이 요구된다.

넷째, 중립가설(neutrality hypothesis)은 에너지소비와 경제성장간에는 아무런 인과관계가 없다는 것이다. Akarca and Long (1980)은 Kraft and Kraft (1978)의 연구가 오일쇼크기간을 포함한 분석으로 인해 불안정한 기간을 선택한 것을 문제 삼으며 분석 기간을 2년 줄여서 동일한 Sims (1972)의 방법으로 추정한 결과, 에너지소비와 경제성장간에는 인과관계가 없다는 결과를 도출하였다.

Table 2. 가설요약

가설	인과관계	에너지 소비절감 정책
보존가설	경제성장 → 에너지소비	감축 적극지지
성장가설	경제성장 ← 에너지소비	부정적
상호의존 가설	경제성장 ↔ 에너지소비	신중한 감축정책
중립가설	경제성장 ⇄ 에너지소비	-

Jems (2010)에 의한 74개국에 걸쳐 에너지소비와 경제성장간 인과관계 분석 결과를 조사 결과 31.35%가 중립가설을 지지하였고, 27.87%는 보존가설을 22.95%가 성장가설을 그리고 18.03%가 피드백가설 결과를 확인한 것으로 나타났다. 약 60%의 연구결과가 중립가설 혹은 보존가설을 지지하는 것으로 나타나 수요관리와 같은 정책추진이 소비 감축에 의미가 있는 것으로 보고 하고 있다. 이상 네 가지 가설을 요약하면 Table 2와 같다.

B. 가설검증

전력소비와 경제성장간 인과관계 접근을 위하여 두 변수간 안정적인 시계열인지 확인이 필요하다. 대부분의 거시경제 변수들은 불안정한 시계열로 알려져 있기 때문에 가성회귀의 문제가 나타날 수 있다. 따라서 인과관계 검정을 위하여 시계열 변수들의 안정성과 장기 균형 관계를 알아 보기 위한 단위근 검정과 공적분 검정을 시행할 필요가 있다. 단위근 검정을 통해 변수들의 불안정성이 확인되고 차분을 통하여 안정성을 갖게 된 시계열 변수라면 오차수정모형이 인과관계 검정방법으로 적합하다. 그러나 두 변수들이 불안정하고 공적분관계가 없다면 표준 Granger 인과관계검정을 시행해야 한다.

표준적인 Granger-인과성 검정을 적용하기 위해서는 관심대상 변수의 시계열이 안정적이어야 하므로 먼저 각 변수의 단위근 존재 여부를 확인해야 한다. 만약 인과성 검정에 불안정한 시계열 자료를 사용하게 되면 가상의 인과성 검정 결과를 가져올 수 있음을 여러 연구에서 입증되었다.

하지만 시계열변수 X와 Y가 단위근을 가지고, 즉 불안정적이지만 1차 차분 후에는 안정화되고 두 변수 사이에 공적분이 존재한다면 오차수정모형을 적용하여 인과성 여부에 대해 판단을 내려야 한다. 두 변수 사이에 공적분 관계가 존재함에도 불구하고 통상적인 인과성 검정기법을 적용하면 장기적인 관계를 볼 수 없으며, 단기적 관계만 남은 결과를 가지고 인과성 유무에 대해 검정을 하게 된다. 시계열들이 공적분 관계에 있을 때에는 벡터오차수정모형(VECM)을 이용한 Granger 인과성검정 방식을 이용하며 공적분 관계가 없을 때에는 표준적인 Granger 인과성 검정을 수행한다. 시계열의 경로가 평균의 수준에서 벗어나서 불규칙으로 움직이는 이른바 랜덤워크를 따르는지 ADF 검정, PP검정을 사용한 단위근 검정이다. 이는 변수들의 안정성(stationary) 여부를 검정하는 방법으로 평균과 분산이 시간의 흐름에 따라 일정하지 않고 확률적 선형추세를 갖는 시계열 자료이면 불안정한(nonstationary) 시계열이라고 판단한다. 단위근이 존재하면 1차 차분변수($X_{t+1}-X_t$) 또는 2차 차분변수($X_{t+2}-X_t$) 이용하여 한다. 또 이러한 단위근 시계열로 이루어지는 선형결합이 어떤 특별한 성 검증을 위한 VECM 모형은

Table 3. 제조업종별 소비량 기초통계 (단위: GWh)

	TOTAL_CON	PULP	PRECISION	NONMETAL	MOVE	METAL_MAC	FOOD	ETC	ELECTRIC	CLOTH	CHEMI	_1ST_METAL
Mean	46191907	2832243	6883709	2692457	4295092	3882740	2039883	555453.9	1328609	3249225	9935337	8731534
Median	44469948	2832932	6841231	2708022	4214172	3603062	1951773	549695.5	1299888	3149746	9403331	8179294
Maximum	62694421	3114128	11512904	3140439	6124055	6079616	2743560	715161	1586893	3976917	14417948	12693981
Minimum	30643443	2499482	2509314	1847706	2355992	2101422	1413962	436742	1110497	2727662	6802621	5551213
Std. Dev.	10219313	144258.9	2829913	271646.3	1158328	1243669	327884.3	68501.17	108925.1	320790.6	2225517	2256570
Skewness	0.253826	-0.265993	-0.007216	-0.597404	-0.02994	0.314051	0.381061	0.534113	0.428402	0.855617	0.485798	0.313941
Kurtosis	1.608208	2.546963	1.662625	3.352971	1.770284	1.74478	2.272172	2.832552	2.684083	2.612555	2.015157	1.624925
Jarque-Bera	5.121186	1.139253	4.173821	3.62169	3.536836	4.596878	2.591312	2.72801	1.945809	7.183013	4.465802	5.331822
Probability	0.077259	0.565737	0.12407	0.163516	0.170603	0.100415	0.273718	0.255635	0.377984	0.027557	0.107217	0.069536
Sum	2.59E+09	1.59E+08	3.85E+08	1.51E+08	2.41E+08	2.17E+08	1.14E+08	31105420	74402087	1.82E+08	5.56E+08	4.89E+08
Sum Sq. Dev.	5.74E+15	1.14E+12	4.40E+14	4.06E+12	7.38E+13	8.51E+13	5.91E+12	2.58E+11	6.53E+11	5.66E+12	2.72E+14	2.80E+14
Observations	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56

Table 4. 제조업종별 GDP 기초통계 (단위: 십억원)

	GDP_TOTAL	G_PULP	G_PRECISION	G_NONMETA	G_MOVE	G_METAL_M	G_FOOD	G_ETC	G_ELECTRIC	G_CLOTH	G_CHEMI	G_1ST_METAL
Mean	76517.61	2245.736	1302.223	2473.993	11625.59	12045.76	3669.766	1095.857	18444.78	4081.925	11989.72	7542.259
Median	74893.85	2217.8	1274.05	2386.2	11734.7	12143.6	3664.35	1112.35	17931.7	3952.3	12079.6	7464.9
Maximum	104330.3	2507.3	2232.7	3330.9	16393	15790.3	3881.5	1369.3	31427.1	5012.8	15117.4	8962.2
Minimum	49856.4	1957	546.4	1911.2	6734.2	7700.5	3367.4	715.1	6960.3	3405.3	8963.9	5892.2
Std. Dev.	17091.09	145.4126	506.7662	329.5219	3220.263	2370.18	108.4406	178.475	7768.579	506.8352	1765.177	670.1109
Skewness	0.084878	0.081906	-0.03571	0.370938	-0.061454	-0.303283	-0.355937	-0.389698	0.216861	0.581135	-0.018128	-0.153559
Kurtosis	1.704978	1.882274	1.750043	2.348794	1.536336	1.985413	3.299282	1.924598	1.680746	2.020937	1.808753	2.961534
Jarque-Bera	3.980429	2.977671	3.657486	2.273713	5.033978	3.260387	1.391447	4.115879	4.499941	5.388684	3.314227	0.223535
Probability	0.136666	0.225635	0.160615	0.320826	0.080702	0.195892	0.498714	0.127717	0.105402	0.067587	0.190689	0.894252
Sum	4284986	125761.2	72924.5	138543.6	651032.8	674562.8	205506.9	61368	1032908	228587.8	671424.4	422366.5
Sum Sq. Dev.	1.61E+10	1162965	14124659	5972157	5.70E+08	3.09E+08	646764.6	1751933	3.32E+09	14128504	1.71E+08	24697677
Observations	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56

Eq. 1과 같다.

$$\Delta Y_t = \alpha_1 + \sum_{i=1}^{L_{11}} \beta_{11i} \Delta Y_{t-i} + \sum_{j=1}^{L_{12}} \beta_{12j} \Delta X_{t-j} + \gamma_1 \epsilon_{t-1} + u_{1t} \quad (1)$$

여기서 X 는 전력소비량, Y 는 산출(GDP), Δ 는 차분 연산자이며, L 은 시차의 개수, α, β 는 추정해야 할 모수, u_{1t} 는 교란항이며, ϵ_{t-1} 은 공적분 회귀식에서 잔차의 시차값(lagged value)이다. 분석은 시차 결정 후에 Granger 인과 검정을 실시하는데 인과성 검정은 단기적 인과성, 장기적 인과성 검정으로 나누어서 분석한다. Eq. 1에서 차분된 전력소비 변수($\Delta X_{t,j}$)의 추정계수들이 통계적으로 유의하면 전력소비(X_t)는 산출(Y_t)을 단기적으로 Granger 인과한다고 한다. 또한 오차수정항 계수인 γ_1 이 통계적으로 유의하면 전력소비(X_t)는 산출(Y_t)을 장기적으로 Granger 인과한다고 한다. 이는 장기 균형관계에서의 이탈이 단기에 어느 정도 종속변수에 영향을 주어 장기 균형관계로 조정되도록 하는지를 의미하는 단기 조정계수의 성격을 지닌다. 산출(Y_t)이 전력소비(X_t)를 단기적, 장기적으로 Granger 인과하는지 여부 또한 다음과 같은 Eq. 2로 검증하면 된다.

$$\Delta X_t = \alpha_2 + \sum_{i=1}^{L_{21}} \beta_{21i} \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^{L_{22}} \beta_{22j} \Delta X_{t-j} + \gamma_2 \epsilon_{t-1} + u_{2t} \quad (2)$$

Eq. 1에서 $\Delta X_{t,j}$, Eq. 2에서 $\Delta Y_{t,j}$ 의 단기적 추정계수 유의성 검정은 Wald-test를 이용하며 추정된 회귀계수들이 동시에 0인지를 검정하는 일종의 F-검정을 수행한다. 또한 오차수정항의 계수의 유의성 검정은 t값을 이용한다. 개별 시계열이 정상적 시계열이고 공적분관계가 존재하지 않으면 표준 Granger 검정을 수행한다. Granger 인과 관계 검정은 한 변수가 다른 변수를 예측하는데 도움이 되지 않는다는 귀무가설에 대해 검정하기 위해 다음의 Eq. 3처럼 경제성장(Y_t)를 과거값 $\Delta Y_{t,j}$, 전력소비의 과거값 X_{t-i} 에 대한 회귀식을 추정하여 검정하는 방법이다.

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^p \beta_j Y_{t-j} + \epsilon_{1t} \quad (3)$$

벡터오차수정모형을 이용한 분석은 선행적으로 단위근 검정을 통하여 시계열의 안정성을 검정한 후에 공적분검정을 통해 장기 관계를 알아보고, 벡터오차수정모형을 이용한 단기 및 장기의 인과관계 추정하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다. 그러나 검정과정에서 두 변수가 불안정하고 공적분관계가 없다면 Toda and Phillips (1993)에 따라 Granger 인과관계 검정을 실시한다. 한편 독립변수의 시차구조는 인과성 검정의 결과에 민감한 영향을 미친다. 시차의 수를 자의적으로 결정하게 되면 추정계수를 왜곡하고 잘못된 인과성 추론에 이를 수 있다. 따라서 시차수의 결정이 매우 중요하므로 본 연구

Table 5. 단위근 검정 결과

구 분	ADF 검정		
	수준변수	차분변수	
ln(GDP)	식료품 제조	-3.993 (0.0029)	-
	섬유 의복	-0.646 (0.8512)	-7.515 (0.000)
	목재 종이 인쇄	-2.248 (0.192)	-7.842(0.000)
	석유화학	-1.037 (0.738)	-7.283 (0.000)
	비금속 광물	-1.019 (0.740)	-8.812 (0.000)
	1차 금속	-1.649 (0.451)	-6.458 (0.000)
	금속, 기계장비	-1.498 (0.527)	-6.101 (0.000)
	전기 전자	-1.444 (0.554)	-7.974 (0.000)
	정밀기기	-1.339 (0.604)	-6.366 (0.000)
	운송장비	-1.289(0.628)	-7.064(0.000)
	기타제조업	-2.397(0.147)	-7.538(0.000)
합 계	-1.162(0.684)	-5.616(0.000)	
ln(전력 소비)	식료품 제조	-0.187 (0.933)	-2.263 (0.028)
	섬유 의복	-1.239 (0.6519)	-7.233 (0.000)
	목재 종이 인쇄	-2.551 (0.109)	-8.972 (0.000)
	석유화학	0.010 (0.955)	-4.334 (0.001)
	비금속 광물	-1.534 (0.507)	-4.113 (0.002)
	1차 금속	-0.765 (0.820)	-3.168 (0.027)
	금속, 기계장비	-1.229 (0.6528)	-3.051 (0.0382)
	전기 전자	-2.102 (0.244)	-7.531 (0.000)
	정밀기기	-3.322 (0.019)	-
	운송장비	-6.167(0.466)	-8.407(0.000)
	기타제조업	-2.077(0.254)	-3.428(0.014)
합 계	-0.931(0.770)	-8.941(0.000)	

Table 6. 공적분 검정 결과

구 분	Trace Test	Eigenvalue	결과
식료품 GDP & 식료품 전력소비량	0.0039***	0.0092***	존재
섬유의복 GDP & 섬유소비량	0.1804	0.1344	미존재
목재 종이 인쇄 GDP & 목재종이인쇄 전력소비량	0.006***	0.016**	존재
석유화학 GDP & 석유화학 전력소비량	0.735	0.664	미존재
비금속 광물 GDP & 비금속 광물 전력소비량	0.381	0.306	미존재
1차금속 GDP & 1차금속 전력소비량	0.689	0.690	미존재
기계 금속 GDP & 기계 금속 전력소비량	0.613	0.571	미존재
전기전자 GDP & 전기전자 전력소비량	0.022**	0.022**	존재
정밀기기 GDP & 정밀기기 전력소비량	0.042**	0.012**	존재
운송장비 GDP & 운송장비 전력소비량	0.060	0.070	미존재
기타제조 GDP & 기타제조 전력소비량	0.100	0.154	미존재
GDP 합 & 전력소비량 합	0.561	0.574	미존재

***는 99% 신뢰수준, **는 95% 신뢰수준, *는 90% 신뢰수준에서 각각 유의

에서는 선행연구들이 적용한 AIC를 최소로 만들어 주는 수준에서 최적 시차수를 결정한다.

IV. 분석결과

A. 분석자료

본 연구의 자료는 2001년부터 2014년까지의 분기별

Table 7. 최적시차 검정 결과

구 분	AIC	SC	HQ
식료품 제조	4	4	4
섬유 의복	1	1	1
목재 종이 인쇄	1	1	1
석유화학	2	1	1
비금속 광물	4	4	4
1차 금속	4	4	4
금속, 기계장비	4	4	4
전기 전자	3	1	3
정밀기기	4	1	4
운송장비	3	1	3
기타제조업	2	1	2
제조업 합계	2	1	1

시계열 자료로써, 통계청의 제조업종별 실질 GDP와 한국전력공사의 요금부과를 위한 제조업종별 전력판매량을 활용하여 로그를 취한 후 분석에 사용하였다. 전력판매량 자료는 2000년부터 시작한 원격검침시스템(AMI)으로 2015년 현재 17만호 전 고압고객이 설치 완료되어 운영되고 있다. 또한 전력소비 데이터는 계절성을 갖고 있으나 본 연구에서는 원본 데이터를 그대로 사용하였다.

B. 단위근 검정

제조업 업종별 GDP와 전력소비량에 단위근 검정은 Augmented Dicky-Fuller (ADF) 검정을 사용하였다. 단위근 검정에 있어 상수항은 고려하였으나 시간 추세항은 고려하지 않았다. ADF검정 검정결과 식료품 제조 GDP와 정밀기기 전력소비량은 유의수준 5%하에서 귀무가설을 기각하여 단위근이 존재하지 않는 안정적 시계열임을 알 수 있었다. 그 외의 변수는 유의수준 5%하에서 단위근이 존재한다는 귀무가설을 기각하지 못하여 모두 안정적이지 않다는 것을 알 수 있다. 단위근이 존재하는 모든 변수를 1차 차분한 결과 신뢰구간 내에서 모두 귀무가설을 기각하였다. 본 연구에서 사용된 변수인 로그 GDP와 로그 전력소비량의 단위근 검정을 수행한 결과는 Table 5와 같다.

C. 공적분 검정

단위근을 갖는 불안정 시계열인 것으로 나타난 변수들 간 장기적으로 안정적인 균형관계를 갖도록 하는 선형결합이 존재할 경우 이들 시계열은 공적분 관계에 있다고 한다. 본 연구에서는 Johansen & Juselius (1990)가 제시한 공적분 검정방법을 이용하여 공적분의 여부를 확인하였다. 공적분 검정 역시 상수항을 포함하였으나 시간 추세항은 포함하지 않았다. 11개 업종에 대한 공적분관계 분석 시 Trace 통계량 또는 Eigenvalue 통계량을 활용하여 임계치보다 크면 귀무가설을 기각하여 공적분 관계가 있다고 판단하였다.

공적분 검정결과 식료품, 목재종이 인쇄, 전기전자, 정밀기기 등 4개 업종에서 공적분 관계가 존재함을 확인하였다. 공적분 관계가 있는 4개 업종은 장기 인과관계가 있다는 것이므로 오차수정모형(VECM)을 통해 장기 인과관계를 검정하고 나머지 7개 업종은 그랜저 인

Table 8. 인과관계 검정결과

귀무가설	인과관계				
	F-값	P Value	t-값	P Value	
식료품	전력소비 \Rightarrow GDP	2.496	0.0575*	-2.973	0.0049***
	GDP \Rightarrow 전력소비	0.483	0.7474	-0.274	0.7848
섬유·의복	전력소비 \Rightarrow GDP	3.364	0.042**	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	0.525	0.594	-	-
목재·종이·인쇄	전력소비 \Rightarrow GDP	0.028	0.865	0.747	0.458
	GDP \Rightarrow 전력소비	0.752	0.389	0.793	0.431
석유·화학	전력소비 \Rightarrow GDP	3.519	0.037**	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	2.697	0.077*	-	-
비금속·광물	전력소비 \Rightarrow GDP	0.583	0.676	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	1.727	0.161	-	-
1차 금속	전력소비 \Rightarrow GDP	1.483	0.223	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	5.129	0.001***	-	-
금속·기계	전력소비 \Rightarrow GDP	1.826	0.141	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	4.462	0.004***	-	-
전기·전자	전력소비 \Rightarrow GDP	6.943	0.000***	1.157	0.253
	GDP \Rightarrow 전력소비	2.945	0.043**	2.081	0.043**
정밀기기	전력소비 \Rightarrow GDP	0.391	0.813	-2.477	0.017**
	GDP \Rightarrow 전력소비	1.085	0.376	-1.865	0.069*
운송·장비	전력소비 \Rightarrow GDP	0.485	0.694	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	1.223	0.312	-	-
기타제조	전력소비 \Rightarrow GDP	1.073	0.349	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	12.702	0.0005***	-	-
합계	전력소비 \Rightarrow GDP	0.735	0.484	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	3.716	0.031**	-	-

***는 99% 신뢰수준, **는 95% 신뢰수준, *는 90% 신뢰수준에서 각각 유의

과관계 검정을 통한 단기인과성을 검정해야 함을 의미한다.

D. 인과관계

각 업종별 GDP와 전력소비량을 활용, 공적분 벡터가 존재하는 것으로 검증된 식료품, 목재 종이 인쇄, 전기전자, 정밀기기 인과관계를 분석하기 위해 독립변수의 시차 길이를 결정하고 벡터오차수정모형 (VECM)을 이용하였다. 합리적인 시차 결정은 인과성 결론에도 중요한 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 AIC(Akaike information criterion) 값을 최소로 만들어주는 시차를 최적시차로 적용하였다.

Eq. 1에서 $\gamma_1 \epsilon_{t-1}$, Eq. 2에서 $\gamma_2 \epsilon_{t-1}$ 의 오차수정항 계수는 공적분 관계에서 도출된 값으로 두 변수간 장기적 인과관계를 보여준다. 계수 γ_1 이 유의하다는 것은 전력소비가 경제성장을 장기적으로 이끈다는 성장가설 지지의 의미이며 계수 γ_2 가 유의하다는 것은 경제성장이 장기적으로 전력소비를 이끈다는 보존가설의 지지를 의미한다. 또한 오차 수정항 γ_1, γ_2 가 모두 유의하다는 것은 피드백가설을 지지하는 결과이다. 오차 수정항 추정계수는 t-검정을 적용하여 통계적 유의성 여부를 판단하여 인과성을 검정한다.

2001년부터 2014년기간 중 11개 제조업종별 전력소비와 GDP간 인과관계 검정을 실시한 결과는 Table 8과 같다. 검정결과 경제성장이 전력소비를 이끈다는 보존가설을 지지하는 업종은 에너지 다소비 업종인 1차 금속,

Table 9. 오차수정모형 활용 인과관계 검정결과

가 설	검 정 결 과	산출량 비중 ('14년 기준)
보존가설	전기전자	29.5%
성장가설	식료품	3.7%
상호의존	정밀기기	2.0%
독립가설	목재, 종이, 인쇄	2.3%

Table 10. 표준 Granger 인과관계 검정결과

가 설	검 정 결 과	산출량 비중 ('14년 기준)
보존가설	1차금속, 금속 기계, 기타제조	24.7%
성장가설	식료품, 섬유의복	8.4%
상호의존	석유화학, 전기전자,	43.9%
독립가설	목재·종이·인쇄, 비금속광물, 정밀기기, 운송장비	22.9%

Table 11. 제조업 합계 인과관계 검정결과

가 설	검 정 결 과	산출량 비중 ('14년 기준)
보존가설	제조업 합계	100%

금속·기계, 기타제조로 나타났으며 전력소비가 경제성장을 이끄는 성장가설은 식료품, 섬유의복과 같이 경공업 중심의 업종으로 나타났다. 고급/ 첨단기술이라 할 수 있는 석유화학, 전기전자 업종은 경제성장과 전력소비가 상호 영향을 미치는 상호의존설을 지지하였다. 다만 목재종이인쇄, 비금속광물, 정밀기기, 운송장비 등의 업종은 상호 인과관계를 확인할 수 없는 독립가설을 지지하는 것으로 나타났다.

오차수정모형을 이용한 제조 업종별 전력소비와 GDP간 장기인과관계 결과를 요약하면 Table 9와 같다.

업종별 전력소비와 GDP간 단기 인과관계는 표준 Granger 인과관계 검정분석을 활용하였으며 그 결과는 Table 10과 같다.

업종별 산출량 비중을 고려한다면 상호의존 가설 비중이 43.9%로 가장 크고 성장가설의 비중은 8.4%에 불과하여 제조업 총합계의 인과관계가 보존가설로 결정된 것을 추정가능하다.

E. 기술수준별 인과관계

세부 업종이 갖는 한계를 극복하고자 11개 제조업종별 전력수요, GDP 데이터를 활용하여 생산에 대한 R&D 투자 비중을 고려한 OECD¹ 4개 업종기준을 바탕으로 기술수준별 인과관계를 추가 분석하였으며, 업종별 분류 기준은 Table 12와 같다.

4개 기술분류 모두 단위근이 존재하였으며, 첨단기술 전력소비량과 GDP간에만 장기인관관계를 나타내는 공적분이 존재함을 확인하였다. 기술수준별 전력소비와 GDP간 인과관계 검정결과는 Table 13과 같다. 제조업종 전체적으로 경제 성장이 전력소비를 이끄는 보존가설을 지지하는 것으로 나타났으며 첨단기술 업종은 장기적으로 전력소비가 경제성장을 이끄는 성장가설을 지지하는 것으로 확인 되었다. 단기적으로 중기술, 고기술 업종이

¹ 「STAN Indicators; Industry Coverage」, 2004.9)

Table 12. 제조업종별 기술수준 분류

기술구분	해당업종
저기술업종	003 식료품제조, 004 섬유, 의복, 005목재 종이 인쇄, 015 기타제조업
중기술업종	008 비금속광물(요업), 0091차금속
고기술업종	006 석탄석유007화학(석유, 화학), 010 011금속제품, 기계장비, 014 운송장비
첨단기술업종	012 전기 및 전자, 013정밀기기

Table 13. 제조업 기술수준별 인과관계 검정결과

귀무가설	인과관계				
	F-값	P Value	t-값	P Value	
저기술업종	전력소비 \Rightarrow GDP	0.660	0.053*	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	1.988	0.236	-	-
중기술업종	전력소비 \Rightarrow GDP	1.728	0.161	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	4.541	0.003***	-	-
고기술업종	전력소비 \Rightarrow GDP	1.197	0.310	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	2.604	0.084*	-	-
첨단기술업종	전력소비 \Rightarrow GDP	1.381	0.257	-2.580	0.013**
	GDP \Rightarrow 전력소비	1.347	0.268	-1.173	0.247
제조업 합계	전력소비 \Rightarrow GDP	0.735	0.484	-	-
	GDP \Rightarrow 전력소비	3.716	0.031**	-	-

***는 99% 신뢰수준, **는 95% 신뢰수준, *는 90% 신뢰수준에서 각각 유의

경제성장이 전력소비를 이끄는 보존가설을 지지하였고, 저기술 업종은 전력소비가 경제성장을 이끄는 성장 가설을 지지하였다.

V. 결론 및 시사점

한국의 산업은 에너지 다소비 구조를 갖고 있어 선진국들에 비해 에너지비용부담이 클 수밖에 없다. 그러나 한국 제조업의 경우 전체 에너지소비 가운데 50% 가까이 차지하는 전기 가격이 선진국들에 비해 크게 낮은 점을 고려하면 향후 원전 비중의 감소와 에너지 가격 왜곡을 개선하기 위한 전력요금 조정이 이루어질 경우 산업부문의 에너지 비용 부담은 크게 증대될 여지가 있다.

그간 공급중심의 전력정책은 전력수급 안정과 기후변화 대응이라는 목표를 동시에 달성하는 데 한계가 있었다. 우리나라 전력소비의 약 53.4%를 차지하고 있는 산업부문과 산업부문 전력소비의 94.5%를 차지하는 제조업에서 전력소비가 지속적으로 증가하고 있는데, 이러한 증가세가 생산활동 과정에서 불가피하게 발생할 경우 전력소비 절감을 위한 정부의 전력수요관리정책 강화가 오히려 산업부문의 생산활동과 나아가 우리나라의 거시경제에도 악영향을 발생시킬 가능성을 우려하는 의견도 있다. 이러한 맥락에서 경제성장과 전력수요 변수들 사이 인과관계는 에너지효율향상 정책이 해당 산업에 영향을 미치는가를 추정할 수 있는 방향성을 제시하므로 그 의미가 있다.

본 연구와 관련, 선행연구 결과는 인과성 검증에 활용된 모형과 분석 자료에 따라 서로 다른 결론을 제시하고 있다. 본 연구에서는 2001년부터 2014년까지 분기별 제조업종별 전력소비와 GDP간의 인과관계를 분석하였고 분석결과 제조업종과 전력소비 간에 단기적으로

경제성장이 전력소비를 이끄는 보존가설을 지지하는 인과관계가 존재함을 확인하였다. 이와 같은 분석결과는 전력가격 인상 등을 포함한 제조업 대상 전력수요관리 정책은 전력소비의 감소를 유발하거나 생산활동이 위축되지 않음을 유추할 수 있다. 하지만 업종별로 진행된 인과관계 검증은 서로 다른 결과를 나타내었다. 식료품은 단기, 장기 모두 성장가설을 지지하였다. 즉 전력소비가 경제성장을 이끈다는 것이므로 수요절감, 요금 인상 등 정책에 신중한 접근이 필요하다. 섬유의복은 단기적으로 성장가설을 지지하는 것으로 나타났다. 섬유의복 역시 경공업으로 식료품과 더불어 요금 현실화 등을 통한 수요절감에 매우 신중해야 함을 추정할 수 있다. 석유화학과 전기전자 업종은 단기적으로 상호 인과관계설을 지지하는 것으로 나타났다. 반면 1차 금속과 금속 기계, 기타 제조의 경우 단기적으로 경제성장이 전력소비를 이끄는 보존가설을 지지하는 것으로 나타났다. 따라서 요금현실화, 수요관리, 효율향상 등을 통하여 에너지 절감이 가능하다고 유추할 수 있다.

본 연구는 제조업종별 경제성장과 GDP에 초점을 두었으므로 연구 결과에는 경제 주요변수인 자본, 노동, 가격과 같은 요소를 포함하지 않은 한계가 있다. 향후 자본, 노동, 가격, 온실가스 배출, R&D, 제조업종별 가동률 등을 포함하는 다변량 모형에 대한 추가 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] 김철환, “한국의 에너지소비와 경제성장 사이의 인과관계: 오차수정모형,” 한국경제연구, 제1권, 1998, pp129-155.
- [2] 모수원, 김창범, “에너지소비와 경제성장의 동태적 인과관계” 자원·환경경제연구, 제12권 제2호, 2003.
- [3] 박기현, 김진경, “부문별 에너지소비와 경제성장의 인과관계 분석,” 에너지경제연구, 제12권 제2호, 2013, pp59-82.
- [4] 박민혁, 노건기, 이승은, “한국의 산업별 전력소비와 경제성장간 인과관계 분석,” 조명전기설비학회 제30권 제3호, 2016, pp39-45.
- [5] 박민혁, 문양택전, 박중구, “전력계통한계가격(SMP)과 기저발전비용, LNG도입가격, 환율간 인과관계 분석,” 조명전기설비학회, 제28권 제7호, 2014, pp97-105.
- [6] 박훈, “국내 제조업의 에너지 효율성 분석과 정책적 시사점,” 산업경제분석, 2009, pp27-36.
- [7] 백문영, 김우환, “한국의 경제성장과 전력수요간의 인과성에 관한 연구: 분기별 자료를 이용하여,” 응용통계연구, 제25권 제1호, 2012, pp89-99.
- [8] 오완근, 이기훈, “다변량 오차수정모형을 이용한 에너지와 국민소득간의 인과관계 분석,” 경제학연구, 제51집 제1호, 2003, pp257-271.
- [9] 유승훈, 정군오, “전력소비와 경제성장의 인과관계 분석,” 산업경제연구, 제17권제1호 통권51호, 2004, pp81-94.
- [10] 이기훈, 오완근, “에너지소비와 경제성장간의 인과관계 재분석: 디비지아 에너지지수와 CO₂ 배출량의 적용,” 경제학연구, 제49권 제1호, 2001.
- [11] 이성인, “저소비 고효율 경제사회 구축을 위한 국가에너지 효율화 추진전략 연구,” 에너지경제연구원, 기본보고서 12-15, 2012.
- [12] 임재규 외, “산업부문의 전력수요관리정책 추진방향에 대한 연구,” 에너지경제연구원, 기본연구보고서, 2013.

- [13] 임재규, 김종익, “제조업 생산활동과 전력소비간의 인과관계 분석,” 자원·환경경제연구, 제23권 제2호, 2014, pp349-364.
- [14] 에너지경제연구원, 에너지통계연보, 2012.
- [15] 조정환, 강만옥, “자원. 환경위기 시대에 대비한 에너지가격 개편 추진전략 연구,” 한국 환경정책평가연구원, 기본연구 보고서, 2012.
- [16] 최봉석 외, “거시계량 모형을 이용한 전력요금 파급효과 분석,” 에너지경제연구, 제13권 제1호, 2014, pp23-56.
- [17] 에너지경제연구원, 에너지통계연보, 2015.
- [18] 한기주, “주요국 제조업의 에너지소비구조·가격 및 에너지 비용 비교분석,” 산업경제, 2015.10, pp38-46.
- [19] 한국전력공사, 2015, 한국전력통계.
- [20] 통계청, e-나라통계, 2015.
- [21] Chowdhury B., “re causal relationships sensitive to causality tests,” Applied Economics, Vol. 19, 1987, pp.459-465.
- [22] Engle, R. F. and Granger, C. W. J., “ointeration and Error correction: Representation, Estimation and Testing,” Econometrica, Vol. 55, No. 2, 1987, pp.251-276.
- [23] Granger, C. W. J., “ome Recent Development in a Concept of Causality,” Journal of Econometrics 39, 1988, pp.199-211.
- [24] Huang, Hwang, and Yang: Causal relation between energy and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach, Ecological Economics vol.67, 2007.
- [25] Kraft, J., Kraft,A, Note and Comments: On the relationship between Energy and GNP. The Journal of Energy and Development 3, 1978, pp.401-403.
- [26] Phillips,P.C.B: “Testing for a unit root in time series regression”, Biometrika, Vol.75, 1988.
- [27] Soytas,U and R. Sari: Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets, Energy Economics, Vol.25, 2003.
- [28] Toda, H. Y. and Phillips, P. C. “Vector Autoregressions and Causality.” Econometrica, 61, 1993, pp.1367-1393.
- [29] Yoo and Lee: Electricity consumption and economic growth: A cross country Analysis, Energy Policy 38, 2010.