

## 제조업 생산활동과 전력소비 간의 인과관계 분석

임재규\* · 김종익\*\*

**요약** : 본 연구에서는 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, 저부가가치업종에서는 전력소비와 생산활동 간에 양방향의 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 다만 전력다소비업종의 경우 전력소비에서 생산활동으로의 단방향 인과관계가 발견되었다. 이러한 결과는 전력수요관리정책은 효율개선을 우선적으로 추진하여 생산활동에 미치는 부정적인 영향을 최소화해야 하고, 증가하는 전력수요를 안정적으로 충족하기 위한 전력공급체계를 구축할 필요가 있음을 보여준다.

**주제어** : 생산활동, 전력소비, 인과관계, VEC

**JEL 분류** : Q40

접수일(2014년 1월 29일), 수정일(2014년 6월 11일), 게재확정일(2014년 6월 13일)

<sup>†</sup> 유익한 조언을 해주신 익명의 심사자에게 감사드립니다. 그리고 본 논문은 에너지경제연구원의 2013년 기본연구보고서인 「산업부문의 전력수요관리정책 추진방향에 대한 연구」의 일부 내용을 발췌하여 수정·보완하였음을 밝힙니다.

\* 에너지경제연구원 선임연구위원, 제1저자(e-mail: jklim@keei.re.kr)

\*\* 에너지경제연구원 전문연구위원, 교신저자(e-mail: jikim@keei.re.kr)

# An Analysis on the Causality between Production Activity and Electricity Consumption in Manufacturing Sector

Jaekyu Lim\* and Jong-ik Kim\*\*

**ABSTRACT :** This study analyzed Granger causality between power consumption and production activity in manufacturing sector, by using error correction model. It found that there exists the connection between power consumption and production activity in manufacturing sector. By reflecting the industrial characteristics, it found not only the bilateral causality (power consumption  $\leftrightarrow$  production activity) in power non-intensive industry, high value-added industry and low value-added industry, but also one-way causality (power consumption  $\rightarrow$  production activity) in power-intensive industry. These results imply that power demand management policy focusing on efficiency improvement is necessary primarily to minimize negative impacts on production activity, and also stable power supply system is required to meet the increase of power demand.

**Keywords :** production activity, power consumption, causality, VEC

---

Received: January 29, 2014. Revised: June 11, 2014. Accepted: June 13, 2014.

\* Senior Research Fellow, Korea Energy Economics Institute, Main author (e-mail: jklim@keei.re.kr)

\*\* Researcher, Korea Energy Economics Institute, Corresponding author (e-mail: jikim@keei.re.kr)

## I. 서론

일본 후쿠시마 원전사태 이후, 원자력에 대한 사회적 수용성 악화와 송전선로를 둘러싼 이해당사자 간의 갈등 등이 우리나라의 전력수급불안을 가중시키고 있으며, 이는 기존 공급중심 전력정책의 한계를 보여주고 있다. 한편 우리나라는 온실가스 감축에 대한 대내외적 압력이 가중됨에 따라 화석연료 의존도를 지속적으로 낮추어야 하는 부담에 직면하고 있다. 이와 같은 대내외적인 여건변화는 최근 빠르게 진행되고 있는 우리나라의 전력화(Electrification) 현상을 억제할 수 있는 체계적이고 효율적인 전력수요관리정책을 요구하고 있다. 이는 기존 공급중심의 전력정책으로는 전력수급 안정과 기후변화 대응이라는 목표를 동시에 달성하는데 한계가 있기 때문이다.

특히 우리나라 전력소비의 약 53.4%(2012년 기준)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 가능성이 크다. 따라서 향후 산업부문의 전력화현상을 완화하기 위해서는 관련 정책의 체계적인 개발과 추진이 필요하다.<sup>1)</sup>

한편, 전력은 산업부문 특히 제조업의 생산활동에 필수적인 투입요소 중 하나이다. 그리고 국내 산업구조 및 에너지수급체계 상, 향후 우리나라의 지속적인 경제성장을 담보하기 위해서는 안정적인 전력수급이 뒷받침되어야 한다. 이는 산업부문의 생산활동이 증가하고, 전기·전자, 자동차, 기계 등 고부가가치업종으로 산업구조가 변화할 경우, 전력소비가 지속적으로 증가할 것으로 예상되기 때문이다.

이러한 배경 하에, 본 연구는 산업부문 전력소비의 핵심인 제조업의 업종별 생산활동과 전력소비 간의 인과관계(causality)에 대해 분석하여 제조업 전력소비의 특성을 살펴본다. 이와 같은 분석을 통해 생산활동과 전력소비 간의 일방향(一方向) 또는 양방향(兩方向) 인과관계의 존재 여부에 대한 정보를 도출함으로써, 제조업의

1) 예를 들어 임재규(2013)는 Log Mean Divisia Index(LMDI) 접근방법을 활용한 요인분해 분석을 통해 제조업에서의 전력소비 절감 및 효율향상을 위한 노력이 부족했음을 지적한 바 있다.

전력소비 특성을 반영한 정책적 시사점을 도출하고자 한다. 본 연구에서는 먼저 주요 선행연구를 살펴본 후, 본 연구를 위해 활용된 자료와 분석방법론을 설정한다. 이를 기초로 계량실증분석을 통해 제조업 전력소비와 생산활동 간의 인과관계를 검증하며, 마지막으로 분석결과를 토대로 산업부문 특히 제조업을 대상으로 한 전력수요관리정책의 추진방향에 대한 정책적 시사점을 도출한다.

## II. 선행연구

에너지소비와 경제활동 간의 인과관계에 대하여 김길환(1998)과 오완근·이기훈(2003)이 우리나라의 총에너지소비와 국내총생산 간의 인과관계를 분석한 바 있다. 김길환(1998)은 1962년~1996년 기간의 연간자료와 오차수정모형을 활용하여 에너지소비와 경제성장 사이에 단·장기적으로 양방향의 인과관계가 존재함을 밝혔으며, 오완근·이기훈(2003)은 다변량모형을 활용하여 에너지 소비와 국민소득 간의 인과관계를 분석하였는데,<sup>2)</sup> 두 변수 간에 양방향 장기 인과관계가 존재함을 보여주었다.

한편, 유승훈·정군오(2004)는 1970년~2002년의 연간자료와 오차수정모형을 통해 우리나라의 전력소비와 총생산 간의 인과관계를 분석하여 양방향 인과관계를 도출한 바 있으며, 백문영·김우환(2012)은 1970년~2009년의 분기별 전력소비와 실질 국내총생산 자료를 활용해 Hsiao방식의 Granger 인과관계를 분석하여, 단기적으로는 양방향, 장기적으로는 전력수요에서 경제성장으로의 단방향 인과관계와 양방향성 강인과관계의 존재를 확인하였다. 그러나 이들 선행연구는 우리나라 전체 전력소비와 경제성장 사이의 인과관계만 확인하고 있을 뿐, 부문별 특성을 분석하지 못한 한계성을 가지고 있다.

다만 조정환·강만옥(2012)은 1980년~2009년의 총 전력소비를 1차산업, 제조업, 서비스업의 전력소비로 구분하여 일반적인 Granger 인과관계를 분석하였는데, 경제성장에서 총 전력소비, 1차산업 전력소비 그리고 제조업 전력소비로의 단방향 인과

2) 에너지 소비량·실질 GDP·실질 에너지 가격의 세 변량 수요측면 모형과 실질 GDP·에너지·자본·노동의 네 변량 생산측면 모형의 두 가지 유형으로 구분하였고, 오차수정모형을 이용하여 단·장기 인과관계를 검정하였다.

관계가 존재함을 확인하였으나, 경제성장과 서비스업 전력소비 간에는 인과관계가 없는 것으로 추정하였다. 그리고 박기현·김진경(2013)은 1992년~2012년의 자료를 이용하여, 산업, 수송, 가정·상업부문의 에너지소비와 실질 GDP와의 인과관계를 분석하였다. 산업, 가정·상업부문은 오차수정모형을 이용하여 인과관계를 추정하였으며, 공적분관계가 나타나지 않은 수송부문은 일반적인 Granger 인과관계 검정방법을 사용하였다. 분석결과, 산업부문은 에너지소비에서 경제성장으로의 장기 인과관계와 양방향(兩方向) 단기 인과관계, 가정부문은 양방향 장·단기 인과관계, 수송부문은 경제성장에서 에너지소비로의 일방향(一方向) 인과관계를 도출하였다.

최근 산업부문 특히 제조업 생산활동의 주요 투입요소인 전력의 소비가 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 증가세를 완화시키기 위한 전력수요관리정책의 강화가 예상되는 상황에서, 제조업의 특성을 고려한 전력소비와 생산활동 간의 인과관계의 기초분석이 필요한 상황이다. 그러나 위에서 살펴본 선행연구들은 제조업의 업종별 특성을 고려한 연구가 아니라는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 제조업종을 보다 세분화하여 업종별 특성을 반영한 전력소비와 생산활동 간의 인과관계를 검증한다.

### III. 분석자료 및 방법론

제조업의 전력소비와 생산활동 간 인과관계 분석을 위해, 본 연구는 에너지경제연구원(2012)의 에너지밸런스에 기초한 1985년~2011년 동안의 업종별 전력소비량과 산업연구원의 각 업종별 실질부가가치에 대한 내부자료를 활용하였다. 한편, 에너지밸런스는 제조업을 10개의 업종으로 구분하고 있는데, 본 연구에서는 업종별 특성을 보다 자세히 파악하기 위하여 10개의 제조업종별 전력사용량을 토대로 광공업통계자료의 전력비 원시자료를 활용하여 제조업을 17개 업종으로 세분화하였다(<표 1>).<sup>3)</sup>

3) 본 연구에서는 26년간의 연도별 자료를 사용하여 표본수가 많지 않음에 따라 분석의 검증력이 상대적으로 떨어지는 문제가 존재한다. 이와 같은 문제를 해소하기 위해서는 분기별 또는 월별 데이터를 활용하는 것이 바람직 하지만, 본 연구에서는 업종별 특성을 고려하기 위해 기존의 업종별 전력사용량을 세분화하는 작업을 수행하였다. 이 과정에서 세분화 기준이 된 광공업통계자료의 전력비 원시자료는 연간데이터로서 분기별 자료로의 변환이 불가능하였다. 따라서 검증력의 문제를 일정부분 감수하고 업종별 특성에 대한 분석을 수행하였다.

〈표 1〉 에너지 밸런스 제조업종 구분 및 업종 세분화

에너지밸런스		업종세분화	
①	음식담배	①	음식담배
②	섬유의복	②	섬유의복
③	목재나무	③	목재나무
④	펄프인쇄	④	펄프인쇄
⑤	석유화학	⑤	석유화학
⑥	비금속	⑥	유리
		⑦	요업
		⑧	시멘트
⑦	철강	⑨	철강
⑧	비철금속	⑩	비철금속
⑨	조립금속	⑪	기계
		⑫	반도체
		⑬	디스플레이
		⑭	전기전자
		⑮	자동차
		⑯	조선
⑩	기타제조	⑰	기타제조

업종세분화에 활용된 광공업통계는 한국표준산업분류를 따르고 있는데, 분석기간 동안 총 4차례 개정된 바 있다.<sup>4)</sup> 개정을 거치면서 산업분류가 변화했을 경우, 에너지경제연구원(2012)의 업종구분을 기준으로 보다 세분화하여 17가지 항목으로 재조정 하였다.

업종세분화 결과를 토대로 본 연구에서는 업종별 특성을 고려한 인과관계 분석을 위해 제조업을 전력다소비업종과 전력비다소비업종 그리고 고부가가치업종과 저부가가치업종 등 4가지로 구분하였다. 전력다소비업종은 2011년을 기준으로 전력사용량이 많은 5개 업종을 선별하였으며, 에너지밸런스상의 조립금속업종을 고부가가

4) 한국표준산업분류는 1963년 처음 제정되어 1965년 1차, 1968년 2차, 1970년 3차, 1975년 4차, 1984년 5차, 1991년 6차, 1998년 7차, 2000년에 8차, 2007년에 9차 개정이 있었다. 이에 본 연구의 분석기간인 1985년부터 2011년 사이에는 5차, 6차, 7차, 8차, 9차 분류체계가 적용되었다.

치 업종으로 구분하였다(<표 2>).

<표 2> 업종특성을 반영한 업종분류

대분류	세부 업종
전력다소비업종	⑤석유화학, ⑨철강, ⑪기계, ⑫반도체, ⑮자동차
전력미다소비업종	①음식담배, ②섬유의복, ③목재나무, ④펄프인쇄, ⑥유리, ⑦요업, ⑧시멘트, ⑩비철금속, ⑬디스플레이, ⑭전기전자, ⑯조선
고부가가치업종	⑪기계, ⑫반도체, ⑬디스플레이, ⑭전기전자, ⑮자동차, ⑯조선
저부가가치업종	①음식담배, ②섬유의복, ③목재나무, ④펄프인쇄, ⑤석유화학, ⑥유리, ⑦요업, ⑧시멘트, ⑨철강, ⑩비철금속

한편, 불안정적인 시계열 변수 간에 공적분 관계가 존재한다면 일반적인 Granger 인과관계 검정은 오차수정항이 생략되어있으므로 검정결과가 유효하지 않다(Granger 1988). 오차수정항을 고려하지 못하고 독립변수의 추정계수가 통계적으로 유의한지 여부를 따짐으로써 인과성유무를 검정하기 때문이다(유승훈·정군오, 2004). 하지만 (식1~2)과 같이 Granger(1988), Masih and Masih(1996)가 제시한 오차수정모형(Error Correction Model, ECM)을 이용할 경우, 독립변수의 차분항이 종속변수에 미치는 영향과 함께 오차수정항의 변화가 독립변수에 미치는 영향도 파악할 수 있는 장점이 있다. 이 경우 독립변수 차분항이 종속변수에 미치는 영향은 단기적인 인과관계, 오차수정항이 미치는 영향은 장기적인 인과관계라고 할 수 있다.

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

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

여기서  $X$ 는 전력소비량,  $Y$ 는 실질부가가치,  $\Delta$ 는 차분 연산자이며,  $L$ 은 시차의 개수,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 는 추정해야 할 모수,  $u_t$ 는 교란항이다. 마지막으로  $\varepsilon_{t-1}$ 은 공적분 회귀식에

서의 잔차의 시차값(lagged value)이다.<sup>5)</sup>

(식 1)은  $X$ 가  $Y$ 를 인과 하는지 여부에 대해 검정할 때 사용되고, (식 2)는  $Y$ 가  $X$ 를 인과 하는 여부에 대해 검정할 때 사용된다. (식 1)에서  $\Delta X_{t-j}$ 의 추정계수가 통계적으로 유의하면  $X$ 는  $Y$ 를 단기적으로 Granger 인과 한다고 한다. 또한 (식 1)에서 오차수정항의 추정계수인  $\gamma_1$ 이 통계적으로 유의하면  $X$ 는  $Y$ 를 장기적으로 Granger 인과 한다고 한다. 이 경우 오차수정항의 계수는 장기 균형관계에서의 이탈이 단기에 어느 정도 종속변수에 영향을 주어 장기 균형관계로 조정되도록 하는지를 의미하는 조정계수의 의미를 지닌다. 앞서 설명한 바와 동일하게 (식 2)에서  $\Delta Y_{t-j}$ 의 추정계수가 통계적으로 유의하면  $Y$ 는  $X$ 를 단기적으로 Granger 인과하고 오차수정항의 추정계수인  $\gamma_2$ 이 통계적으로 유의하면  $Y$ 는  $X$ 를 장기적으로 Granger 인과 한다고 한다.

일반적으로  $\Delta X_{t-j}$ ,  $\Delta Y_{t-j}$ , 오차수정항( $\varepsilon_{t-1}$ )의 추정계수가 유의한지 여부를 검정하기 위해 F-검정 또는 t-검정을 이용하여 단기적, 장기적 인과성을 검정한다. 단기적인 인과관계 검정을 위해 각  $\Delta X_{t-j}$ 와  $\Delta Y_{t-j}$  변수들의 추정계수가 모두 0이라는 귀무가설에 대해 F-검정을 한다. 그리고 장기적인 인과관계를 검정하기 위해서는 오차수정항( $\varepsilon_{t-1}$ )의 추정계수에 대해 t-검정을 수행하여 검정한다.

#### IV. 분석결과

본 연구는 먼저 위의 제조업 업종분류를 기초로 실질부가가치와 전력소비량에 대한 단위근 검정을 위해 Augmented Dicky-Fuller(ADF)검정을 사용하였는데, 시차설정 시 너무 짧은 시차를 택하면 모형의 동태적 관계를 충분히 반영하지 못하고, 너무 긴 시차를 택하면 과다추정으로 자료의 손실이라는 문제가 발생하였다. 따라서 Akaike Information Criterion(AIC) 검정을 사용하여 시차를 결정하였다. 그리고 단

5) 본 연구에서의 연간 시계열자료는 26년에 불과하므로 최대 시차수를 4로 제한하였다. 독립변수의 시차는 인과관계 검정의 결과에 많은 영향을 미친다. 시차의 수를 임의적으로 결정할 경우 추정계수를 왜곡하고 잘못된 인과관계 추론에 이를 수 있다. 따라서 시차수의 결정이 매우 중요하므로 본 연구에서는 Akaike Information Criterion(AIC)를 최소로 만들어 주는 수준에서 최적 시차수를 결정한다.

위근 검정에 있어 상수항은 고려하였으나 시간추세항은 고려하지 않았다.

단위근 검정결과, 업종구분과 상관없이 모든 전력소비와 실질부가가치에 대한 수준변수가 불안정적(non-stationary)이라는 귀무가설을 기각하지 못하였다. 따라서 모든 수준변수에는 단위근이 존재하는 것으로 나타났다. 이어서 모든 수준변수를 1차 차분한 후 단위근 검정을 수행하였는데, 전력비다소비업종, 저부가가치업종, 제조업 전력소비에 대한 1차 차분변수와 제조업 부가가치의 1차 차분변수는 5% 유의수준에서, 전력다소비업종, 저부가가치업종 부가가치의 1차 차분변수는 1% 유의수준에서 귀무가설을 기각하였다. 따라서 이들 변수는 1차 적분변수로 나타났다.

하지만 전력다소비업종과 고부가가치업종의 전력소비와 전력비다소비업종 및 고부가가치업종 실질부가가치의 1차 차분변수는 귀무가설을 기각하지 못하였다. 1차 차분한 시계열 자료가 불안정적인 변수인 것으로 판정된 이들 시계열을 2차 차분하여 단위근 검정을 수행한 결과 1% 유의수준에서 귀무가설을 기각하였다. 따라서 이들 변수는 2차 적분변수로 나타났다(<표 3>).

한편, 모든 변수가 단위근을 갖는 불안정 시계열인 것으로 나타남에 따라 변수들 간 공적분 관계가 있는지 검토하였다. 불안정한 시계열 간에 장기적으로 안정적인 균형관계를 갖도록 하는 선형결합이 존재할 경우 이들 시계열은 공적분 관계에 있다고 한다. 본 연구는 Johansen & Juselius(1990)가 제시한 공적분 검정방법을 이용하여 공적분의 존재 유무를 확인하였다. 공적분관계를 검정함에 있어 공적분 방정식에 상수항은 포함하였으나, 시간추세항은 고려하지 않았다.

〈표 3〉 ADF 단위근 검정결과

			t-통계량	P-값
전력소비	전력다소비업종	수준 변수	2.4433	0.9999
		1차 차분	-0.9997	0.7357
		2차 차분	-7.1022	0.0000
	전력비다소비업종	수준 변수	0.4276	0.9801
		1차 차분	-3.2860	0.0271
	고부가가치업종	수준 변수	3.9524	0.9999
		1차 차분	-0.6836	0.8319
		2차 차분	-4.0565	0.0056
	저부가가치업종	수준 변수	0.6464	0.9881
		1차 차분	-3.1391	0.0369
	제조업	수준 변수	2.6475	0.9999
		1차 차분	-4.0520	0.0206
부가가치	전력다소비업종	수준 변수	3.4649	0.9999
		1차 차분	-3.9132	0.0067
	전력비다소비업종	수준 변수	1.5255	0.9988
		1차 차분	-0.6836	0.8319
		2차 차분	-4.0565	0.0056
	고부가가치업종	수준 변수	-0.6989	0.9999
		1차 차분	-0.3019	0.9091
		2차 차분	-4.2415	0.0040
	저부가가치업종	수준 변수	4.3250	0.8294
		1차 차분	-4.1168	0.0042
	제조업	수준 변수	3.1728	0.9999
		1차 차분	-3.4689	0.0182

아래의 <표 4>는 전력소비와 실질부가가치에 대한 공적분 검정결과를 보여주고 있다. Trace 통계값을 기준으로, 전력다소비업종과 전력비다소비업종에서 전력소비와 생산활동 간에는 공적분관계가 없다는 귀무가설이 유의수준 5%에서 기각되었고, 공적분관계가 많아야 1개라는 귀무가설은 기각되지 않았다. 그리고 고부가가치업종과 저부가가치업종에서는 양 변수 간 공적분관계가 없다는 귀무가설이 각각 1%

와 5% 유의수준에서 기각되었으며, 공적분관계가 많아야 1개라는 귀무가설은 기각되지 않았다. 마지막으로 제조업의 경우, 공적분관계가 없다는 귀무가설이 1% 유의수준에서 기각되었으며, 공적분관계가 많아야 1개라는 귀무가설은 기각되지 않았다.

〈표 4〉 전력소비와 생산활동 간 공적분 검정결과

	귀무가설	Eigen value	P-값	Trace	P-값
전력다소비업종 (4)	r=0	0.541**	0.032	22.090**	0.028
	r≤1	0.201	0.291	4.936	0.291
전력비다소비업종 (4)	r=0	0.497*	0.066	22.263**	0.026
	r≤1	0.278	0.119	7.152	0.119
고부가가치업종 (1)	r=0	0.569***	0.007	27.847***	0.004
	r≤1	0.238	0.137	6.806	0.137
저부가가치업종 (3)	r=0	0.575**	0.012	23.748**	0.016
	r≤1	0.162	0.404	4.054	0.404
제조업 (3)	r=0	0.580**	0.011	26.806***	0.005
	r≤1	0.258	0.134	6.861	0.134

주: (1) r은 공적분 방정식의 수를 나타냄

(2) 괄호안의 숫자는 시차를 나타내며, 시차결정은 시차한도 4이내에서 AIC 기준에 의해 선정

이상에서 살펴본 바와 같이, 모든 업종구분에서 전력소비와 실질부가가치 사이에는 공적분관계가 존재하지 않는다는 귀무가설이 Maximum eigenvalue와 Trace 통계치를 이용할 때 유의수준 이내에서 기각되고 있고, 공적분관계가 많아야 1개라는 귀무가설은 기각되지 않았다. 따라서 모든 업종 구분과 제조업에서 전력소비량과 생산활동 양 변수 간에는 1개의 공적분관계가 있으며, 이는 전력소비량과 생산활동 간에는 장기적인 관계가 존재함을 의미한다.

양 변수가 불안정 시계열이지만 공적분되어 있을 경우, 일반적인 Granger 인과관계 검정방법이 유효하지 않기 때문에 오차수정모형에 근거한 인과성검정이 필요하다(Engle and Granger, 1987). 따라서 본 연구에서는 Granger 인과관계 검정을 위해 일반적인 Granger 인과관계 검정이 아닌 오차수정모형을 적용하였다.

아래의 <표 5>는 오차수정모형의 추정결과에 근거한 장·단기 인과성 검정결과이다. 오차수정모형에 의한 인과관계 검정은 단기적 인과관계와, 장기적 인과관계로 구분하여 분석이 가능하다. 단기 인과성 검정을 위해 (식 1)에서  $\Delta X_{t-j}$ 의 추정계수( $\beta_{12}$ )와 (식 2)에서  $\Delta Y_{t-j}$ 의 추정계수( $\beta_{22}$ )가 모두 0이라는 귀무가설에 대해 각각 Wald 검정을 수행하였고, 오차수정모형의 추정계수( $\gamma_1, \gamma_2$ )에 대해 t-검정을 수행하여 장기적인 인과관계를 검정하였다.

<표 5> 추정된 오차수정모형에 근거한 인과성 검정결과

업종 구분	귀무가설	단기 인과성	장기 인과성
		$\Delta X$ 또는 $\Delta Y$	오차수정항
		통계량(p-값)	통계량(p-값)
전력다소비업종 (4)	생산활동↔전력소비	1.29(0.862)	-0.02(0.978)
	전력소비↔생산활동	5.73(0.219)	2.41**(0.023)
전력비다소비업종 (4)	생산활동↔전력소비	4.46(0.346)	-4.11*** (0.000)
	전력소비↔생산활동	4.52(0.339)	-3.13*** (0.004)
고부가가치업종 (1)	생산활동↔전력소비	1.13(0.263)	-5.38*** (0.000)
	전력소비↔생산활동	-1.99*(0.052)	-4.94*** (0.000)
저부가가치업종 (3)	생산활동↔전력소비	0.81(0.846)	1.79** (0.082)
	전력소비↔생산활동	7.96** (0.046)	3.64*** (0.000)
제조업 (3)	생산활동↔전력소비	1.15(0.763)	2.02* (0.051)
	전력소비↔생산활동	6.43* (0.092)	3.30*** (0.002)

주: (1) \*\*\*1% \*\*5% \*10%의 유의수준을 나타냄

(2) 괄호안의 숫자는 시차를 나타내며, 시차결정은 시차한도 4이내에서 AIC 기준에 의해 선정

(3) X는 전기소비량, Y는 실질부가가치(생산활동)

전력다소비업종의 경우 장·단기 인과성 검정 모두 생산활동이 전력소비를 인과하지 않는다는 귀무가설을 기각하지 못하였다. 반면 전력소비에서 생산활동으로의 단기 인과성 검정은 귀무가설을 기각하지 못하였지만, 장기 인과성 검정은 5% 유의수준에서 귀무가설을 기각하였다. 따라서 전력다소비업종에서는 전력소비에서 생산활동으로 일방향 장기 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다.

그리고 전력비다소비업종의 경우 생산활동에서 전력소비로의 단기 인과성 검정은 귀무가설을 기각하지 못하였지만, 장기 인과성 검정에서는 유의수준 1%에서 귀무가설을 기각하였다. 전력소비에서 생산활동으로 인과성 검정 역시 단기 인과성 검정은 귀무가설을 기각하지 못하였지만, 장기 인과성 검정에서는 유의수준 1%에서 귀무가설을 기각하였다. 따라서 전력비다소비업종에서는 전력소비와 생산활동 간 양방향의 장기 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다.

이어서 고부가가치업종과 저부가가치업종의 인과성 검정을 수행하였다. 두 업종 모두 생산활동에서 전력소비로의 단기 인과성 검정은 귀무가설을 기각하지 못하였으나, 장기 인과성 검정에서는 유의수준 하에서 귀무가설을 기각하였다. 그리고 전력소비에서 생산활동으로 단·장기 인과성 검정에서는 유의수준의 차이는 있지만 두 업종 모두 귀무가설을 기각하여, 단·장기 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 고부가가치업종과 저부가가치업종에서는 단기적으로 전력소비에서 생산활동으로의 일방향 인과관계가 존재하였고, 장기적으로 양방향의 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다.

마지막으로 전체 제조업의 경우, 10% 유의수준에서 생산활동에서 전력소비로의 장기 인과관계가 존재하였다. 반대로 전력소비에서 생산활동으로의 단기 인과성 검정에서는 10% 유의수준에서, 장기 인과성 검정에서는 1% 유의수준에서 귀무가설을 기각함으로써 단·장기 인과관계가 도출되었다. 따라서 제조업은 장기적으로 전력소비와 생산활동 간 양방향의 인과관계가 존재하고, 단기적으로는 전력소비에서 생산활동으로 일방향의 인과관계만 존재하는 것으로 나타났다.

## V. 결론 및 시사점

본 연구에서는 제조업의 전력소비와 생산활동 간의 Granger 인과관계를 분석하여 전력소비와 생산활동 간에 장기적으로 양방향의 인과관계가 존재함을 확인하였다. 이와 같은 분석결과는 전력가격 인상 등을 포함한 전력수요관리정책이 전력소비의 감소를 유발할 경우 생산활동 역시 위축될 수 있음을 의미한다. 또한 생산활동이 증가할 경우 핵심 투입요소 중 하나인 전력의 소비가 증가함을 의미한다. 이는 향후

우리나라의 경제성장 과정에서 제조업의 생산활동 확대가 전력수요를 증가시킬 가능성이 큰 바, 안정적으로 수요를 충족시키기 위한 전력공급체계의 구축이 필요함을 의미하고 있다. 또한 전력수요관리정책은 사용량을 규제하는 방식보다 효율개선을 통해 전력사용량을 절감할 수 있도록 추진하여 생산활동에 미치는 부정적인 영향을 최소화해야 함을 시사하고 있다.

〈표 6〉 Granger 인과관계 검정결과

업종구분	전력소비 → 생산활동		생산활동 → 전력소비	
	단기	장기	단기	장기
제조업 전체	○	○	×	○
전력다소비업종	×	○	×	×
전력비다소비업종	×	○	×	○
고부가가치업종	○	○	×	○
저부가가치업종	○	○	×	○

업종별 특성을 구분하여 인과관계를 분석한 결과, 전력비다소비업종, 고부가가치업종 그리고 저부가가치업종에서는 전력소비와 생산활동 간에 양방향의 장기 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 한편, 전력다소비업종의 경우 전력소비에서 생산활동으로의 단방향 인과관계가 발견되었는데, 이는 석유화학, 철강, 기계, 반도체, 자동차 등이 포함된 전력다소비업종은 대규모 장치산업으로서 생산활동 수준에 관계없이 상당한 규모의 사업장을 유지해야하기 때문인 것으로 분석되었다.

하지만 위에서 도출한 시사점을 해석하는 데에는 주의해야 할 사항이 있다. 업종 분류에 따라 인과관계의 결과가 다르게 나타날 수 있다는 점이다. 예를 들어 이 연구에서 분류한 전력다소비업종과 고부가가치업종은 기계, 반도체, 자동차업종이 동일하고 나머지 업종은 다르게 구성되어 있다(〈표 2〉). 하지만 세부업종의 차이로 인해 인과관계의 방향은 전력다소비업종과 고부가가치업종에서 서로 다르게 나타났다. 이러한 결과는 업종구분에 따라 상이한 인과관계가 나타날 수 있다는 것을 의미하며, 각각의 업종별로 독립된 인과성 검정을 수행할 경우 업종별에 상이한 인과관계가 도출될 수 있음을 시사한다. 따라서 전력다소비업종으로 분류되어 있는 석유

화학, 철강, 기계, 반도체, 자동차 등의 업종들이 우리나라의 핵심 업종들을 포함하는 바, 후속연구에서는 개별산업의 에너지소비 특성을 반영한 인과성 검정이 수행되기를 기대한다.

한편 1997~1998년의 외환위기와 2008년의 글로벌 금융위기로 인하여 국내 주요 거시지표에 급격한 변동과 구조적인 변화가 발생하였으며, 본 연구의 분석대상 변수인 전력소비와 부가가치 역시 해당 시점에 급격한 추세변화가 발생하였다. 따라서 후속연구에서는 이런 점을 감안하여 분석구간을 나누어 구간별 변화를 분석하거나, 시계열의 비선형성을 고려한 분석방법론을 적용할 필요가 있다. 또한 본 연구는 이변량 분석이라는 한계가 존재한다. 예를 들어 Stern(1993)은 미국의 GNP와 태양 흑점활동(magnetic activity)간 인과관계가 도출된 Chowdhury(1987)의 연구결과를 제시하며 이변량모형의 한계를 지적하고, 다변량(multivariate) 분석을 통해 가성적 회귀의 문제를 회피함으로써 분석의 타당성을 높일 수 있다고 주장하였다. 따라서 후속연구에서는 분석기간 동안 급등한 석유류 가격에 비해 전력가격이 낮은 수준을 유지해온 점을 고려하여 에너지가격을 분석대상에 추가하거나, 에너지사용기기의 효율을 설명할 수 있는 변수 등을 활용한 다변량 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## [참고문헌]

1. 김길환, “한국의 에너지소비와 경제성장 사이의 인과관계: 오차수정모형”, 「한국경제연구」, 제1권, 1998, pp. 129-155.
2. 박기현·김진경, “부문별 에너지소비와 경제성장의 인과관계 분석”, 「에너지경제연구」, 제12권 제2호, 2013, pp. 59-82.
3. 백문영·김우환, “한국의 경제성장과 전력수요간의 인과성에 관한 연구: 분기별 자료를 이용하여”, 「응용통계연구」, 제25권 제1호, 2012, pp. 89-99.
4. 산업연구원 내부자료.
5. 오완근·이기훈, “다변량 오차수정모형을 이용한 에너지와 국민소득간의 인과관계 분석”, 「경제학연구」, 제51집 제1호, 2003, pp. 257-271.
6. 유승훈, 정근오, “전력소비와 경제성장의 인과관계 분석”, 「산업경제연구」, 제17권

- 제1호 통권51호, 2004, pp. 81-94.
7. 임재규, 『산업부문의 전력수요관리정책 추진방향에 대한 연구』, 에너지경제연구원, 기본연구보고서, 2013.
  8. 에너지경제연구원, 『에너지통계연보』, 2012.
  9. 조정환·강만옥, 『자원·환경위기 시대에 대비한 에너지가격 개편 추진전략 연구』, 한국환경정책평가연구원, 기본연구보고서, 2012.
  10. 통계청, 『광업제조업조사보고서』, 1985-2011.
  11. Chowdhury, B., “Are causal relationships sensitive to causality tests,” *Applied Economics*, Vol. 19, 1987, pp. 459-465.
  12. Engle, R. F. and Granger, C. W. J., “Cointegration and Error correction: Representation, Estimation and Testing,” *Econometrica*, Vol. 55, No. 2, 1987, pp. 251-276.
  13. Granger, C. W. J., “Some Recent Development in a Concept of Causality,” *Journal of Econometrics* 39, 1988, pp. 199-211.
  14. Johansen, S. and Juselius, K., “Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration-with Applications to the Demand for Money,” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 2, 1990, pp. 169-210.
  15. Masih, A. M. M. and Masih, R., “Energy consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error-correction modelling techniques” *Energy Economics*, Vol. 18, No. 3, 1996, pp. 165-183.
  16. Stern, D. I., “Energy and Economic Growth in USA,” *Energy Economics*, Vol. 15, 1993, pp. 137-150.