

## 한국의 에너지 소비와 경제성장의 탈동조화에 대한 분석

강현수

강릉원주대학교 국제통상학과 조교수

# An Analysis on the Decoupling between Energy Consumption and Economic Growth in South Korea

Hyun-Soo Kang<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of International Commerce & Area Studies Gangneung-Wonju National University, South Korea

*Received 30 November 2023, Revised 15 December 2023, Accepted 22 December 2023*

### Abstract

**Purpose** - This study analyzed the decoupling phenomenon between energy consumption and economic growth in Korea from 1990 to 2021. The main purpose of this study is to suggest policy implications for achieving a low-carbon society and decoupling that Korea must move forward in the face of the climate change crisis.

**Design/methodology/approach** - This study investigated the relationship between energy consumption and economic growth by energy source and sector using the energy-EKC (EEKC) hypothesis which included the energy consumption on the traditional Environmental Kuznets Curve (EKC), and the impulse response function (IRF) model based on Bayesian vector auto-regression (BVAR).

**Findings** - During the analysis period, the trend of decoupling of energy consumption and economic growth in Korea is confirmed starting from 1996. However, the decoupling tendency appeared differently depending on the differences in energy consumption by sources and fields. The results of the IRF model using data on energy consumption by source showed that the impact of GDP and renewable energy consumption resulted in an increase in energy consumption of bio and waste, but a decrease in energy consumption by sources, and the impact of trade dependence was found to increase the consumption of petroleum products.

**Research implications or Originality** - According to the main results, efficient distribution by existing energy source is required through expansion of development of not only renewable energy but also alternative energy. Additionally, in order to increase the effectiveness of existing energy policies to achieve carbon neutrality, more detailed strategies by source and sector of energy consumption are needed.

**Keywords:** Bayesian Vector Auto-Regression, Economic Growth, Energy Consumption, Decoupling

**JEL Classifications:** O10, Q20, Q50

<sup>a</sup> First Author, E-mail: [agkang@gwnu.ac.kr](mailto:agkang@gwnu.ac.kr)

© 2023 The Institute of Management and Economy Research. All rights reserved.

## I. 서론

2019년 에너지통계연보에 따르면 한국의 최종에너지 소비량은 2017년 기준 세계 5위(전 세계 비중의 약 4.9%)에 해당하며 그 중 석유 소비는 8위(전 세계 비중의 약 2.7%)를 기록하고 있고, 지난 30년 동안 국내 에너지 소비는 약 3배 이상 증가하였다. 또한 전체 에너지 소비에서 화석에너지(석탄과 석유 등)가 차지하는 비율을 약 80%가 되며, 산업 부문의 최종에너지 소비 비율은 약 62%로 가장 큰 비중을 차지한다. 특히 산업 부문에서 발생하는 온실가스는 전체 국내 온실가스 배출량의 약 87%로, 온실가스 배출량을 감축하는데 산업 부문의 에너지 소비를 줄이는 부분이 중요한 이슈로 인식되고 있다(김선화·정용기, 2023). 물론 2020년에 발생한 코로나19의 영향으로 2020년~2022년 국내 에너지 소비가 다소 감소하였지만, 2022년 하반기부터 경제활동이 본격적으로 재기되면서 에너지 소비가 증가할 것으로 예상되고 있다.

이와 같은 국내 상황에서 2021년 신기후체제가 시작되면서 화석에너지 중심의 경제에서 에너지 효율 및 신재생에너지와 같은 저탄소 경제 시스템으로 전환이 요구되고 있으며, 이에 따라 우리나라도 온실가스 배출과 경제성장과의 탈동조화(decoupling)를 실현할 수 있는가에 대한 관심이 높아지고 있다(이상준, 2017). 일부 선진국에서 탈동조화가 진행 중인 국가도 있으며, 국제적으로 기후변화 대응 및 탄소중립을 달성하기 위해 에너지 소비를 줄이는 동시에 경제성장을 달성하려는 노력이 진행 중이다. 반면, 국가별로 탈동조화의 정도가 다양하게 나타나고 있는데, 임형우·조하현(2019)의 연구에 따르면 1991년 이후 미국, 독일 등은 탈동조화의 성향이 나타나고 있지만, 일본의 경우 탈동조화의 경향이 나타나지 않는다고 분석하였다. 특히 독일은 2000년부터 탈동조화가 관측되고 있으며, 이는 산업 부문의 효율과 및 저탄소 전원의 도입 등 적극적인 에너지 소비 감소 및 친환경 에너지 전환을 추진한 결과로 평가받고 있다. 또한 영국은 적극적으로 제조업의 확대를 억제하고 신재생에너지의 보급을 통해 탈동조화를 경험할 수 있다고 알려져 있다. 다만, 우리나라의 경우 에너지 다소비 산업의 비중이 여전히 높고 저탄소 에너지의 보급이 사회적으로 확산이 되기에는 다소 시간이 필요하다는 견해가 많아, 온실가스 배출 감소와 경제성장이 양립하기 힘들다는 의견도 있다(김동구, 2022).

하지만 기후 변화 대응 및 탄소중립을 달성하기 위해 에너지 소비를 줄이는 것이 선택이 아닌 필수가 되었고, 결국 탈동조화를 달성해야 환경 및 에너지 위기 상황에서 지속가능한 발전이 가능한 상황이 되었다. 이와 같이 에너지 소비와 경제성장의 탈동조화에 대한 국제적 요구와 에너지 다소비 산업이 여전히 높은 비율을 차지하고 있는 국내적 상황에서 본 연구는 한국의 에너지 소비와 경제성장과의 탈동조화 현상이 존재하는지에 대한 분석을 시도하였다. 특히 에너지 소비와 경제성장 간의 탈동조화 현상에 대해 에너지 소비가 반영된 에너지-환경쿠즈네츠(Energy-Environmental Kuznets Curve: EEKC) 가설에 근거해서 경제성장에 따른 에너지 소비의 변화를 분석하였고, 또한 탄소집중도에 근거한 탈동조화 지수를 이용해서 경제성장, 에너지 소비, 신재생에너지, 무역의 관계를 베이저안 벡터자귀회귀(Bayesian Vector Auto-Regression: BVAR)에 기초해서 충격반응함수(Impulse Response Function: IRF) 모형을 에너지 원별 및 에너지 소비 분야별로 세분화해서 분석하였다.

주요 결론으로는 EEKC 가설에 근거해서 경제성장과 에너지 소비 원별 및 부문별로 역 U자형의 관계가 성립되었으며, 탄소집중도 기반의 탈동조화 현상이 나타났음을 알 수 있다. 또한 GDP, 신재생에너지 소비량, 무역의존도의 충격은 양(+)의 값을 가지며 에너지 소비량에 영향을 주었으며, 에너지 원별 소비량은 다양하게 GDP, 신재생에너지 소비량, 무역의존도에 영향을 줄 수 있다. 이를 통해 기후변화 위기 상황에서 우리나라가 앞으로 나아가야 할 저탄소사회 및 탈동조화 달성에 대한 정책적 함의를 제시한 것이 본 연구의 궁극적인 목적이다.

이와 같은 본 연구의 목적을 달성하기 위해 다음과 같이 본 연구를 구성하였다. II장에서는 본 연구와 관련된 선행연구의 소개 및 본 연구의 차별점을 제시하였고, III장에서는 본 연구의 분석모형 및 자료에 대한 소개를 하였다. IV장에서는 분석모형에 따른 분석결과를 제시하였고, 이를 통해 V장에서는 결론 및 정책적 함의를 제시하였다.

## II. 선행연구

온실가스 배출과 경제성장의 탈동조화에 대한 논의는 유럽 등 선진국에서 1990년대 이후 먼저 언급되고 있다. 이는 산업 구조의 변화 및 에너지 효율 증가에 따라 경제 성장을 하면서 동시에 온실가스 배출량이 감소 및 경제성장이라는 탈동조화가 본격화 되었다(임형우·조하현, 2019).

전통적으로 온실가스 배출과 경제성장과의 관계를 Shui and Lam(2004)은 보존가설, 성장가설, 피드백 가설, 중립가설로 나누어서 설명하였다. 보존가설은 경제성장에 따른 에너지 소비 증가로 온실가스 배출량이 증가되는 것을 의미하며, 성장가설은 보존가설과는 반대로 에너지 소비 증가에 따라 온실가스 배출량이 증가되는 동시에 경제성장이 달성됨을 의미한다. 또한 피드백 가설은 에너지 소비 증가 및 온실가스 배출량은 경제성장과 서로 영향을 주고 받는 양방향적인 성격을 갖고 있으며, 중립가설은 이들의 관계가 성립하지 않는다는 가설이다. 동시에 Karanfil(2008)은 분석에 사용된 자료의 특성(분석기간, 자료의 종류, 에너지 소비의 종류, 산업별 분류 등), 경제성장 및 경제발전의 정도 차이 및 해당 국가의 산업 구조의 변화 속도에 따라서 에너지 소비와 경제성장과의 관계가 다른 결과를 보일 수 있다고 주장하였다.

결국 에너지 소비 변화에 따른 온실가스의 배출량 변화가 경제성장에 미치는 영향은 다양하게 나타날 수 있으며, 이와 관련된 선행연구는 다음과 같다. 모수원·김창범(2003)은 1970년~2000년 한국의 에너지 소비와 실질 소득의 관계에 대한 인과성 검정을 통해서 에너지 소비와 실질 소득의 양방향적 인과관계 성립하며 동시에 실질 소득의 증가는 에너지 소비를 증가시키지만, 그 조정이 비교적 서서히 이루어 짐을 강조하였다. 반면 에너지 소비 충격에 대해 실질 소득은 일시적으로 증가한 후 감소하였는데, 이는 경제성장이 에너지 소비를 증가시키나 증가한 에너지 소비는 다시 경제성장의 장애요인으로 작용한 것으로 분석하였다.

에너지 소비를 단순히 전체 에너지 소비로 한정하지 않고 에너지 원별 및 산업별 분류에 따른 분석도 다수 시도되었다. 예를 들어 김수이·이성훈(2017)은 1971년~2010년 한국의 CO2 배출량, 에너지 소비, 전력 소비 및 경제성장 간의 동태적 인과 관계를 분석하였으며, 장기적으로 경제성장과 CO2 배출량의 역 U자형의 관계가 성립되어 EKC 가설이 성립되며 에너지 소비(혹은 전력 소비)에서 CO2 배출량으로 인과관계가 성립함을 강조하였다. 또한 박기현·김진경(2013)은 1992년~2012년 분기별 한국의 부문별 에너지 소비(산업용, 수송용, 가정 및 상업 부문)와 경제성장의 관계를 벡터오차수정모형(Vector Error Correction Model: VECM)을 이용해서 인과 관계를 조사하였으며, 산업용 부문에서는 보존가설, 가정 및 상업 부문에서는 피드백가설이 성립하였지만 수송용 부문에서는 성장가설이 지지됨을 통해서 산업별로 에너지 소비와 경제성장의 관계는 다르게 나타난다고 주장하였다. 이와 유사하게 이윤정 외(2019)는 1997년~2018년 한국의 월별 데이터를 이용해서 부문별 에너지 소비와 경제성장의 관계 분석하였으며, 앞서 박기현·김진경(2013)의 연구와 달리 산업 및 수송 부문은 성장가설, 공공 부문의 경우 중립가설, 가정 및 상업 부문의 경우 인과성 검정의 방법에 따라 다르게 나타나서 특정 가설을 따르지 않는다고 주장하였다. 앞서 소개된 에너지 소비와 경제성장의 에너지 원별 및 산업별 분류에 따른 분석 이외에도 특정 산업에 한정되어 에너지 소비와 경제성장의 관계를 입증한 연구도 있다. 예를 들어 Hu et al.(2015)은 1980년~2010년 중국 37개 제조업 분야의 에너지 소비와 경제성장의 관계 분석하였으며, 중국 제조업 분야의 에너지 소비의 증가는 해당 분야의 부가가치 상승을 가져왔지만, 단기적으로 경제성장에 따른 에너지 소비의 관계는 입증되지 못함을 제시했다.

이상의 에너지 소비와 경제성장의 관계 분석 외에도 이들의 탈동조화에 대한 연구도 다수 시도되었다. 김재혁·조하현(2018)은 1965년~2011년 54개 국가의 에너지 소비와 경제성장의 탈동조화를 소파동 변환(wavelet transformation)의 기법을 이용해서 분석하였으며, 에너지-성장의 선·후행 관계가 통계적으로 유의하지 않아서 에너지-성장 관계의 탈동조화 현상은 단언할 수 없다고 강조하면서 저탄소사회로의 이행을 위한 단계적 정책 도입을 강조하였다. 또한 진태영·김도원(2021)은 1990년~2018년 한국의 산업별 온실가스 배출량과 실질 부가가치의 탈동조화 현상을 분석하였고, CO2 배출량과 경제성장 간의 탈동조화 현상은 2000년대에 가장 심화되었으며, 특히 에너지 다소비 업종과 수송 부문에서 가장 크게 나타났지만

산업 및 공공서비스 부문의 경우 CO2 배출량과 경제성장과의 동조화 현상이 나타나지 않음을 강조하였다. 그리고 임형우·조하현(2019)은 1980년~2014년 63개 국가를 대상으로 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화 현상을 분석하였으며, OECD 국가 및 고소득 국가의 경우 경제성장과 탄소배출량의 탈동조화가 2000년 이후 가속되었으며, 국가별 특성에 따라 탈동조화 정도는 달랐다고 주장하였다. 특히 제조업의 성장 및 수출 비중이 높아질수록 탈동조화에 저해 요인으로 작용한 반면 인적자본 및 신재생에너지 비율의 증가는 탈동조화를 가속시키는 요인으로 작용하였으며, 결국 소득의 증가에 따라 탈동조화는 증가하다가 감소하는 역 U자형의 형태를 보인다고 주장하였다.

결국 본 연구는 지금까지 언급된 에너지 소비와 경제성장의 관계를 입증한 연구를 기초로 다음과 같이 차별화를 시도하였다. 우선 대부분의 선행연구에서는 CO2 배출량과 경제성장의 관계를 입증하는 연구가 주를 이루었지만, 이는 환경오염의 직·간접적인 원천인 에너지 소비의 구조 변화가 보다 근본적으로 해결해야 하는 문제임을 반영하지 못한 측면이 있고(강현수, 2021), 본 연구에서는 이를 극복하기 위해 EEKC 가설과 탈동조화 지수를 통한 에너지 소비와 경제성장의 관계를 분석하였다. 둘째, 에너지 원별 및 부문별 에너지 소비량을 세분화해서 단위근과 공적분 관계가 성립할 경우 BVAR 모형을 통해 IRF 분석을 시도하였다. 이는 대부분의 선행연구에서 수행된 인과관계의 검정을 변수들 사이의 공적분이 존재하는 것을 통해서 VECM을 주로 사용하였지만, BVAR은 변수의 비안정성 및 공적분이 존재하는 모형에서 차분의 형태를 하지 않아도 변수의 정보에 변화가 없는 방법을 적용하였다. 마지막으로 이를 통해 한국의 에너지 소비와 경제성장의 탈동조화 현상에 대한 검증 및 이와 관련된 정책적 제안을 시도한 것이 의의라고 할 수 있다.

### III. 분석방법 및 자료

#### 1. 분석방법

##### 1) EEKC 가설에 근거한 모형

우선 본 연구에서는 에너지 소비와 경제성장과의 관계를 전통적으로 많이 사용되고 있는 EKC 가설에 근거한 모형을 이용해서 이들의 관계를 분석하였다. Luzzati and Orsini(2009)는 전통적인 EKC가설에 에너지 소비가 반영된 EEKC 모형을 다음과 같이 구성하였다.

$$EC_t = f(GDP_t, [GDP_t]^2)$$

여기서 EC는 에너지 소비량, GDP는 일인당 GDP를 나타낸다. 특히 Luzzati and Orsini (2009)는 EKC 모형에서 에너지 소비를 고려해야 하는 이유로 1) 에너지 소비는 직·간접적으로 환경에 영향을 미치는 요인으로 논쟁의 여지가 없고, 2) 경제적 활동을 하기 위해 자연에 대한 간섭을 하는데 이와 같은 과정에서 발생하는 것이 에너지 소비라는 점을 지적하였다. 또한 Wu et al. (2018)은 CO2 배출량과 경제성장의 탈동조화 성향은 화석연료에서 신재생에너지 소비량의 전환이 주요 요인 중 하나임을 강조하였고, 또한 한국의 경우 경제성장에 무역이라는 부분이 차지하는 비중 및 역할이 중요한 상황을 반영하기 위해 본 연구는 다음과 같이 EKC 모형을 재구성하였다.

$$EC_t = a_0 + a_1 \ln(GDP_t) + a_2 [\ln(GDP_t)]^2 + a_3 \ln(REC_t) + a_4 \ln(TD_t) + \mu_t \quad (1)$$

식(1)에서 REC는 신재생에너지 소비량, TD는 무역의존도를 나타낸다. 특히 본 연구에서는 에너지 소비량(EC)의 변수를 에너지 원별(최종에너지 소비량, 석탄 소비량, 가스 소비량, 석유제품 소비량, 바이오 및 폐기물 소비량, 전기 소비량) 및 부문별(산업 부문 소비량, 수송 부문 소비량, 가정 부문 소비량, 상업 및 공공 부문 소비량)로 나누어 계측하였다. 이는 에너지 소비 구조를 반영하기 위한 부분이며, 특히

에너지통계연보의 자료에 의하면 2018년 기준으로 한국의 에너지 원별 최종 에너지 소비는 석유(50.2%), 전력(19.4%), 유석유(12%), LNG(11.4%), 무연탄(1.9%), 기타(5.1%)로 구성되어 있으며, 부문별 최종 에너지 소비는 산업(61.4%), 수송(18.5%), 가정 및 상업(17.8%), 공공 및 기타(2.4%)로 분류된다. 결국 본 연구에서 에너지 원별 및 부문별 에너지 소비량의 세분화 과정은 김진수·허은영(2005)의 연구에서 지적한 바와 같이, 한국의 에너지 소비 구조는 에너지 원별 및 산업별로 급격한 변화를 통해 한국의 에너지 소비량 변화의 패턴이 원별 및 산업별로 다르게 나타나고 있음을 반영한 것이다.

## 2) BVAR 모형

일반적으로 벡터자기회귀(Vector Auto-Regressive: VAR) 모형은 경제이론이 없이 실증적으로 변수들의 관계를 설명할 경우 많이 사용되는 방법이며, 다변량 시계열 자료를 분석할 때 유용하다. 일반적인 VAR(p) 모형은 다음과 같다.

$$Y_t = \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + \epsilon_t \quad (2)$$

식(2)에서 Y는 종속변수, t는 시차, p는 최적 시차를 나타낸다. 하지만 VAR 모형의 경우 제한된 데이터에 비해 계측해야하는 파라메타(parameter)가 많을 경우 추정 결과의 신뢰성이 떨어지는 문제점이 있으며, 또한 시계열 자료가 충분하지 않을 경우 시차값까지 포함하는 VAR을 추정할 경우 파라메타가 증가하는 단점이 있다(김현석·장명희, 2014; 유재원·이기성, 2020). 이를 해결하기 위해 VAR 모형에 동태적 계수 및 상수항에 대한 제약을 통해 안정적인 자료를 이용해 분석한 BVAR 모형을 이용하였다.

BVAR 모형은 사전적 분포와 데이터의 우도함수를 통해서 사후적 분포를 이용해서 파라메타를 추정하며, BVAR 모형의 계측에 일반적으로 사용되는 Litterman(1986)의 Minnesota prior를 적용하여 분석이 수행되었다. 특히 시계열이 단위근의 형태를 통해 공적분관계가 성립하더라도 변수의 움직임에 따라가며 계수를 추정할 수 있는 것이 BVAR의 장점이다(이영수, 2019). 본 연구에서 사용한 BVAR 모형은 식(2)에 기초해서 독립변수의 선형관계에서 탈동조화를 확인하기 위해 다음과 같이 모형을 재구성하였다.

$$\begin{aligned} DI_t &= b_0 + b_{i1} \ln(GDP_{t-p}) + b_{i2} [\ln(REC_{t-p}) + b_{i3} \ln(TD_{t-p})] + \theta_t \\ EC_t &= c_0 + c_{i1} \ln(GDP_{t-p}) + c_{i2} [\ln(REC_{t-p}) + c_{i3} \ln(TD_{t-p})] + \delta_t \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서 DI는 탈동조화를 나타내는 지수, EC는 에너지 소비를 나타내며 에너지 원별 및 부문별 에너지 소비량을 포함하며, p는 BVAR 모형에서의 최적 시차를 의미하고 본 연구에서는 Schwarz Information Criteria(SIC)의 기준에 따라 시차가 선택되었다. 그리고 IRF 모형을 식(3)에 적용해서 특정 시계열 변수의 충격이 발생할 경우 다른 시계열 변수에 시차를 두면서 어떤 반응을 보이는지를 확인하였다. 특히 에너지 소비와 경제성장의 탈동화 현상을 확인하기 위해 경제성장, 신재생에너지 소비량, 무역의존도의 충격에 따른 에너지 소비량의 반응을 BVAR 모형을 통해서 분석하였다.

## 3) 탈동조화 지수

본 연구에서는 가장 널리 탈동조화 지수로 인용되고 있는 OECD(2002)의 탈동조화 비율을 이용하였으며, 구체적인 측정 방법은 다음과 같다.

$$DI_t = - \left[ \frac{(EP/DF)_t - (EP/DF)_{tb}}{(EP/DF)_{tb}} \right] \quad (4)$$

$DI_t$ 은 't'기의 탈동조화 지수,  $(EP/DF)_t$ 는 't'기의 온실가스 배출량(EP)과 실질 GDP의 비율,  $(EP/DF)_{tb}$ 는 기준연도의 온실가스 배출량과 실질 GDP의 비율을 나타낸다. 특히 온실가스 배출량과

실질 GDP의 비율은 탄소집약도(carbon intensity)를 의미하며, 단위당 생산을 위해 배출되는 CO2를 나타낸다. 또한 탄소집약도가 감소하는 경우 탈동조화의 비율 값을 양의 부호로 나타내기 위해 식(4)의 우변에 음의 값을 곱하였으며, 탈동조화의 비율이 양(+)의 값을 가질 경우 탄소집약도가 감소해서 탈동조화가 발생했음을 알 수 있다. 반면 탈동조화 지수가 양(+)의 값을 가지며 증가할수록 경제성장과 온실가스 배출량과는 탈동조화 정도가 커짐을 알 수 있다. 결국 본 연구에서는 1990년을 기준연도로 설정하고, 온실가스 배출량과 실질 GDP의 비율을 의미하는 탄소집약도의 자료를 Enerdata(세계에너지 및 기후 통계-2023년 연감)에서 확보하여 탈동조화의 지수를 계산하였다.

## 2. 분석자료

〈Table 1〉은 본 연구에서 사용된 시계열 자료의 기초통계량을 보여준다. 사용가능한 자료에 기초해서 1990년~2021년을 분석기간으로 설정하였으며, 종속변수로 사용된 에너지 소비량 관련 변수는 에너지 원별 및 분야별 에너지 소비량으로 각각 세분화하여 분석하였다. 에너지 원별 소비량은 국가에너지통계 종합시스템(Korea Energy Statistical Information System: KESIS)의 에너지통계연보를 통해 제시되고 있는 에너지 원별 분류를 사용하였으며, 구체적으로 최종에너지 소비량(TEC, 1,000 toe), 석탄 소비량(COAL, 1,000 toe), 가스 소비량(GAS, 1,000 toe), 석유제품 소비량(PET, 1,000 toe), 바이오 및 폐기물 소비량(BIO, 1,000 toe), 전기 소비량(ELEC, 1,000 toe)으로 나누었다. 또한 분야별 에너지 소비량도 KESIS의 에너지통계연보의 자료를 활용해서 산업 부문 소비량(IND, 1,000 toe), 수송 부문 소비량(TRANS, 1,000 toe), 가정 부문 소비량(RESID, 1,000 toe), 상업 및 공공 부문 소비량(CP, 1,000 toe)로 나누었다. 그리고 본 연구에서 사용된 설명변수는 일인당 GDP(GDP, US dollar/capita)는 OECD, 신재생에너지 소비량(REC, 1,000 toe)는 에너지통계연보, 무역의존도(TD, %)는 한국은행 국민계정의 자료를 각각 사용하였다.

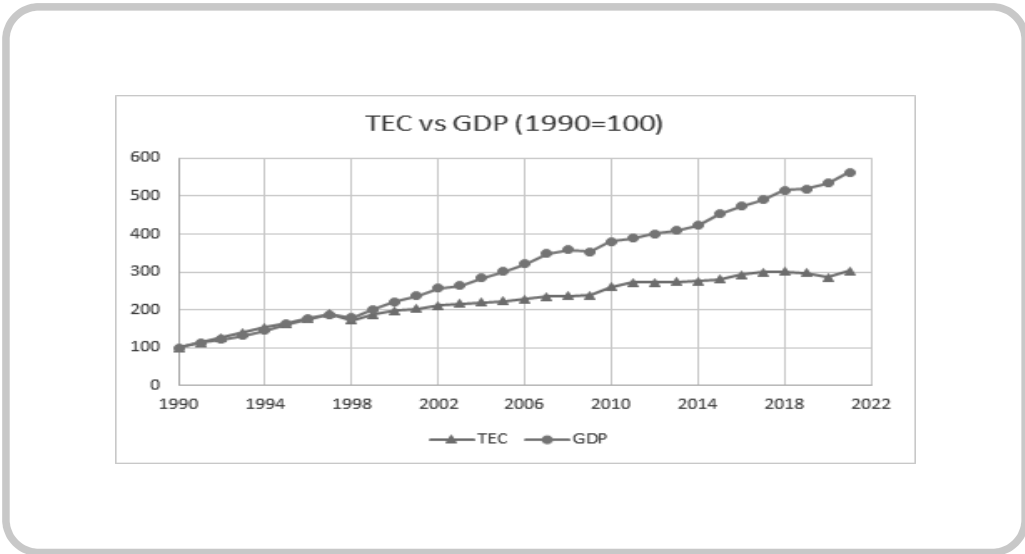
**Table 1.** Data Descriptive (1990~2021)

| Variable | Mean     | Std. dev. | Min     | Max      |
|----------|----------|-----------|---------|----------|
| TEC      | 158762.5 | 42066.5   | 71149.9 | 215796.8 |
| COAL     | 26297.1  | 6067.8    | 19415.2 | 35814.5  |
| GAS      | 16147.1  | 8511.9    | 1016.4  | 26012.8  |
| PET      | 84151.8  | 14251.7   | 41592   | 103309.8 |
| BIO      | 2552.1   | 2155.4    | 5.3     | 6397.1   |
| ELEC     | 28005.2  | 12319.1   | 7996.7  | 44808.7  |
| IND      | 93303.8  | 28625.6   | 36798.6 | 133031.8 |
| TRANS    | 27967.6  | 6837.7    | 12140.6 | 37193.9  |
| RESID    | 16969.7  | 4423.1    | 9234.9  | 22939.9  |
| CP       | 20521.2  | 3205.8    | 10948.1 | 24890.3  |
| GDP      | 26159.8  | 11700.49  | 8355.3  | 47068.2  |
| REC      | 4306.7   | 2990.6    | 618     | 10316    |
| TD       | 74.1     | 17.6      | 48.4    | 109.6    |

본 연구의 주요 목표는 한국의 에너지 소비와 경제성장의 탈동조화에 대한 분석이며, 이들의 관계를 단순하게 확인해 볼 수 있는 자료로 〈Fig. 1〉이 제시되어 있다. 〈Fig. 1〉은 1990년의 자료를 100으로 고정했을 경우 1990년~2021년 최종에너지 소비량(TEC)과 일인당 GDP(GDP)의 추세를 보여준다. 1990년~1998년 TEC와 GDP의 관계는 동조화의 경향을 보였으나, 1998년 이후 TEC와 GDP의 갭(gap)이 점차 커지고 있어 탈동조화의 경향을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 Wu et al. (2018)은 CO2 배출량과

경제성장의 탈동조화 성향은 1) 에너지 소비와 경제성장의 탈동조 성향, 2) 화석연료가 저탄소 에너지로 대체가 주된 원인이라고 강조하면서, 환경 오염물질 배출과 경제성장과의 관계는 에너지 소비량의 변화가 주요 변수라고 강조하면서 단순한 변수들의 추세만으로는 이들의 탈동화를 확인하기는 한계가 있다고 주장하였다.

**Fig. 1.** The Simple Relationship between Energy Consumption, and Economic Growth



#### IV. 실증분석 결과

##### 1. 변수의 사전 검증 결과

구체적인 실증분석의 결과를 소개하기 전에, 본 연구에서 사용된 변수들의 안정성(stationarity)을 확인하기 위한 단위근(unit root) 검정과 장기적 균형 관계의 성립 여부를 확인하기 위해 공적분(cointegration) 검정을 수행하였다. <Table 2>는 ADF(Augmented Dickey-Fuller)와 PP(Phillips-Perron)의 추세(trend)와 상수(constant)가 포함된 단위근 검정의 결과를 보여준다. 모든 변수의 수준변수(level variable)에서는 ‘단위근이 존재한다’는 귀무가설을 기각하지 못하였으나, 차분변수(difference variable)는 10%의 유의 수준에서 모두 귀무가설을 기각해서 불안정한 시계열임을 알 수 있다. 또한 <Table 3>은 Johansen의 공적분 검정의 결과를 보여주고 있으며, ‘공적분 관계가 없다’라는 귀무가설을 에너지 소비량을 차별화 하고 있는 분석모형에서 모두 기각하고 있으며, 이는 최소한 1개 이상의 공적분 관계가 있음을 확인할 수 있고 결국 본 연구에서 사용된 시계열 모형은 장기적인 균형의 관계가 성립함을 알 수 있다.

**Table 2.** Unit Root Test Results

| Variable | ADF            |                     | Phillips-Perron Test |                     |
|----------|----------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|          | Level variable | Difference variable | Level variable       | Difference variable |
| DI       | -1.90 (0.65)   | -4.14 (0.00)        | -2.21 (0.48)         | -4.05 (0.00)        |
| lnTEC    | -2.30 (0.16)   | -3.01 (0.03)        | -2.28 (0.15)         | -4.33 (0.00)        |
| lnCOAL   | -0.76 (0.82)   | -5.63 (0.00)        | -0.67 (0.85)         | -5.68 (0.00)        |
| lnGAS    | -2.15 (0.22)   | -2.75 (0.06)        | -0.71 (0.71)         | -2.91 (0.04)        |
| lnPET    | -1.51 (0.99)   | -4.28 (0.00)        | -2.20 (0.47)         | -4.24 (0.00)        |
| lnBIO    | -2.19 (0.21)   | -5.59 (0.00)        | -2.36 (0.18)         | -5.59 (0.00)        |
| lnELEC   | -1.26 (0.64)   | -3.17 (0.02)        | -1.31 (0.62)         | -4.48 (0.00)        |
| lnIND    | -1.94 (0.31)   | -4.83 (0.00)        | -2.17 (0.21)         | -4.77 (0.00)        |
| lnTRANS  | -2.31 (0.16)   | -5.42 (0.00)        | -2.56 (0.11)         | -5.42 (0.00)        |
| lnRESID  | -0.54 (0.88)   | -4.73 (0.00)        | -0.56 (0.87)         | -4.70 (0.00)        |
| lnCP     | -2.46 (0.12)   | -5.42 (0.00)        | -1.33 (0.64)         | -5.43 (0.00)        |
| lnGDP    | -1.66 (0.76)   | -5.91 (0.00)        | -1.59 (0.79)         | -6.19 (0.00)        |
| lnREC    | -1.34 (0.87)   | -8.63 (0.00)        | -1.14 (0.92)         | -8.62 (0.00)        |
| lnTD     | -1.63 (0.77)   | -5.62 (0.00)        | -1.69 (0.75)         | -5.64 (0.00)        |

Note: p-value in parentheses

**Table 3.** Johansen tests for cointegration

| Dependent Variable | Rank | LL     | Eigenvalue | Trace Statistic | Critical Value 5% |
|--------------------|------|--------|------------|-----------------|-------------------|
| DI                 | 2    | 195.15 | 0.48       | 15.27*          | 15.41             |
| lnCOAL             | 1    | 169.30 | 0.67       | 27.33*          | 29.68             |
| lnGAS              | 1    | 191.83 | 0.59       | 27.76*          | 29.68             |
| lnPET              | 2    | 214.14 | 0.50       | 11.44*          | 15.41             |
| lnBIO              | 2    | 118.13 | 0.44       | 13.38*          | 15.41             |
| lnELEC             | 1    | 222.11 | 0.58       | 25.89*          | 29.68             |
| lnIND              | 2    | 216.20 | 0.55       | 13.38*          | 15.41             |
| lnTRANS            | 1    | 194.38 | 0.53       | 24.59*          | 29.68             |
| lnRESID            | 1    | 190.83 | 0.59       | 26.12*          | 29.68             |
| lnCP               | 1    | 188.82 | 0.55       | 29.17*          | 29.68             |

Note: \* selected rank

## 2. EEKC 가설 검증 결과

(Table 4)는 에너지 원별 EEKC 가설 모형에 근거한 계측 결과를 보여준다. GDP는 양(+)의 값을 가지고 GDP 제곱은 음(-)의 값을 갖는 유의한 결과를 각각 보여주며, 이는 GDP와 에너지 원별 에너지 소비량의 역 U자형 관계를 나타낸다. 신재생에너지 소비량(REC)의 증가는 모든 에너지 원별 소비량을 감소시켰지만, 석유 제품 소비량(PET)을 제외한 변수에서 통계적으로 유의하지 않았다. 또한 무역의존도(TD)의 증가는 석탄 소비량(COAL), 천연가스 소비량(GAS), 전기 소비량(ELEC)의 감소를 가져왔다. 결국, 경제성장에 따라 모든 에너지 소비량은 증가하다가 감소하는 형태를 보였으며, 이는 에너지 소비에 근거한 EEKC 가설이 성립함을 알 수 있다. 그리고 신재생에너지의 소비는 석유 제품 소비량(PET)을 감소시켰으나 모든 에너지 원별 소비량을 감소시키지는 못하였으며, 무역의 비중이 높아질수록 석탄, 석유 제품 및 전기 소비량이 증가함을 보였다. 이를 통해 신재생에너지 소비와 무역의 변화는 에너지 소비량의 종류에 따라 다양하게 영향을 주는 것으로 나타났다.



**Table 4.** EEKC Hypothesis Results by Energy Source

| Variable | Dependent Variable |                  |                   |                   |                   |                   |
|----------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | TEC                | COAL             | GAS               | PET               | BIO               | ELEC              |
| lnGDP    | 4.352<br>(0.00)    | -6.190<br>(0.00) | 22.777<br>(0.00)  | 7.343<br>(0.00)   | 62.592<br>(0.00)  | 4.759<br>(0.00)   |
| lnGDP2   | -0.173<br>(0.00)   | 0.335<br>(0.00)  | -1.311<br>(0.00)  | -0.318<br>(0.00)  | -3.071<br>(0.00)  | -0.194<br>(0.00)  |
| lnREC    | -0.179<br>(0.00)   | -0.141<br>(0.23) | -0.026<br>(0.80)  | -0.317<br>(0.00)  | 1.522<br>(0.15)   | 0.047<br>(0.21)   |
| lnTD     | -0.021<br>(0.65)   | 0.387<br>(0.00)  | 0.039<br>(0.67)   | -0.292<br>(0.00)  | 0.047<br>(0.95)   | 0.202<br>(0.00)   |
| Constant | -12.705<br>(0.00)  | 37.852<br>(0.00) | -13.921<br>(0.00) | -26.442<br>(0.00) | -32.374<br>(0.00) | -19.244<br>(0.00) |
| R-square | 0.73               | 0.71             | 0.74              | 0.75              | 0.72              | 0.78              |
| F        | 604.55             | 69.61            | 1375.69           | 116.30            | 90.53             | 498.31            |

Note: p-value in parentheses

(Table 5)는 에너지 소비의 부문별 EEKC 가설 모형에 근거한 계측 결과를 보여준다. 모든 에너지 소비의 부문별 GDP와 GDP 제곱은 양(+)과 음(-)으로 각각 유의한 값을 가지는 것으로 나타났으며, 신재생에너지 소비량(REC) 증가는 모든 부문에서 에너지 소비량의 감소를 가져왔다. 하지만 무역의 증가는 수송 부문의 소비량(TRANS)만 통계적으로 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다. 이를 통해 에너지 소비의 부문별 EEKC 가설은 GDP와 에너지 소비와의 역 U자형의 관계가 성립하였으며, 신재생에너지의 소비량(REC) 증가는 모든 부문에 에너지 소비량을 감소시켰다. 또한 무역의 증가는 수송 부문의 에너지 소비량만 증가시키는 결과를 보였다.

**Table 5.** EKC Hypothesis Results by Sector

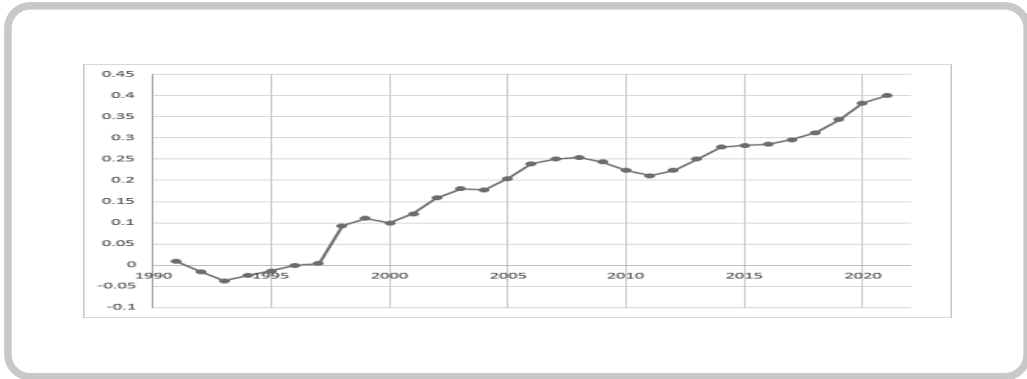
| Variable | Dependent Variable |                |               |                |
|----------|--------------------|----------------|---------------|----------------|
|          | IND                | TRANS          | RESID         | CP             |
| lnGDP    | 3.746 (0.00)       | 7.267 (0.00)   | 2.232 (0.07)  | 5.831 (0.00)   |
| lnGDP2   | -0.135 (0.00)      | -0.315 (0.00)  | -0.135 (0.03) | -0.231 (0.00)  |
| lnREC    | -0.228 (0.00)      | -0.192 (0.00)  | 0.578 (0.00)  | -0.524 (0.00)  |
| lnTD     | 0.066 (0.34)       | 0.281 (0.00)   | 0.045 (0.67)  | -0.123 (0.21)  |
| Constant | -10.955 (0.00)     | -28.115 (0.00) | -3.830 (0.52) | -20.600 (0.00) |
| R-square | 0.72               | 0.81           | 0.75          | 0.72           |
| F        | 384.72             | 381.70         | 113.69        | 48.20          |

Note: p-value in parentheses

### 3. 탈동조화 지수를 이용한 IRF 분석 결과

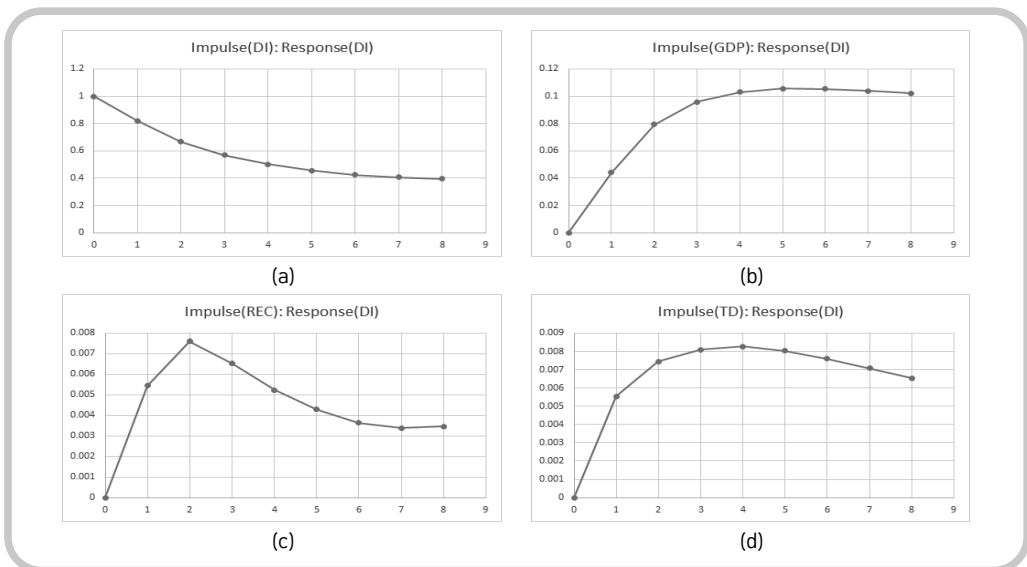
(Fig. 2)는 식(4)를 이용해 탄소집약도에 기초한 탈동조화 지수의 1990년~2021년 추세를 보여주고 있다. 1990년~1995년에는 탈동조화 지수가 감소 및 음(-)의 값을 가져 에너지 소비와 경제성장과의 동조화 경향을 보이고 있지만, 1996년 이후 탈동조화 지수가 양(+)의 값을 가지며 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있어 에너지 소비와 경제성장과의 탈동조화 성향을 확인할 수 있다.

**Fig. 2.** Trend of Decoupling Index by Carbon Intensity



〈Fig. 3〉은 〈Fig 2〉에서 확인한 탄소집약도에 근거한 탈동조화 지수를 이용해서 식(3)을 BVAR을 통한 IRF의 결과를 보여주며, 충격은 0기에 발생한 것을 가정하였다. 〈Fig. 3〉의 결과에서는 특정 변수의 충격에 따른 반응을 사후 중간값을 기준으로 나타내며, 탈동조화 지수(DI) 자체에 대한 충격과 반응의 결과뿐만 아니라 식(3)에서 독립변수로 설정한 GDP, REC, TD의 충격에 따른 DI의 반응을 나타낸다. 0기의 DI의 충격은 양(+)의 값을 가지면서 8기까지 점차 감소함을 보여주며, GDP의 충격을 5기까지 탈동조화 지수(DI)가 증가하였으나 이후 점차 감소하였다. 또한 신재생에너지 소비량(REC)의 충격은 2기까지 탈동조화 지수(DI)를 증가시켰으나 이후 점차 감소하였으며, 무역의존도(TD)의 충격은 3기까지 탈동조화 지수(DI)를 증가시켰으나 역시 이후 점차 감소하였다. 이를 통해 GDP, 신재생에너지 소비량(REC), 무역의존도(TD)의 증가는 탈동조화 지수(DI)를 증가시켰지만, 일정 수준 이상 탈동조화 지수(DI)는 점차 감소되었으며, 특히 신재생에너지 소비량(REC)의 충격이 가장 먼저 탈동조화 지수(DI)를 감소하는 반응으로 나타났다.

**Fig. 3.** IRF Result by BVAR of Decoupling Index

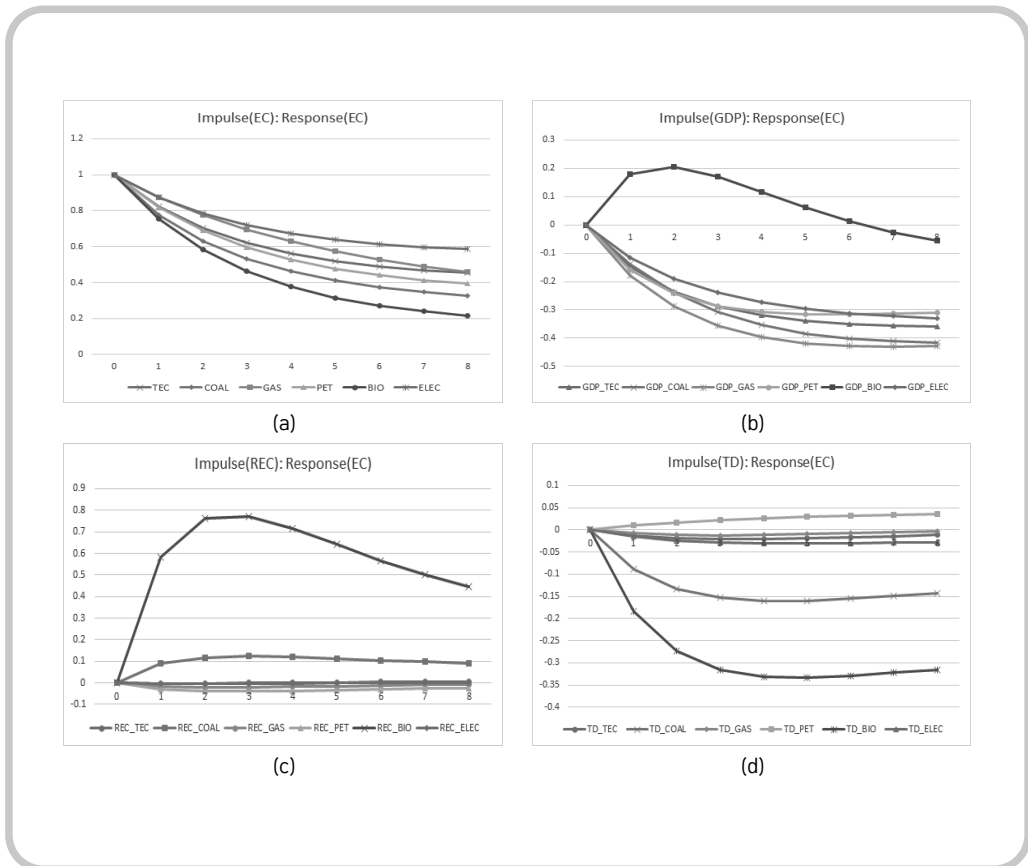


#### 4. 에너지 원별 및 부문별 IRF 분석 결과

〈Fig. 4〉는 에너지 원별 소비량과 식(3)에서 사용된 설명변수(GDP, REC, TD)의 IRF의 결과를 보여준다. 〈Fig. 4〉의 (a)는 에너지 원별 소비량이 해당 변수들의 자체에 대한 충격과 반응을 보여주며, 충격이 시작된 0기 이후 양(+)의 값을 가졌지만 반응은 점차 감소하였다. 특히 전기 소비량(ELEC)의 반응이 가장 둔감하게 감소하였으며, 바이오 및 폐기물 소비량(BIO)이 가장 민감하게 감소하였다. 〈Fig. 4〉의 (b)는 GDP의 충격에 따른 에너지 원별 소비량의 반응을 보여주며, 경제성장의 충격에 따라 바이오 및 폐기물 소비량(BIO)은 2기까지 양(+)의 값을 가지며 증가하다가 이후 감소되었고, 7기 이후는 감소의 경향을 보였다. 하지만 바이오 및 폐기물 소비량을 제외한 다른 에너지 소비량은 음(-)의 값을 가지며 점차 증가하였으며, 경제성장에 따른 가스 소비량(GAS)이 가장 민감하게 감소하였다.

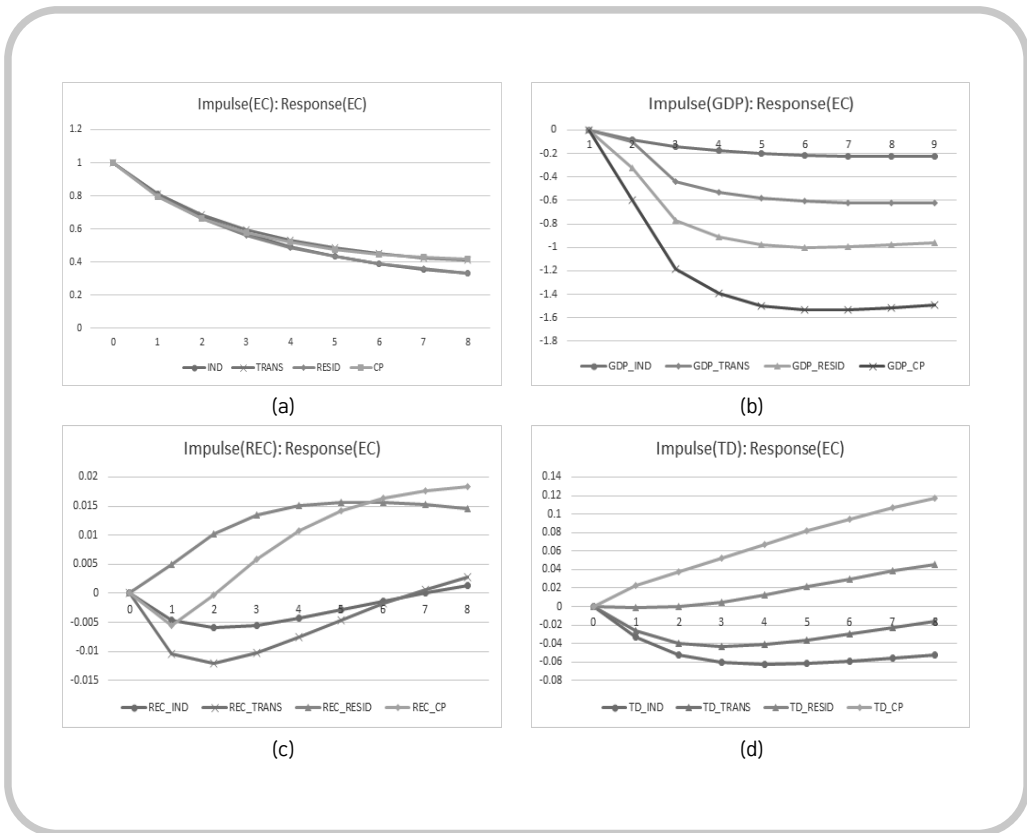
〈Fig. 4〉의 (c)는 신재생에너지 소비량(REC)의 충격에 따른 에너지 원별 소비량의 반응을 나타내며, 신재생에너지 소비량(REC)의 충격이 바이오 및 폐기물 부문의 소비량과 밀접하게 관련되어 있음을 알 수 있다. 그리고 〈Fig. 4〉의 (d)는 무역의존도(TD)의 충격에 따른 에너지 원별 소비량의 반응을 보여주고 있으며 석유제품 소비량(PET)는 양(+)의 값을 가지며 점차 증가하는 경향을 보였지만, 석탄 소비량(COAL)과 바이오 및 폐기물 소비량(BIO)은 시기가 늘어남에 따라 감소하는 반응을 나타냈다.

Fig. 4. IRF Result by BVAR of Energy Sources



(Fig. 5)는 분야별 에너지 소비량과 식(3)의 설명변수의 IRF 결과를 보여준다. (Fig. 5)의 (a)는 각 분야별 에너지 소비량 자체의 충격과 반응을 나타내며, 0기의 충격에 따라 모든 분야의 에너지 소비량은 양(+)의 값을 가지며 점차 감소하였다. (Fig. 5)의 (b)는 경제성장에 따른 분야별 에너지 소비량의 반응을 보여주고 있으며, 모든 분야에서 경제성장의 충격에 따른 에너지 소비량은 음(-)의 값을 가지며 감소하고 있지만, 산업 부문 소비량(IND)이 가장 둔감하게 감소하였고 상업 및 공공 부문 소비량(CP)은 가장 민감하게 감소하는 것으로 나타났다. (Fig. 5)의 (c)는 신재생에너지 소비량의 충격에 따른 분야별 에너지 소비량을 보여주고 있으며, 산업 부문 소비량(IND)과 수송 부문 소비량(TRANS)은 음(-)의 값을 가지며 2기까지는 감소하였으나 이후 증가하여 7기 이후는 오히려 양(+)의 값을 가지는 것으로 나타났다. 또한 상업 및 공공 부문 소비량(CP)은 1기와 2기에 음(-)의 값을 가졌지만 2기 이후 양(+)의 증가하는 경향을 보였으며, 가정 부문 소비량(RESID)은 신재생에너지 소비량의 충격에 전체 기간 양(+)의 값을 가지며 증가하는 경향을 보였다. (Fig. 5)의 (d)는 무역의존도 충격에 따른 분야별 에너지 소비량의 변화를 보여주고 있으며 상업 및 공공 부문 소비량(CP)과 가정 부문 소비량(RESID)은 양(+)의 값을 가지며 기간에 따라 점차 증가하는 경향을 보였지만, 산업 부문 소비량(IND)과 수송 부문 소비량(TRANS)은 음(-)의 값을 가지며 4기 이후 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5. IRF Result by BVAR of Sector



## V. 결론

본 연구는 1990년~2021년 한국의 에너지 소비와 경제성장과의 관계를 EEKC 가설 및 탈동조화 지수를 이용해서 에너지 원별 및 부문별 소비량으로 구분해서 분석하였다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, EEKC 가설에 근거한 에너지 소비와 경제성장의 관계는 모든 에너지 소비 원별 및 부문별에서 역 U자형의 관계가 성립하였다. 신재생에너지 소비의 증가는 석유 제품 소비량을 감소시켰고, 모든 부문에서도 에너지 소비 감소를 가져왔다. 또한 무역의 증가는 석탄, 천연가스, 전기 소비량의 감소를 가져왔으나, 수송 부문에서 에너지 소비는 증가하였다. 결국 한국의 경제성장에 따라 에너지 소비가 증가하다가 이후 점차 감소하는 상황이 있다는 것을 의미하며 성장가설과 보존가설이 모두 적용될 수 있음을 알 수 있고, 신재생에너지 소비와 무역의 변화는 에너지 원별 및 부문별로 차이가 있음을 확인하였다.

둘째, 한국의 탈동조화 지수는 1996년 이후 지속적으로 양(+)의 값을 가지며 증가하고 있으며, 이는 탄소집중도 기반의 탈동조화 현상은 강화되는 것으로 나타났다.

셋째, 탈동조화 지수를 이용한 IRF 모형의 결과에서는 GDP, 신재생에너지 소비량, 무역의존도의 충격은 양(+)의 값을 가지면 에너지 소비량에 영향을 주었다. 특히 GDP의 충격이 가장 크게 탈동조화 지수에 영향을 주었고, 신재생에너지 소비량의 충격이 제일 빠른 시기에 탈동조화 지수를 감소시키는 것으로 나타났으며, 이는 한국의 경제성장이 탈동조화 지수를 증가시킨 요인임을 알 수 있다.

넷째, 에너지 소비량의 원별 자료를 이용한 IRF 모형의 결과에서는 1) GDP와 신재생에너지 소비의 충격은 바이오 및 폐기물의 에너지 소비량이 증가하는 것으로 나타났으나, 다른 원별 에너지 소비량은 감소하는 것으로 나타났으며, 2) 무역의존도의 충격은 석유제품의 소비량을 증가시키는 것으로 나타났다.

마지막으로, 에너지 부문별 소비량을 이용한 IRF 모형의 결과에서는 1) GDP의 충격은 모든 부문별 에너지 소비량을 감소시키는 것으로 나타났으며, 2) 신재생에너지 소비의 충격은 산업과 수송 부문의 에너지 소비량이 일정 시기 이후 증가하는 경향을 보였으며, 3) 무역의존도의 충격은 상업 및 공공 부문과 가정 부문의 에너지 소비량에 증가하는 경향을 보였다.

이상의 본 연구에서 제시한 주요 결론을 통해서 다음과 같이 정책적 함의를 제시하고자 한다. 한국의 에너지 소비와 경제성장과의 탈동조화 경향은 1996년 이후 경향을 하고 있지만, 신재생에너지 소비의 증가보다는 경제성장에 따른 탈동조화가 심화되는 것으로 나타났으며, 이는 향후 글로벌화 경기 침체 및 경제성장 동력의 상실로 인한 장기 침체가 지속될 경우 탈동조화는 약화될 수 있음을 의미한다. 또한 탄소중립을 달성하기 위한 기존의 에너지 정책의 실효성을 높이기 위해서는 보다 세밀하게 에너지 소비의 원별 및 분야별 전략이 필요하다. 즉, 경제성장에 따라 에너지 원별 및 분야별 소비에 미치는 영향이 다양하게 나타나고 있고, 이는 단기적인 에너지 소비 정책 및 탄소저감 관련 정책의 효과성은 미비하게 나타날 수 있으며 체계적이면서 분야별로 장기적인 맞춤형 에너지 소비 관련 정책이 요구된다.

하지만 본 연구에서 언급된 부분으로 탈동조화에 대한 분석기간, 분석방법, 자료 등에 따른 결과가 다르게 도출될 가능성이 있다. 따라서 보다 충분한 시계열 확보를 통한 기간별 분석, 탈동조화 지수의 다양화, 그리고 에너지 소비량에 관련된 추가적인 자료 확보가 필요하며, 이에 대한 부분의 후속 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## References

- 강현수(2021), "환경쿠즈네츠곡선을 이용한 한국의 농업 생산과 온실가스 배출의 관계 분석", 『아태비즈니스연구』, 12(1), 209-223.
- 김동구(2022), "철강산업의 온실가스 배출 탈동조화 국제비교", 『자원환경경제연구』, 31(1), 113-139.
- 김선화·정용기(2023), "온실가스 규제가 비대칭적 원가형태에 미치는 영향", 『무역연구』, 19(3), 195-214.

- 김수이·이성훈(2017), “한국의 CO<sub>2</sub>배출량, 에너지소비, 전력소비 그리고 경제성장”, 『응용경제』, 19(2), 125-151.
- 김진수·허은녕(2005), “구조분해분석을 통한 국내산업별 에너지 소비 변화요인 연구”, 『자원환경경제연구』, 14(2), 257-290.
- 김재혁·조하현(2018), “에너지소비와 경제성장 간 인과관계 분석: 소파동(小波動)변환을 적용한 장단기 분석”, 『응용경제』, 20(1), 37-68.
- 김현석·장명희(2014), “Bayesian VAR를 이용한 해운경기, 환율 그리고 산업생산 간의 동태적 상관분석”, 『한국항만경제학회지』, 30(2), 77-92.
- 모수원·김창범(2003), “에너지소비와 경제성장의 동태적 인과관계”, 『자원환경경제연구』, 12(2), 327-346.
- 박기현·김진경(2013), “부문별 에너지소비와 경제성장의 인과관계 분석”, 『에너지경제연구』, 12(2), 59-83.
- 이상준(2017), 주요국의 온실가스 배출과 경제성장의 탈동조화 경향과 시사점, KERI Insight, 한국경제연구원, 17-6.
- 이영수(2019), “통화정책과 주택시장: 부호제약을 이용한 베이지안 VAR 분석”, 『주택연구』, 27(1), 113-136.
- 이윤정·이연정·윤성민(2019), “부문별 에너지소비와 경제성장: 비모수 분위수 인과관계 검정을 이용한 분석”, 『Journal of The Korean Data Analysis Society』, 21(5), 2431-2442.
- 임형우·조하현(2019), “경제성장과 탄소배출량의 탈동조화 현상 분석: 63개국 동태패널분석(1980~2014년)”, 『자원환경경제연구』, 28(4), 497-526.
- 유재원·이기성(2020), “베이지안 VAR 모형을 이용한 해외 실물 및 금융충격의 국내 파급효과 분석”, 『무역연구』, 16(2), 153-169.
- 진태영·김도원(2021), “산업부문 온실가스 탈동조화 변화요인 분석”, 『환경정책』, 29(1), 101-127.
- Hu, Y., D. Guo, M. Wang, X. Zhang, and S. Wang (2015), “The Relationship between Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from China’s Industrial Sectors”, *Energies*, 8, 9392-9406.
- Karanfil, F. (2008), “Energy Consumption and Economic Growth Revisited: Does the Size of Unrecorded Economy Matter?”, *Energy Policy*, 36(8), 3029-3035.
- Lazzati, T. and M. Orsini (2009), “Investigating the Energy-Environmental Kuznets Curve”, *Energy*, 34, 291-300.
- Litterman, R. (1986), “Forecasting with Bayesian Vector Autoregressions: Five Years of Experience”, *Journal of Business and Economic Statistics*, 4(1), 25-38.
- OECD (2002), *Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth*, Sustainable Development, SG/SD.
- Shiu, A. and P.L. Lam (2004), “Electricity Consumption and Economic Growth in China”, *Energy Policy*, 32, 47-51.
- Wu, Y., Q. Zhu, and B. Zhu (2018), “Comparisons of Decoupling Trends of Global Economic Growth and Energy Consumption between Developed and Developing Countries”, *Energy Policy*, 116, 30-38.