

NARDL 접근법을 사용한 에너지 안보와 경제성장에 대한 관계 분석

장국진, 김진식, 정명석*, 이주연**
아주대학교

An Analysis of the Relationship between Energy Security and Economic Growth Using the NARDL Approach

Kuk Jin Jang, Jin Sick Kim, Myoung Sug Chung*, Joo Yeon Lee**
AJOU University

Abstract : This study investigated the relationship between economic growth and energy security risk levels in Korea using linear and non-linear ARDL methods. While there are many studies on the relationship between energy consumption and economic growth, few studies focus on the relationship between energy security and economic growth considering 4A dimensions of energy security such as energy availability, accessibility, acceptability, and affordability. Energy risk index from Global Energy Institute and GDP data from world bank are used for ARDL and NARDL analysis. Our result of ARDL shows that there is no long-term relationship between energy security risk levels and economic growth. On the other hand, NARDL result shows that there is an asymmetric relationship between economic growth and energy security risk levels in the long run. The results show the importance of expending further research on ensuring energy security to policymakers.

Key Words : Energy Security, Economic Growth, Korean Economy, NARDL, Non-linear ARDL

Received : October 25, 2022 / **Revised** : December 12, 2022 / **Accepted** : December 15, 2022

* Myoung Sug Chung / Ajou University / mschung333@gmail.com

** Joo Yeoun Lee / Ajou University / jooyeoun325@ajou.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

에너지 안보는 광범위한 경제 및 환경 분야에서 포괄적인 용어로서 에너지 공급에 의존하는 많은 이해관계자에 매우 중요한 문제이다. 에너지 안보에 관한 학문적 연구는 1960년대 유럽의 석유 사용에 대한 공급 안보 정책[1]부터 논의되기 시작해 1970년대 1차 석유 위기 이후 본격적으로 개념을 정립하기 시작했다. 1970년대 이후 미국의 에너지 분석가들은 석유 의존도가 경제를 혼란에 노출하고 국가 안보를 위협에 빠뜨린다는 의견에 대체로 동의해 왔다[2]. 이 시기 제시된 에너지 안보에 대한 논의는 외부 위협 아래 값싼 석유의 안정적인 공급에만 국한했는데, 당시 국제에너지기구(IEA)는 에너지 안보를 합리적인 가격으로 지속 가능하게 공급할 수 있는 에너지로 정의했다. 최근에는 연료 공급 안정성과 에너지 가격 상승에 영향을 미치는 다른 요소들이 이전의 에너지 안보 정의에 추가되었다. 이러한 요소에는 정치적 갈등, 자연재해 그리고 환경 문제 등도 포함한다.

에너지 안보에 관한 많은 문헌은 아시아 태평양 에너지 연구 센터(APERC)의 에너지 안보의 필수 4A 차원인 에너지 자원의 공급의 가용성(Availability), 모든 사회적 행위자에 대한 접근성(Accessibility), 지속가능성의 관점에서 수용성(Acceptability), 에너지 자원의 가격의 경제성(Affordability)을 언급한다[3].

4A 차원은 강화되거나 확장될 수 있다. 예를 들어, 서로 다른 에너지원이 에너지 안보의 차원과 다르게 관련된다고 주장할 수 있다. 예를 들어 석유, 물리적 및 경제적 가용성이 뛰어난 측면일 수 있지만 셰일 오일 및 가스의 경우 환경 수용성이 중요한 관심사일 수 있다.

Sovacool 와 Mukherjee(2011)는 에너지 안보를 5가지 차원(가용성, 경제성, 기술 개발, 지속 가능성, 규제)으로 나누었다[4]. Alhaji(2008)는 경제, 환경, 사회, 외교 정책, 기술 및 안보의 6가지 에너지 안보 차원을 구분했다[5]. Vivoda(2010)는

환경, 기술, 수요 측면 관리, 사회문화적 또는 정치적 요인, 인간 안보, 지정학적 요소, 에너지 안보 정책 수립 등 7가지 주요 에너지 안보 차원과 44가지 에너지 안보 속성을 열거했다[6]. Cherp 와 Jewell(2014)는 7가지 차원에서 에너지 안보 지수를 구성하는 프레임워크를 제시했다. 에너지 안보 4A 차원을 포함한 에너지 안보 차원과 요소를 정의하는 연구는 표 1에 정리하였다.[7]

이처럼 에너지 안보에 대한 많은 정의의 출현이 이어진 것은 에너지 안보의 중요성이 커지고 있으며

<Table 1> Energy Security Dimensions

저자	국가	차원/요소
APERC	APEC	Availability; Accessibility; Affordability; Acceptability
Sovacool and Brown	OECD	Availability; Affordability; Energy and Economic Efficiency; Environmental Stewardship
Le and Nguyen [8]	Global	Availability; Affordability; Develop-ability; Availability; Accessibility
Yao and Chang [9]	China	Availability; Affordability; Applicability; Acceptability
EC [10]	Europe	Availability; Infrastructure; Societal Effects; Environment
Stern [11]	Europe	Availability, Infrastructure
Yergin [12]	Global	Physical security, Natural Disasters, Cyber-Threats
Alhaji	Global	Environmental, Social, Foreign Policy, Technical And Security
Vivoda	Asia-Pacific	Environment, Technology, Demand Side Management, Socio-Cultural or Political Factors, Human Security, Geopolitics,
Knox-Hayes et al. [13]	Global	Availability, Welfare, Efficiency, Affordability, Environment, Transparency, Climate

모든 국가가 현재 상황을 고려하여 저마다 에너지 안보를 해석하고 있기 때문이다. 에너지 안보에 대한 논의를 확장하기 위해서는 지금까지의 에너지 안보에 대한 사전적 정의와 프레임워크를 넘어 국가별 에너지 안보 상황을 분석하고 에너지 안보가 해당 국가에 미치는 경제적 효과에 대해 분석이 필요하다.

이를 고려해 본 연구에서는 먼저 에너지 안보 측면에서 한국의 상황을 분석한다. 이후 에너지 안보의 개념, 에너지 안보와 경제성장의 관계에 대한 문헌을 검토하며, 이후 본 연구에서 사용할 실증적 방법과 방법론을 소개한다. 마지막으로 한국의 에너지 안보와 경제성장과의 관계에 대한 실증적 적용을 통해 얻은 결과를 제시하고 이를 바탕으로 시사점을 제공한다.

한국의 에너지 안보와 경제성장과의 관계에 대한 실증을 위한 분석을 할 때 고려해야 할 점은 많은 거시경제변수가 정(+)의 충격과 부(-)의 충격의 영향을 다르게 받는다는 점이다. 본 연구는 에너지 안보 위험 지수에 의한 한국의 경제성장의 영향을 측정하기 위해 장·단기 파급영향을 하나의 추정식으로 도출할 수 있는 ARDL(autoregressive distributed lag)과 NARDL(Nonlinear Autoregressive distributed lag) 모형을 사용하였다. ARDL 모형은 대칭적 영향을 가정하나 충격이 장단기에 반영하는 형태인 반면, NARDL 모형은 ARDL 모형의 장점을 모두 가지면서 공적분 관계의 비대칭성에서 오는 설정 오류를 줄일 수 있는 모형이다. 기존의 선행연구들은 횡단면 또는 패널 데이터를 이용하여 이들 변수간의 관계를 분석한 연구가주를 이루었다. 그 외에 시계열 데이터를 이용한 Baek et al. (2009)과 Baek and Kim (2011) 등의 연구는 Johansen (1995)의 공적분 방법을 이용하여 국가별 경제성장 및 무역이 환경에 미치는 영향을 분석하였으나, 상대적으로 소표본(국가별 36~47개 데이터)을 이용하였다는 점에서 검정력의 왜곡 가능성 및 잘못된 결론의 유도 등과 같은 소표본 문제를 간과하고 있다.[14],[15],[16] 따라서 본 연구는 소표본 데이터의 사용에 따

른 문제를 극복하는 동시에 비대칭성에서 오는 설정 오류를 줄이며, 관심변수들 간의 장·단기 영향을 분석하기 위하여 NARDL 공적분 접근법을 도입하였다.

이러한 맥락에서 본 연구의 동기는 선형적 접근과 비선형적 접근 모두를 통해 경제성장과 에너지 안보의 연관 관계를 조사하여 에너지 안보의 정(+)의 충격 또는 부(-)의 충격 요소 중 어느 요소가 한국 경제성장에 더 큰 영향을 미치는지를 밝히고, 에너지 안보의 중요성을 상기하며, 정책 입안자들을 위한 에너지 안보에 대한 전망을 제시하는 것이다.

2. 선행연구

2.1 한국의 에너지 안보

한국의 고성장 시대는 사실상 1998년 금융위기를 기점으로 끝나게 되었다. 다만 이후에도 신산업은 꾸준히 성장하였고 지난 60년 동안 한국경제의 실질 GDP 성장률이 마이너스를 나타낸 것은 1980년 석유 위기, 1998년 금융 위기, 2020년 코로나 19 위기로 세 차례에 불과했다. 하지만 더욱 주목해야 하는 것은 한국 경제의 성장률이 지속해서 하락하고 있다는 점이다. 경제성장률 하락에 대한 대응책을 찾으려면 성장률 하락의 원인을 분석할 필요가 있다. 불안정한 에너지 수급은 물가와 에너지 가격을 상승시킨다. 안정적인 에너지 수급 대책을 마련할 수 있는 에너지 안보 정책이 없다면 소득 불평등을 증가시키는 결과를 낳게 된다. 소득 분배의 악화는 경제성장에 제동을 걸고 금융위기로 이어지게 된다.

한국은 에너지 대부분을 수입하기 때문에 대외적인 에너지 안보에 취약한 국가이다.[17] 2022년 에너지통계에 따르면 한국 1차 에너지 공급량 2억 9,208만 toe 가운데 수입은 2억7,097만 toe를 차지하고 있다.[18] 국내 에너지 소비의 92.8%를 수입에 의존하고 있다. 또한 석유·천연가스 등 주요 에너지·자원의 공급이 특정 지역에 편중된 점도 한국

에너지 안보의 취약점으로 작용하고 있다. 2022년 에너지밸런스 플로우에 따르면 한국은 원유 수입의 58.5%를 중동에서 수입하는 실정이다.

러시아-우크라이나 전쟁 이후의 유가 및 천연가스 가격 상승의 영향이 중요한 에너지 안보 위협을 초래한다는 것이 분명해졌다. 한국 에너지 안보의 경제성은 에너지 가격 변동과 환율 변동으로 크게 영향을 받는다. 유가 변동과 환율의 상승은 에너지 안보의 경제성 측면에서 한국경제에 부정적인 영향을 미쳤다고 주장할 수 있다. 이러한 맥락에서 재생 에너지 자원은 화석연료 자원이 부족한 국가의 에너지 안보의 가용성과 경제성 측면 모두에 큰 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다.

요약하면, 한국의 에너지 안보 위협을 증가시키는 요소 중 일부는 불충분한 자원으로 인한 에너지 수입에 대한 높은 의존도, 에너지 소비의 자원 다양성이 화석연료에 국한된다는 사실, 에너지 가격 변동 및 환율 변동 모두에서 발생하는 위협, 에너지 수입 국 다변화 문제, 그리고 총에너지 소비에서 재생에너지 소비의 낮은 비율로 인한 환경 위협이다.

2.2 문헌 검토

에너지 소비와 경제성장의 관계에 관한 연구들은 다양한 분석 결과를 제시한다. 많은 연구에서 에너지 소비와 GDP는 단위근을 가지는 불안정한 I(1) 확률변수이고, 변수들 사이에 안정적인 장기균형관계가 존재하는 것으로 나타났다.[19]

백문영 [20]의 한국의 에너지 정책과 경제성장에 대한 연구에서는 한국의 에너지소비와 경제성장의 인과관계 분석에 있어 에너지 사용량과 실질GDP에 대한 벡터오차수정모형의 결과에 의하면 추정된 회귀계수가 통계적 유의성을 갖고 있어 장기적으로 에너지소비량과 실질GDP 간에 장기적 인과성이 있다고 판단하였다.[21] 한국의 분기별 GDP와 전력소비 사이의 Granger-인과성을 조사했을 때는 양방향의 인과관계를 보였다.[22]

에너지 소비와 경제성장의 관계에 관한 연구가 다수인 반면, 에너지 소비 외에 에너지 가용성, 접근

성, 수용성, 경제성 등 에너지 안보의 4A 차원을 고려한 에너지 안보와 경제성장의 관계에 초점을 맞춘 연구는 거의 없다.

EU 26개국의 에너지 안보와 경제성장의 관계에 대한 연구에서는 1997~2011년의 panel cointegration test에서 경제성장과 천연가스 소비, 노동과 자본이 장기 균형 관계를 가졌으며 단기적 관계 분석에서는 천연가스 소비와 경제성장이 양방향성 인과관계를 나타냈다.[23]

FA Prado(1987)는 브라질 수력발전과 관련한 에너지 안보와 경제성장, 그리고 기후변화에 대한 통합 조사를 했는데, 기후변화를 고려하면서 현실적인 경제성장 예측과 일치하는 에너지 안보 기준을 수립하려면 복잡한 계산이 필요함을 고려해 의사결정에 관한 딜레마에 관해 설명한다.[24]

Stavytsk et al.(1988)의 연구에서는 유럽 국가들을 대상으로 에너지소비, 생산, 분배, 그리고 효율성을 고려한 신에너지안보지수 (new energy security index, NESI)를 개발해 GDP와 연관성을 실험해본 결과 GDP와는 양의 상관관계를 가졌으며 CPI(Consumer Price Index)와는 음의 상관관계를 가졌다.[25]

이러한 맥락에서 문헌에서 에너지 안보의 4A차원을 고려한 종합적인 지표를 사용해 경제성장과의 관계를 조사한 연구는 소수이며 대다수의 연구 역시 유럽 국가들로 제한되어 한국을 대상으로 한 연구가 필요하다고 주장할 수 있다.

3. 연구설계

3.1 데이터

본 연구는 글로벌 에너지 연구소의 에너지안보위험지수(International Energy Security Risk index, ESRI)를 독립변수로 사용했으며 월드뱅크 World Development Indicators의 1980년부터 2018년 GDP 데이터를 종속변수로 사용한다.

ESRI는 8개 카테고리 안에 29개 지표, 그리고 필수 4A 차원을 포괄하는 많은 변수가 포함되어 있다. 표 2는 에너지안보위험지수에 포함된 지표를 필수 4A 차원 별로 정리했다.

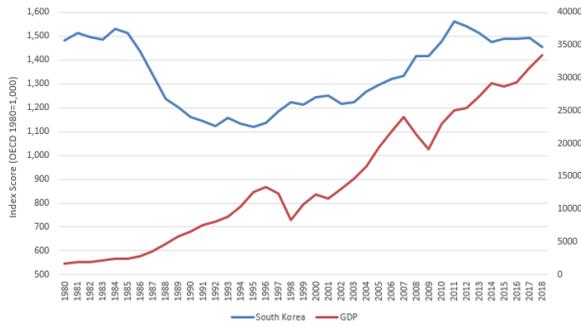
APEREC(2007)의 필수 4A차원의 분류법을 기반으로 에너지안보와 소득 불평등의 관계에 관해 연구한 Chien-Chiang et al.(2022)은 필수 4A차원을 측정할 수 있는 지표(metric)를 제시했다.[26] 이 연구에서 가용성은 세계 석유 공급 및 매장량, 1인당 총 1차 에너지 공급, 석유와 천연가스 수입 의존도를 포함하며 접근성은 수입 안정성, 무역, 지정학적 안정성 등을 고려한다. 수용성의 경우 사회적 만족도, 국가 거버넌스, 국제 거버넌스, 투명성, 투자 및 고용을 고려하며 경제성은 에너지 강도, 1인당 전기 사용량, 승용차의 평균 연비 등을 포함한다. ESRI는 필수 4A 차원에서 제시한 지표의 요건을 충족해 차원별로 분류할 수 있음을 확인했다. 또는, 이 지표는 정량화 가능한 데이터, 과거 추세 정보 및 정부 예측을 사용하며 지수의 점수는 1980년도의 OECD 평균 점수를 1,000으로 했을 때를 기준으로 한 보정 값을 사용한다.

〈Table 2〉 Index of Energy Security Risk in 4A dimensions

가용성 (Availability)	Global Fuels
	Global Oil Reserves
	Global Oil Production
	Global Gas Reserves
	Global Gas Production
	Global Coal Reserves
	Global Coal Production
	Energy Expenditures
	Energy Expenditure Intensity
	Energy Expenditures per Capita
	Retail Electricity Prices
Crude Oil Prices	
접근성 (Accessibility)	Fuel Imports
	Oil Import Exposure

	Gas Import Exposure
	Coal Import Exposure
	Total Energy Import Exposure
	Fossil Fuel Import Expenditure per GDP
	Energy Use Intensity
	Energy Consumption per Capita
	Energy Intensity
수용성 (Acceptability)	Environmental
	CO ₂ Emissions Trend
	CO ₂ per Capita
	CO ₂ GDP Intensity
	Electric Power Sector
	Electricity Diversity
경제성 (Afforability)	Non-Carbon Generation
	Price & Market Volatility
	Crude Oil Price Volatility
	Energy Expenditure Volatility
	World Oil Refinery Usage
	GDP per Capita
	Transportation Sector
Transport Energy per Capita	
Transport Energy Intensity	

그림 1은 한국의 에너지안보위험지수와 국내총생산의 시계열 추세이다. ESRI 데이터는 1980년 OECD 평균을 1,000으로 가정했을 때 한국은 1,481의 지수를 나타내고 2018년에는 1453의 지수를 나타내고 있다. GDP 데이터는 1980년 1,715 달러에서 2018년 33,436달러로 증가한 추세를 나타내며 1980년부터 2018년까지 ESRI 지수와 GDP데이터를 활용하여 두 변수의 로그값을 이용하여 단위근 검정과 공적분 검정을 실시하고 이를 기초로 ARDL 및 NARDL 모델을 이용하여 에너지안보위험지수와 GDP 간의 인과관계를 검정하고자 한다.



[Figure 1] South Korea Risk Index Scores: 1980-2018
Worldbank(2022), Global Energy Institute(2020)

3.2 방법론

장기적인 관계의 계량 분석은 경제학에서 많은 이론적이고 경험적인 연구의 초점이 되어 왔다. 장기적인 관심 관계에서 변수가 추세 정상인 경우, 일반적으로 ARDL 모형이 사용된다. ARDL 모형은 차분을 하면 정상성을 나타내는 시계열데이터 (difference-stationary)일 때 더 복잡해지며 차분을 적용한 분석모델에 대한 연구가 이어져왔다.[26]

ARDL 모형은 장단기 영향을 동시에 추정할 수 있으며 회귀변수가 $I(0)$ (안정적 변수)인지, $I(1)$ (단위근이 한 개 존재하는 변수)인지, 또는 상호 공적분되어 있는지 상관없이 다양한 수준에서 변수간의 관계를 검정할 수 있다. 또한 변수를 동시에 추정할 수 있어 안정성이 일관되지 않은 데이터를 분석할 때 유리하다. 이후 Shin et al.(2014)의 연구는 ARDL 모형의 장점에 더해 장기 균형 관계의 비대칭성에서 오는 설정 오류를 줄이는 NARDL 모형을 제시했다.[27]

에너지안보위험지수가 GDP에 미치는 영향을 분석하기 위한 이론적인 기본모형은 식 (1)과 같다.

$$\text{In}gdp_t = \beta_0 + \beta_1 \text{In}esri_t + \epsilon_t \quad (1)$$

$$\text{In}gdp_t = \beta_0 + \beta_1^+ \text{In}esri_t^+ + \beta_1^- \text{In}esri_t^- + \epsilon_t \quad (2)$$

여기에 양수와 음수 증가값을 적용해 식 (2)의

비선형모델인 NARDL을 구성했다. GDP는 국내 총생산, ESRI는 에너지안보위험지수이며 "t"는 시간, ϵ 는 오차항을 나타낸다. $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 는 장기 매개 변수이다. $\text{In}esri_t^+$ 과 $\text{In}esri_t^-$ 는 $\text{In}esri_t$ 의 양수 및 음수 변화의 부분 합이며 다음과 같이 나타낼 수도 있다.

$$\text{In}esri_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta \text{In}esri_j^+ = \sum_{j=1}^t \max(\Delta \text{In}esri_j^+, 0) \quad (3)$$

$$\text{In}esri_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta \text{In}esri_j^- = \sum_{j=1}^t \max(\Delta \text{In}esri_j^-, 0) \quad (4)$$

NARDL 모델은 Shin et al.(2014)에서 제안된 방법으로 식(2)를 재구성할 수 있고 ARDL은 아래 식(5)이다.

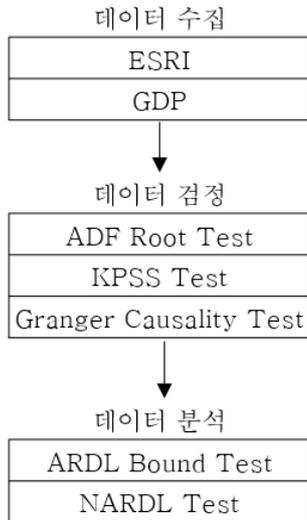
$$\begin{aligned} \Delta \text{In}gdp_t &= \beta_0 + \beta_1 \text{In}gdp_{t-1} + \beta_1^+ \text{In}esri_t^+ + \beta_1^- \text{In}esri_t^- \\ &+ \sum_{i=0}^p \delta_{1i} \Delta \text{In}gdp_{t-i} + \sum_{i=0}^q \delta_{2i}^+ \Delta \text{In}esri_{t-i}^+ \\ &+ \sum_{i=0}^r \delta_{3i}^- \Delta \text{In}esri_{t-i}^- + \epsilon_t \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)에서 p,q,r은 ARDL의 lag order이며 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 는 장기 매개 변수, $\delta_0, \delta_1, \delta_2$ 는 단기 매개 변수이다. 장기적 관계없음에 대한 귀무가설을 테스트하기 위해 두가지 유형의 테스트가 수행되었다.

ARDL 및 NARDL의 검정을 위해 먼저 ADF 단위근 검정과 KPSS 정상성 검정을 수행해서 시계열의 특징을 분석하였다. 단위근검정을 통해서 단위근 (데이터 검정에서 쓰이는 개념으로 시계열 데이터는 시간에 따라 일정한 규칙을 가짐을 가정)이 있다고 판정되면 그 자료는 비정상시계열 자료이며 그 상태로는 분석할 수 없으므로 안정적이지 않은 변수를 안정적인 변수로 바꿔준 다음 회귀분석을 해야 한다.

ARDL 및 NARDL 테스트로 변수 간 장기적인 관계를 조사하였다. 이후, 결과의 타당성에 대해 진단 테스트를 수행해 변수가 정규분포를 가지는지 검정하였다. F_PSS는 공적분이 없다는 귀무가설을

사용하며 자크베라의 정규성 검정(Jarque-Ber Normality Test)은 정규성을 검정하기 위한 가설 검정이며 발트 검정(Wald Test)은 변수 간에 장단기 비대칭 관계가 유지되는지를 진단한다. 데이터 분석 절차는 그림 2의 순서로 데이터 수집, 검정, 분석 단계를 따른다.



[Figure 2] Data Analysis Procedure

4. 분석결과

4.1 분석에 따른 결과

ARDL 및 NARDL 모형을 추정하기 위해서는 사용되는 변수들이 2차 이상의 적률(second-order integrated I(2))이 존재하지 않아야 한다. 따라서 ADF 단위근 검정과 KPSS 정상성 검정을 수행했다.

<Table 3> ADF Root test, 수준변수(Level)

Variable	Level	
	Constant (5% critical value)	Constant and trend (5% critical value)
lngdp	0.4059 (-2.964)	0.6791 (-3.548)
lnesri	0.4075 (-2.964)	0.5166 (-3.548)

<Table 4> ADF Root test, 1차 차분(First Difference)

Variable	First difference	
	Constant (5% critical value)	Constant (5% critical value)
dlngdp	-4.950* (-2.966)	-5.150* (-3.552)
dlnesri	-3.484* (-2.966)	-3.719* (-3.552)

* p-value가 5%의 통계적 유의수준을 기각

<Table 5> KPSS Test Level and 1차 차분(First Difference)

Variable	Level		First difference	
	Constant	Constant and trend	Constant	Constant and trend
lngdp	1.88	0.357	0.251*	0.0466*
lnesri	0.543	0.425	0.41*	0.142*

* level 5%: 0.146, 1st diff 5%: 0.463

<Table 6> Granger Causality Test

Null Hypothesis	Lag	F-Stat	Prob.	Decision
ESRI does not Granger Cause GDP	2	3.7	0.0358	Reject
GDP does not Granger Cause ESRI	2	2.13	0.1356	Reject

표 3 ADF 단위근 검정 결과의 수준변수(Level)에서는 귀무가설(변수에 단위근이 있다)이 기각되지 않았으나 표 4의 1차 차분에서 5% 통계적 유의수준 보다 낮은 값으로 기각되었다.

표 5 KPSS 정상성 검정에서도 귀무가설(변수는 정상시계열이다)이 1차 차분(First difference)에서 기각되었다. KPSS 정상성 검정은 정확한 p-value를 보여주지 않지만 5% 통계적 유의수준에서 0.463 보다 낮은 값으로 귀무가설을 기각한다. 표 6 그랜저 인과성 검정(Granger Causality Test)은 연간 자료인 경우 후행의 항은 1 또는 2가 된다. 적정 후행의 길이를 도출했을 때 lag 2를 적용한 그랜저 인과관계에서 ESRI가 GDP 영향을 주는 F-Stat은 3.7, p-value는 0.0358이며 GDP가

ESRI에 영향을 주는 F-Stat은 2.13, p-value는 0.1356로 양방향 그랜저 인과관계가 성립하였다. 양방향 그랜저 인과관계가 성립할 경우 제3의 외부 변수(Exogenous Variable)가 공통원인 중 하나로 작용할 수 있으며, 특히 GDP는 여러 거시경제변수에 영향을 받는 지수이기 때문에 그랜저 인과검정만으로 연관성 및 외부 변수를 모두 설명할 수는 없지만 이런 한계에도 불구하고 그랜저 인과검정이 유용한 부분은 그랜저 인과관계가 없다면 인과관계가 없다는 것이기 때문이다. 뒤에 일어난 일이 먼저 일어난 일의 원인이 될 수는 없기 때문이다.

데이터 검정 단계의 분석에 따라서 ADF 단위근 검정과 KPSS 정상성 검정 결과 두 변수가 모두 안정적 시계열 I(1)임을 확인해 ARDL 및 NARDL 방법론을 적용하였다.

표 7의 ARDL Bound Test에서는 f-value가 upper bound I(1)의 통계적 유의(10%, 5%, 1%)보다 크면 장기적 관계가 없다는 귀무가설을 기각할 수 있다. f-value가 lower bound I(0)의 통계적 유의보다 작으면 단기적 관계가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없다. 실험결과에서 f-value는 I(1) bound와 I(0) bound의 critical value보다 낮음으로 경제 성장과 에너지 안보 사이에 장단기적 선형 관계를 확인할 수 없다는 결론(inconclusive)이 나왔다.

<Table 7> ARDL Bounds Test Results

F	0.168*	
t	-0.543	
Significance	I(0)	I(1)
10%	4.04	4.78
5%	4.94	5.73
2.5%	5.77	6.68
1%	6.85	7.84

* Accept if F < critical value for I(0) regressors.
Reject if F > critical value for I(1) regressors.

한편, 표 8에서는 비선형 ARDL 방법으로 변수 간의 장기적 비선형 관계를 파악하기 위해 설계된

<Table 8> Non-linear ARDL Test Results

	Coefficient (95% CI)	p-value
lngdp, lag1	-0.4532301 (-0.8197177 to -0.0867425)	0.017
lnesri+, lag1	0.8266836 (0.0306762 to 1.622691)	0.042
lnesri-, lag1	0.8266836 (0.0306762 to 1.622691)	0.042
dlnngdp, lag1	0.2130905 (-0.1697818 to 0.5959627)	0.264
dlnngdp, lag2	NA	NA
dlnesri+	0.2058052 (-2.319947 to 2.731557)	0.869
dlnesri+, lag1	-1.597353 (-3.928245 to 0.7335385)	0.171
dlnesri-	-2.025329 (-4.720817 to 0.6701587)	0.135
dlnesri-, lag1	0.7835348 (-2.221594 to 3.788664)	0.597
Long-term effect		
lnesri+	1.824	0
lnesri-	4.261	0
dlnesri+	-1.95	0.011
dlnesri-	1.889	0.021
Model diagnostics		
Walds(SR), F-Statistics	391.4	0
Walds(LR), F-Statistics	0.003403	0.954
Jarque-Bera Normality	40.02	0
Cointegration test statistics		
t_BDM	-2.5332	NA
F_PSS	2.1889	NA
Critical values for F_PSS	k=1: 5.290, 6.170	NA
5% critical values; I(0), I(1)	k=2: 4.183, 5.303	NA

수학식 5에서 제시된 모델을 추정하였다. "+"와 "-"의 기호는 노출 변수가 각각 양의 변화와 음의

변화로 분할되었음을 나타낸다. "NA"는 적용되지 않음을 나타낸다. 모형의 각 변수에 사용된 시차 수는 "lag"으로 표시했으며 NARDL에 대한 p 및 q 모수를 선택하는 데 사용할 최적의 시차 수를 선택하기 위해 STATA에서 varsoc 명령을 적용했다. NARDL의 장기적 관계 (Long-term effect)에서 lngdp가 1% 오를 때 lnesri+는 1.824% 상승했으며 lnesri-는 4.261% 상승했다. dlnesri+는 -1.95, dlnesri-는 1.889로 dlngdp와 dlnesri가 p-value 0.05 이하에서 비대칭적 관계임을 확인할 수 있다.

F_PSS는 NARDL Bounds Test의 F-통계량을 나타내며, 공적분이 없다는 귀무가설을 사용한다. F_PSS는 2.1889로 Critical Value는 ARDL의 Narayan PK가 제안한 Bound Test에서 n=37의 표본 크기에 대한 임계치를 사용했다.[26] F_PSS 통계가 5% I(0) 임계치보다 낮으면 통합이 없다는 귀무가설이 채택되고, F_PSS 통계가 5% I(1) 임계치보다 크면 귀무가설이 기각된다. 결과에서 GDP와 ESRI에 대한 F_PSS의 결과는 통합이 없다는 귀무가설을 채택하는 5% I(0) 임계 값보다 낮다. 따라서 GDP와 ESRI은 공적분 관계로 볼 수 있음을 확인할 수 있다.

GDP와 ESRI의 비대칭적 관계를 재확인하기 위해 wald test를 수행하였을 때, 귀무가설은 비대칭적 관계가 없음을 장기적 관계에서는 1% 유의성에서 기각했으며 단기적 관계에서는 10%에서 기각하였다. 따라서 에너지안보와 경제성장은 단기적 및 장기적으로 비대칭적 관계에 있다.

5. 결론

5.1 연구요약과 시사점

본 연구는 선형 및 비선형 ARDL 방법을 사용하여 1980~2018년 한국의 경우 경제성장과 에너지안보 위험수준의 관계가 대칭인지 비대칭인지를 조사했다. 선형 ARDL의 결과는 에너지안보 위험 수

준과 경제 성장 사이에 장기적인 관계가 없음을 보여준다. 반면 비선형 ARDL 결과는 장단기적으로 경제성장과 에너지안보 위험 수준 사이에 비대칭 관계가 있음을 보여준다.

NARDL 결과에 따르면, 에너지안보 위험 수준이 1% 증가하면 경제성장률이 약 1.82% 증가하는 반면, 에너지안보 위험 수준이 1% 감소하면 경제성장률이 약 4.26% 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 토대로 한국의 에너지안보 리스크가 증가하면 이와 연계된 경제 위축이 발생한다고 주장할 수 있다. 이 결과는 지속적인 경제 발전에 있어 에너지안보가 중요하며 한국의 에너지안보에 부정적인 영향을 미치거나 영향을 미칠 가능성이 있는 4A 차원의 요소를 파악하고 이러한 위험요소를 고려한 정책 개발을 해야 한다는 점을 상기시킨다. 한국의 에너지안보 위험 요인을 평가할 때 에너지에 대한 외국의 의존도가 높고 이러한 높은 의존도는 에너지안보의 경제성과 접근성 차원에 부정적인 영향을 미친다. 따라서 의존도를 줄이는 방향을 고려할 때 화석 연료의 수입 대신 재생에너지 및 원자력과 같은 대체 에너지원의 확대를 고려해야 한다. 수입 의존도를 낮추고 재생에너지를 확대하는 방향은 4A 차원의 수용성 부분에서도 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 에너지 자원의 효율성 제고, 전기차 보급 확대 등의 친환경적 활동 또한 에너지안보 차원에서 도움을 줄 수 있다. 이 연구는 정책 입안자들에게 국가 에너지안보 관점에서 경제 발전을 바라보는 시각을 제공하며 에너지안보와 경제발전의 관계의 중요성을 상기하여 지속 가능한 발전을 위한 토대를 제공한다.

사 사

이번 연구는 과학기술정보통신부의 지원을 받아 수행되었다. 과학기술정책 전문인력 양성 및 지원사업 (N2020-0295).

References

1. Harold Lubell, "Security of supply and energy policy in Western Europe", *World Politics*, 13 (3), pp. 400-422, 1961.
2. E.W. Colglazier Jr., D.A. Deese, "Energy and security in the 1980s", *Annu. Rev. Energy*, 8 (1), pp. 415-449, 1983.
3. APERC, "Asia Pacific Energy Research Centre, A Quest for Energy Security in the 21st Century: Resources and Constraints", 2007.
4. Sovacool, Benjamin K. & Mukherjee, Ishani, "Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach," *Energy*, Elsevier, vol. 36(8), pp. 5343-5355, 2011.
5. Alhajji, A. F., "What Is Energy Security? Definitions and Concepts", *Oil, Gas & Energy Law* 6, no. 3, 2008.
6. Vivoda, V., "Evaluating Energy Security in the Asia-Pacific Region: A Novel Methodological Approach", *Energy Policy*, 38, pp. 5258-5263, 2010.
7. Cherp, Jewell, "The concept of energy security: Beyond the four As", *Energy Policy* 75, pp. 415-421, 2014.
8. Thai-Ha Le, Canh Phuc Nguyen, "Is energy security a driver for economic growth? Evidence from a global sample, *Energy Policy*", Volume 129, pp. 436-451, 2019.
9. Lixia Yao, Youngho Chang, "Energy security in China: A quantitative analysis and policy implications", *Energy Policy*, Volume 67, pp. 595-604, 2014.
10. Green EC. "Paper—Towards a European strategy for the security of energy supply. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities", European Commission, 2001.
11. Stern J., "Security of European Natural Gas Supplies: the impact of import dependence and liberization", *Sustainable development programme, The Royal Institute of International Affairs*, 2002.
12. Yergin, Daniel, "Ensuring energy security." *Foreign affairs*, 69-82, 2006.
13. Knox-Hayes, J., Brown, M. A., Sovacool, B. K., and Wang, Y., "Understanding Attitudes Toward Energy Security: Results of a Cross-National Survey", *Global Environmental Change*, 23, pp. 609-622, 2013.
14. Baek, J., Y. Cho, and W.W. Koo, "The Environmental Consequences of Globalization: A Country-Specific Time-Series Analysis", *Ecological Economics*, 68: 2255-2264, 2009.
15. Baek, J., and H.S. Kim, "Trade Liberalization, Economic Growth, Energy Consumption and the Environment: Time Series Evidence from G-20 Economies", *Journal of East Asian Economic Integration*, 15:3-32, 2011.
16. Johansen, S., "Likelihood-based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Model", Oxford University Press, 1995.
17. 에너지경제연구원, 에너지통계월보, Vol. 38-01, 2022.
18. 김지태, "에너지 수요 예측 및 에너지와 경제성장 간 관계: VECM과 ARDL 모형 비교를 중심으로", *한국응용경제학회*, vol.25 no2, pp. 87-113, 2022.
19. 에너지경제연구원, 기본연구보고서, 11-22, 2022.
20. 백문영, "한국의 경제성장과 전력수요 간의 인과성에 관한 연구: 분기별 자료를 이용하여", *응용통계연구*, 25(1), pp. 89-99, 2012.

21. Balitskiy, S., Bilan, Y., Strielkowski, W., "Energy security and economic growth in the European Union". *Journal of Security and Sustainability Issues*, 4(2), pp. 123-130, 2014.
22. FA Prado, "How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 53, pp. 1132-1136, 2016.
23. Stavitskiy, A., Kharlamova, G., Giedraitis, V., & Šumskis, V., "Estimating the interrelation between energy security and macroeconomic factors in European countries", *Journal of International Studies*, 11(3), pp. 217-238, 2018.
24. Granger, "Co-integration and error-correction: Representation, estimation and testing", *Econometrica* 55, pp. 251-276, 1987.
25. Johansen, S., "Statistical analysis of cointegration vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control* 12, pp. 231-254, 1988.
26. Lee, Chien-Chiang, Wenwu Xing, and Chi-Chuan Lee. "The impact of energy security on income inequality: The key role of economic development", *Energy* 248, 123564, 2022.
27. Shin, Yongcheol, Byungchul Yu, and Matthew Greenwood-Nimmo. "Modelling asymmetric cointegration and dynamic multipliers in a nonlinear ARDL framework." In *Festschrift in honor of Peter Schmidt*, pp. 281-314. Springer, New York, NY, 2014.