

시변 모형을 이용한 국내 구리 가격탄력성 분석

김강호* · 김진수**

요약: 본 연구에서는 국제 구리 가격 변동에 따른 국내 수요 변화를 분석하여 국내 구리(전기동)의 가격탄력성을 분석하였다. 이를 위해 구리의 순 수입량, 가격, 생산지수를 변수로 1989년 1월부터 2022년 12월까지 총 408개의 시계열 자료에 대해 벡터자기회귀(Vector autoregressive, VAR) 모형을 구성하고, 시간의 흐름에 따른 변수 간의 상관관계 변화를 파악하고자 시변 모형(Time Varying VAR)을 사용하여 변수 간의 동적 관계를 분석하였다. 분석 결과 국내 구리의 가격탄력성은 -0.1835 로 음의 가격탄력성이 존재함을 확인하였고, 사분위수 범위는 $-0.3130 \sim 0.0886$ 으로 시간의 흐름에 따라 일관성 있는 추세를 없지만 주로 음의 탄력성을 띠면서 탄력성이 변화하는 것을 확인하였다. 본 연구의 결과는 비축을 포함한 광물자원 관련 정책 수립 시 파생되는 기대효과를 정량화하여 제시하는 데 활용할 수 있다.

주제어: 구리 가격, 가격탄력성, 시변 모형, 벡터자기회귀 모형

JEL 분류: C4, E3, Q3

접수일(2024년 1월 29일), 수정일(2024년 3월 10일), 게재확정일(2024년 4월 10일)

* 한양대학교 자원환경공학과 박사과정, 한국광해광업공단 과장, 제1저자(e-mail: ho@komir.or.kr)

** 한양대학교 자원환경공학과 교수, 교신저자(e-mail: jinsookim@hanyang.ac.kr)

Analysis of the Korean Copper Price Elasticity using Time-Varying Model

Kangho Kim* and Jinsoo Kim**

ABSTRACT : In this study, we analyzed the changes in copper consumption according to copper price fluctuations and identified the domestic copper price elasticity. A total of 408 time series data from January 1989 to December 2022 were analyzed using the vector autoregressive (VAR) model with net import volume, price, and production index as variables. In addition, to identify changes in the correlation between variables over time, the dynamic relationship between variables was identified using the time-varying vector autoregressive (TV-VAR) model. As a result of the analysis, it was confirmed that the negative price elasticity for copper is -0.1835 . In addition, the interquartile range was $-0.3130 \sim 0.0886$, with no consistent trend over time, but mainly negative elasticity. This study can be used to quantify the expected impact of various policy proposals and changes related to minerals.

Keywords : Copper price, Price elasticity, Time-varying model, TV-VAR

Received: January 29, 2024. Revised: March 10, 2024. Accepted: April 10, 2024.

* Ph.D. Student, Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University, Senior Manager, Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation (KOMIR), First author (e-mail: ho@komir.or.kr)

** Professor, Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University, Corresponding author (e-mail: jinsookim@hanyang.ac.kr)

1. 서론

광물자원은 전자제품에서 건설, 운송에 이르기까지 다양한 제품과 응용 분야의 원료로 활용되기에 현대 사회에서 국가의 발전과 경제 성장에 중요한 투입 요소이다(김강호·김진수, 2023). 특히 최근 들어 탄소중립 경제 전환의 흐름에 따라 청정에너지 확대와 에너지 효율 증대에 따른 광물자원의 중요성이 더욱 주목받고 있다(IEA, 2021; IPCC, 2022). 그럼에도 불구하고, 광물의 특성상 일부를 제외하고는 지질학적으로 희귀하고, 특정 국가에 편중되어 분포되어 있으며, 무역 분쟁, 제재, 보호무역과 같은 지정학적 위협에 노출되어 있어 공급망의 불확실성 리스크를 고려하지 않을 수 없다(USGS, 2023; The White House, 2021). 이러한 리스크와 더불어 세계 경제, 기후환경, 산업구조 등 다양한 요인들에 의해 광물의 가격이 불규칙성을 가지고 움직임으로써 수요에 직간접적인 영향을 미치고 있다(Fernandez, 2018).

세계적인 시장 규모를 갖춘 재화(석유, 담배, 에너지 등)에 관하여 미래 시장의 예측력을 향상시키고, 정책 제언 등의 여러 방면에서 활용하기 위한 가격탄력성 논의들이 꾸준히 진행되고 있다(Jebran et al., 2017; Gibson and Kim, 2019; Phoumin and Kimura, 2014). 그러나 거대한 시장이 존재함에도 불구하고 가계의 직접적인 소비재가 아닌 중간재 성격을 띠는 광물의 경우 가격탄력성 연구가 상대적으로 미흡한 실정이다. 광물 시장은 일반적인 재화와 달리 통상적인 수요법칙과 다르게 작용하는 데(Tcha and Takashina, 2002), 이유 중 하나가 광물을 소비재로 사용하는 기업의 생산품은 최종재가 아닌 중간재로써 가계의 직접적인 소비에 앞서 한 번 이상의 추가 가공이 필요하기 때문이다. 따라서 수요의 증감이 단순히 가격에만 영향을 받지 않을 수 있으므로 광물의 가격탄력성을 확인하기 위해서는 적절한 변수를 사용하여 직접적인 추정을 해야 한다.

또 다른 이유로 이윤의 극대화가 목적인 기업은 광물 가격의 변동에 대한 대응책으로 원자재의 선물거래, 비축, 헤징, 가격 전가 등 다양한 전략을 선택할 수 있다. 이처럼 다양한 대응책의 존재로 광물의 수요에 대한 가격탄력성은 일반적인 경제 이론으로 해석이 어려울 수 있으며, 영향이 미미하거나 비탄력적일 수 있다는 점에서 가격탄력성 추정의 중요도가 떨어질 수 있다(Tcha and Takashina, 2002). 그럼에도 불구하고 가격탄력성이라는 지표가 직관적이며, 후방산업에 가격을 전가하더라도 결국은 최종재 가격(output

price)에 영향을 미쳐 소비자의 구매력이나 그 국가의 경제에 직간접적인 영향을 미칠 수 있기에 단순히 무시할 수 있는 지표는 아니다. 또한 일부 국가에서는 통계학적으로 의미 있는 값을 가짐으로써 거시학적으로나 국가 정책을 수립하는 데 있어 활용되기도 한다(Stuermer, 2017).

최근 주요 국가와 광물을 대상으로 가격탄력성을 연구한 Fernandez(2018)에 따르면 대륙 단위의 가격탄력성은 대부분 확인되지 않으나, 이를 국가 단위로 세분화함으로써 국가와 광물에 따라 유의미한 가격탄력성이 존재할 수 있다는 것을 확인하였다. 다만 대륙을 국가로 세분화할 때 대표하는 국가의 수를 2~4개로 한정하여 수행하였기에 많은 국가가 누락되었으며, 아시아는 중국과 일본만을 다루었다. 이외에 다른 선행연구들도 특정 시점 전후의 차이(Stuermer, 2017), 국가의 성격(Crompton, 2015), 대륙 간의 비교(Tcha and Takashina, 2002)에 초점이 맞춰져 있기에 상대적으로 경제 규모가 크면서 자료 수집이 쉬운 국가를 대상으로 연구가 진행됐으며, 그 당시 상대적으로 관심도가 떨어지는 한국을 대상으로 한 세부적인 연구는 미흡하다. 또한 자료의 통일성을 위해 한정적인 대표변수를 사용하거나 도구 변수를 사용하는 등의 한계가 존재한다(Evans and Lewis, 2005).

우리나라의 경우 한국광해광업공단(KOMIR)의 발표에 따르면 2022년을 기준으로, 산업 광물자원 7종의 소비량이 구리(6위), 니켈(5위), 아연(4위), 알루미늄(7위), 납(4위), 주석(5위), 카드뮴(2위) 등으로 최근 들어 국제적으로 주목받는 광물 소비국 중 하나이다. 그중 구리의 경우 세계적인 규모의 제련소를 보유하고 있어 구리 원광을 국내에서 생산하지 않음에도 불구하고 구리 제품의 생산량은 세계 8위이다(USGS, 2023). 이렇듯 우리나라가 다양한 광물자원을 대량으로 소비하는 수출입 중심의 산업구조로 인해 타 국가보다 광물자원의 가격과 수급 안정에 더욱 민감할 수 있다(IMF, 2012; Stuermer, 2017). 그러므로 유사한 산업구조를 가지고 있는 다른 국가의 가격탄력성 지표를 단순히 인용하기보다는 우리나라의 실정을 반영한 가격탄력성 지표를 추정하고 활용함으로써 더욱 적합하고 효율적인 대응책을 수립하는 것이 필요하다. 더욱이 우리나라는 95% 내외의 매우 높은 광물 수입의존도를 보여 장·단기별로 나누어 더욱 철저하게 준비해야 한다(산업통상자원부, 2023). 광물자원의 수요 급증과 공급 불확실성 확대에 따른 수급 위기에 국가 차원에서의 대응책을 마련하고자 하는 데, 단기 해결책인 비축과 국외 자원

개발 활성화 등의 다양한 중장기적인 대책이 언급되고 있다(대통령실, 2022; 산업통상자원부, 2023). 이러한 대응책들을 성공적으로 도출하고 실행하기 위해서는 우리나라의 상황에 부합하는 광물자원의 다양한 경제학적 기초 연구가 뒷받침되어야 한다.

광물자원의 수급 교란 위기를 단기적으로 완화하고 합리적인 가격으로 확보하기 위해 세계 각국은 자국의 상황에 맞게 전략적으로 중요한 광물을 선정하고 그에 따른 비축을 체계적이고 효율적으로 수행하고 있다(김태현·박지민, 2021). 우리나라도 수급과 가격안정에 초점을 맞춘 광물 비축 사업을 운영하고 있으나, 비축의 경제성을 확보하고 효율성을 반영하기 위해서는 국내 산업에 미치는 영향, 가격탄력성 등 광물의 특수성을 고려한 기초 연구들이 뒷받침되어야 한다. 이러한 기초 데이터를 활용하여 비축량을 증가시키는 데 발생하는 비용과 이에 따라 얻는 편익을 비교하여 순 편익을 산출하는 Disruption-Risk(DIS-Risk) 모델로 광물자원의 최적 비축량을 추정할 수 있다(Leiby and Dowman, 2000). 즉, 가격탄력성 분석과 같은 광물자원의 경제학적 기초 연구를 통해 모델의 정확성을 향상하고, 우리나라에 더욱 적합한 비축 물량을 결정하는 등의 실질적인 활용이 가능하다.

이에 본 연구에서는 광물자원 관련 정책 수립에 있어 기초자료로 사용할 수 있는 구리 가격 상승에 따른 순 수입량의 탄력성을 VAR 모형으로 추정하고, 시변계수를 반영한 TV-VAR 모형으로 시간의 흐름에 따른 탄력성 변화 여부를 확인하고자 한다. 이는 경제성을 고려한 비축 물량산출, 해외자원개발 방향성 수립 등과 같은 수급 위기 대응책 마련에 중요한 변수로 활용할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 간헐적으로 수행된 광물자원의 가격탄력성 관련 선행연구와 이를 정책에 활용한 선행연구를 살펴본다. III장에서는 분석에 사용한 계량경제 모델과 이에 사용된 분석자료를 소개한다. IV장에서는 구리의 가격탄력성에 대한 실증분석을 수행하고 그 추정 결과를 해석한다. 마지막 V장에서는 취득한 가격탄력성의 시사점을 도출하고, 본 논문의 후속 연구를 제안한다.

II. 선행연구

세계 전체와 대륙과 같이 상대적으로 큰 범위, 경제 규모가 크거나 국가 GDP 내 광업

이 차지하는 비중이 큰 특정 국가를 대상으로 한 광물자원의 가격탄력성 연구가 간헐적으로 이루어졌다. 또한 이러한 가격탄력성은 광업 활동에 따른 세금 징수 기준 변경, 에너지 전환에 따른 수요변화에 따른 기대효과 분석 등 다양한 영역의 연구에서 활용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 많지 않지만, 일부 발표된 광물자원의 가격탄력성 연구와 이러한 수치를 활용하여 특정 정책 도입의 기대효과를 분석한 선행연구를 조사하였다.

1. 광물자원에 대한 수요의 가격탄력성 선행연구

국외에서는 광물자원에 대한 가격탄력성을 확인하고자 분석 대상과 광종을 달리한 소수의 연구가 진행되어왔다. Evans and Lewis(2005)는 1969~1999년 데이터를 사용하여 7개 금속(알루미늄, 구리, 납, 주석, 아연, 니켈, 철)의 가격탄력성을 보통최소제품법으로 추정하였다. 이때 광산 용량을 광물 가격의 도구 변수로 사용하였으며, 알루미늄(-0.08), 구리(-0.12), 납(-0.13), 주석(-0.12), 아연(-0.10), 니켈(-0.10), 철(-0.13)의 가격탄력성을 추정함으로써 음의 가격탄력성이 존재하는 것을 확인하였다. 또한 이러한 지표를 활용하여 금속별 수요 곡선의 타당성을 평가하였다.

Stuermer(2017)는 1840~2010년 데이터를 사용하여 OECD 12개국에 수요가 크게 증가한 3개국(중국, 인도, 브라질)을 추가하여 15개국을 대상으로 5개 광물(알루미늄, 구리, 납, 주석, 아연)의 가격탄력성을 제조업 부문의 1인당 실질 부가가치 변수를 포함한 자기회귀시차(Autoregressive Distributed Lag, ARDL) 모형으로 추정하였다. 전체기간을 대상으로 알루미늄(-0.7), 구리(-0.4), 납(-0.2)의 가격탄력성을 추정하였고, 이를 2차 세계대전 전후로 나누어 분석함으로써 전쟁 전 구리(-0.3), 주석(-0.2), 아연(0.2), 전쟁 후 구리(-0.4), 납(-0.1), 주석(-0.2), 아연(-0.3)의 가격탄력성을 추정하여 특정 사건 전후에 따른 차이점을 비교하였다. 또한 이렇게 얻은 데이터를 활용하여 산업화가 미래의 광물자원 수요에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다.

Fernandez(2018)는 1980~2015년 데이터를 사용하여 8개 대륙(아프리카, 아시아, CIS, 유럽, 북아메리카, 남아메리카, 중동, 오세아니아)에 7개 금속(알루미늄, 구리, 납, 주석, 아연, 니켈, 철)의 가격탄력성을 Divisia-moment 접근법을 사용하여 추정하였다. 구리의 경우 모든 대륙에서 가격탄력성이 통계적으로 유의하지 않았으며, 알루미늄과 납의 경우 각각 CIS 국가와 아시아, 아시아와 중동 국가에서 경제 이론과 반대인 양의 탄

력성을 확인하였다. 이를 25개 국가로 분류하여 7개 금속의 가격탄력성을 확인한 결과, 175개의 가격탄력성 추정치 중 통계적으로 유의미한 40개의 음의 탄력성을 확인함으로써 분석 대상의 세분화 필요성을 언급하였다.

앞서 소개한 광물자원의 가격탄력성을 확인한 연구와는 반대로 상대적으로 과거의 연구에서는 상반된 결과를 확인할 수 있다. Pei and Tilton(1999)은 1963~1992년 데이터를 사용하여 고소득 국가(13개국)와 저소득국가(1~6개국)의 6개 금속(알루미늄, 구리, 납, 주석, 아연, 니켈)의 가격탄력성과 소득탄력성을 금속 가격, 대체재나 보완재의 가격, 소득(GDP)의 시차를 반영한 부분조정모형(Partial adjustment model)으로 가격탄력성을 추정하였다. 이때 시간 추세를 고려하여 시간변수의 반영에 따른 변화를 비교하였고, 가격은 수요에 일반적으로 무시할 수 있는 수준임을 확인하였다.

Tcha and Takashina(2002)는 1960~1993년 전 세계 데이터에 대한 가격탄력성과 1973~1993년 데이터를 사용하여 7개 대륙(아시아, 유럽, 북아메리카, 라틴 아메리카, 오세아니아, 아프리카, 소련)에 대한 7개 금속(알루미늄, 구리, 납, 주석, 아연, 니켈, 철)의 가격탄력성을 Divisia-moment 접근법을 사용하여 추정하였다. 모든 금속에서 통계적으로 유의한 세계의 가격탄력성은 확인할 수 없었으며, 7개 대륙의 가격탄력성 추정치 중 47개(96%)에서 통계적으로 유의한 가격탄력성이 없음을 확인함으로써 금속 가격의 상승이 소비의 감소로 이어지지 않는다는 반대의견을 제시하였다. 이로써 광물자원의 가격탄력성 지표가 중요하지 않거나, 미미할 수 있다고 주장하였다.

앞서 소개한 선행연구에 따르면 과거에는 통계적으로 유의한 가격탄력성이 확인되지 않았으나, 최근 들어 유의미한 가격탄력성이 확인되고 있다. 이는 가격탄력성이 일정한 값을 가지는 것이 아니라 특정 사건 발생 전후나 시간의 흐름에 따라 변화하는 값을 가진다는 것을 미루어 짐작할 수 있다. 또한 국가의 성격과 광물자원의 종류에 따라 상이한 결과가 얻어진 것을 미루어 보아 우리나라도 광물자원의 종류에 따라 충분히 유의미한 가격탄력성이 존재할 수 있음을 예상할 수 있다. 따라서 국가의 중요한 정책을 제언하는데 광물자원의 가격탄력성 지표를 활용하기 위해서는 우리나라에 적합한 데이터를 활용하여 정량화하는 연구가 필요하고, 나아가 시간의 흐름에 따라 어떠한 변화가 존재하는지 확인하는 작업이 필요하다.

2. 가격탄력성 지표를 정책에 활용한 선행연구

국외 연구에서는 광물의 가격탄력성을 활용하여 정책 변화에 따른 기대효과 분석 등에 활용한 연구가 간헐적으로 존재한다. Mardones(2022)는 구리 채굴에 대한 로열티를 Pigouvian 세금으로 대체할 때 칠레 경제에 미치는 영향을 연산가능일반균형모형을 활용하여 분석하였다. 이때 경제주체의 행동 기능을 보정하기 위해 다양한 선행연구들에서 추정된 가격탄력성을 사용하였고, 그중 구리 수요의 가격탄력성은 앞서 언급한 Stuermer(2017)와 Fernandez(2018)의 결과를 활용하여 민감도 분석을 수행하였다. 이러한 분석을 통해 Pigouvian 세금을 적용할 때 칠레의 GDP 감소를 유발할 수 있으며, 실질환율을 높일 수 있다는 것을 제시하였다. 또한 간접적인 혜택으로 비구리 부문의 수출 경쟁력 향상, 에너지 소비 및 온실가스 배출 감소 등을 유발한다는 결론을 계량적으로 추정하는 데 있어 가격탄력성을 활용하였다.

Islam et al.(2022)은 1990~2020년 데이터를 횡단면 ARDL을 활용하여 재생에너지로의 에너지 전환에 따른 광물자원의 수요변화를 분석하였다. 전반적으로 재생에너지의 생산이 구리와 니켈 광물의 수요를 촉진하는 것을 밝히는 데 있어 자체적으로 추정된 가격탄력성을 활용하였다. 최종적으로 재생에너지 생산 시 광물자원의 활용도를 강조하며, 광물자원의 재활용을 통해 성공적인 탄소중립 달성과 함께 순환 경제 목표를 달성할 수 있다고 주장하고 있다.

반면 국내연구에서는 직접적으로 광물자원의 가격탄력성을 활용한 공개된 연구를 확인할 수 없었다. 그러나 광물자원의 가격탄력성 연구의 중요성을 언급하거나, 가격탄력성 데이터가 확보되면 이를 활용하여 수행할 수 있는 연구의 영역을 간접적으로 예상할 수 있는 선행연구가 다음과 같이 존재한다. 김형건(2012)은 석유제품 관련 경제주체들의 행위에 대한 예측 시 활용되는 기초자료를 마련하고자 모수함수회귀모형(functional-coefficient regression model)을 사용하여 국내 석유제품 수요의 가격탄력성 변화를 연구하였다. 기존 연구와 달리 고정된 가격탄력성이 아닌 다양한 상황의 변화에 대한 가격탄력성 변화를 추정함으로써 석유제품 수요의 분석에 대한 정확성을 제고하였다. 이처럼 추정된 가격탄력성 결과를 활용하여 독립적인 정책 시행 필요성과 세금 수준의 조정 필요성, 비가격적인 요소를 활용하는 정책을 제언하였다.

문영석(2014)은 석유비축의 효율화를 통해 석유 안보 강화 방안을 연구하였고, 석유 비축의 적정규모를 산정하는 데 있어 가격탄력성을 사용하였다. 이때, 적정 비축 규모를 산정 시 공급 교란의 확률적 추정, 비용과 편익을 계산하여 사용하는 DIS-Risk 모델을 사용하여 최적 물량을 계량적으로 산출하여 제시하였다. 이때 편익을 계산하는 데 있어 석유 수요의 가격탄력성을 사용하였으며, 기존 선행연구들의 가격탄력성 상한(-0.1250)과 하한(-0.2176) 데이터 사이의 균일분포를 따르는 확률변수로 가정하였다. 이를 통해 편익의 기댓값을 추정하고, 비축 규모 확대에 따른 순 편익의 변화를 파악하여 최대 순 편익을 갖는 적정 비축 규모를 산출하였다. 이를 통해 국내에 적합한 광물자원의 가격탄력성 지표가 존재한다면 더욱 효율적인 광물의 비축 물량을 제시할 수 있음을 예상할 수 있다.

한국은행(2022)에서 비철금속을 포함한 원자재 수입 물가 상승에 따른 산업별 가격 전가 분석을 SVAR(Structural Vector Autoregressive)모형과 flexible local projection 모형을 사용하여 수행하였다. 이를 통해 원자재 가격의 비대칭성·비선형성을 확인함과 동시에 원자재 투입구조, 수요의 가격탄력성 등에 따라 산업별 수입 물가 상승의 가격 전가 정도가 다름을 제시하였고, 물가안정 정책 및 경제전망을 수행하는 데 있어 원자재 수요 가격탄력성의 중요성을 언급하였다.

앞서 소개한 유사 분야의 국내 연구들에 따르면 국내 상황을 고려한 광물자원에 대한 가격탄력성 지표와 같은 기초 연구를 통해 광물자원 관련 특정 정책을 제안하거나 수정할 시 파생되는 기대효과를 정량화하여 제시하는 데 활용될 수 있을 것이다.

III. 연구방법 및 자료

1. 분석 방법론

1) 벡터자기회귀(Vector Autoregressive, VAR) 모형

본 연구에서는 여러 개의 내생변수 시계열 자료를 동태적 상황에서의 상호작용을 고려할 수 있는 VAR 모형을 사용하여 분석을 수행하였다. 이 모형은 설명변수에 종속변수의 과거 값과 설명변수의 현재 값 및 과거 값을 동시에 포함하는 다변량 모형으로 2개

이상 내생변수의 상호 간의 관계를 고려할 수 있는 모형¹⁾이다. 본 연구에서 사용한 국내의 구리 가격탄력성 분석을 위한 모델은 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} \ln(IMP_t) \\ \ln(PRI_t) \\ \ln(PRO_t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \beta_0 \\ \gamma_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sum_{p=1}^n \alpha_{1p} \ln(IMP_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \alpha_{2p} \ln(PRI_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \alpha_{3p} \ln(PRO_{t-p}) \\ \sum_{p=1}^n \beta_{1p} \ln(IMP_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \beta_{2p} \ln(PRI_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \beta_{3p} \ln(PRO_{t-p}) \\ \sum_{p=1}^n \gamma_{1p} \ln(IMP_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \gamma_{2p} \ln(PRI_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \gamma_{3p} \ln(PRO_{t-p}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 ln은 자연로그, IMP는 순 수입량, PRI는 가격, PRO는 생산지수를 의미한다. 환율, 재고량, 대체재, 보완재 등과 같이 다양한 내·외생변수를 통제변수로 활용할 수 있으나 시간의 흐름에 따른 가격탄력성 변화를 추가로 확인하고자 상대적으로 영향이 미미한 변수를 제외하고 핵심 변수만 사용하여 모델을 구성하였다. 이로써 변수 증가에 따른 데이터 개수가 기하급수적으로 늘어나는 문제와 변수별 적정 시차 선정과 같은 시변모형의 한계에서 일부 자유로울 수 있다.

2) 시변 벡터자기회귀(Time Varying Vector Autoregressive, TV-VAR) 모형

TV-VAR 모형은 앞서 사용한 VAR 모형에서 회귀계수가 시간의 흐름에 따라 변하는 값을 가질 수 있도록 추가로 가정하는 동적 모형이다(Primiceri, 2005). 이는 시간에 따라 변하는 변수 간의 관계를 고려하여 계수를 추정함으로써 기존 VAR 모형과 달리 고정되어 있는 하나의 값이 아닌 시점에 따른 계수를 추정할 수 있다는 장점이 존재한다. 또한 이를 시각화하고, 잔차항의 변화를 추적함으로써 모델의 변화를 감지할 수 있다. 이는 식 (2)에 나타내었으며, 각 변수 간의 관계가 고정된 단순 VAR 모형인 식 (1)과는 달리 모든 계수가 시간에 따라 변동될 수 있는 특징이 존재한다. 단, 각 시점의 계수가 통계적으로 유의한지 여부를 파악하기는 어려우므로 추정한 중앙값과 사분위수를 참고용으로 활용하고자 한다.

1) 본 연구에서 분석한 국제 구리 가격과 국내 변수 사이의 내생성에 대한 쟁점이 있을 수 있다. 그러나 앞서 설명한 대로 한국은 세계적인 구리 소비국가이자 구리 제품 생산국이며, 그동안 국제 저널에 발표된 구리 가격 분석 논문들의 VAR 사용 사례 등을 고려했을 때 이번 연구에서 구리 수요를 종속변수로 하는 ARDL 모형보다 VAR를 사용하는 것이 더 적절하다고 판단하였다.

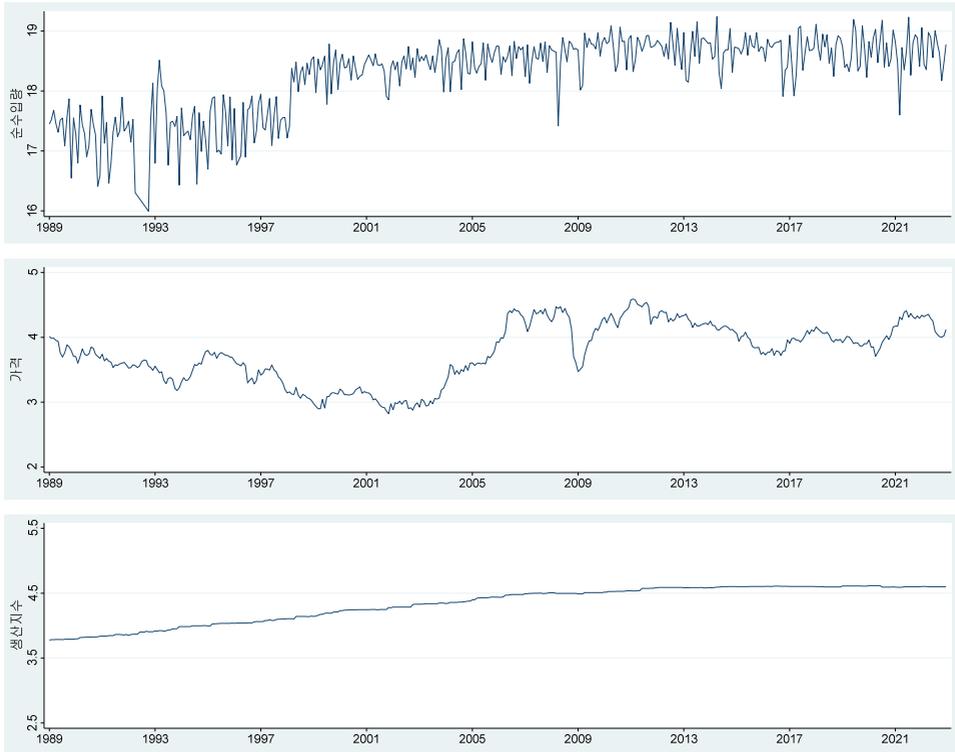
$$\begin{pmatrix} \ln(IMP_t) \\ \ln(PRI_t) \\ \ln(PRO_t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_t \\ \beta_t \\ \gamma_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sum_{p=1}^n \alpha_{1p,t} \ln(IMP_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \alpha_{2p,t} \ln(PRI_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \alpha_{3p,t} \ln(PRO_{t-p}) \\ \sum_{p=1}^n \beta_{1p,t} \ln(IMP_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \beta_{2p,t} \ln(PRI_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \beta_{3p,t} \ln(PRO_{t-p}) \\ \sum_{p=1}^n \gamma_{1p,t} \ln(IMP_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \gamma_{2p,t} \ln(PRI_{t-p}) + \sum_{p=1}^n \gamma_{3p,t} \ln(PRO_{t-p}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서 \ln 은 자연로그, IMP 는 순 수입량, PRI 는 가격, PRO 는 생산지수를 의미하며, 모든 계수가 시간에 따라 변동할 수 있어 변수 간의 동적 관계를 확인할 수 있다.

2. 분석자료

본 연구에 사용한 변수들의 데이터는 구리 광물의 국내 순 수입량 데이터 취득 한계를 고려하여 1989년 1월부터 2022년 12월까지(408개월) 총 408개의 시계열 자료를 사용하였다. 변수들의 탄력성을 확인하고자 모델에 사용한 모든 데이터에 자연로그를 취하였다. 종속변수인 국내 구리 광물의 순 수입량은 HSK(260300)로 분류되는 ‘구리광과 그 정광’의 수입량과 수출량의 차로 계산하였으며, 이는 한국무역협회(Korea International Trade Association, KITA)에서 제공하는 데이터를 사용하였다. 독립변수인 국제 구리 가격은 COMEX(Commodity Exchange) 가격(USD/lb)을 USD/ton으로 변환하여 사용하였으며, 이는 Macrotrends에서 취득하였다. 또한 COMEX 가격의 경우 실질가격으로 변환하고자 미국 생산자물가지수를 디플레이터로 사용하였고, 이는 한국은행 경제통계 시스템(Economic statistics system, ECOS)에서 취득하였다. 또한 통상적으로 가격탄력성을 분석하는 데 활용되는 생산지수는 통계청에서 제공하며, 구리와 연계된 물량 지수인 1차 금속 제조업의 생산지수를 통제변수인 내생변수로 사용하였으며, ECOS 자료를 활용하였다. 구리 광물의 순 수입량, 구리 가격, 1차 금속 제조업의 생산지수가 같은 시점에서 서로 상관관계를 가지고 있다고 예상하고 가정하였으며, 다음 <그림 1>에서는 사용한 내생변수들의 시계열 그래프를 나타냈다.

〈그림 1〉 시계열 그래프_순 수입량(상), 가격(중), 생산지수(하)



IV. 분석결과 및 고찰

1. 분석 결과

1) 단위근(Unit-root) 검정

연구에 사용할 데이터의 가성 회귀 문제를 피하고자 외생적으로 시간의 영향을 받는 지에 대한 검정을 수행하였다. 본 연구에서는 단위근 검정으로 Augmented Dickey-Fuller (ADF) test, Phillips-Perron(PP) test를 수행하였다. 변수들의 단위근 검정 결과는 <표 1>에 표시되어 있으며, 1% 유의수준에서 구리 광물의 수입량과 생산지수는 수준 변수 정상 시계열 $I(0)$ 에 해당하였고, 구리 가격변수는 1차 차분 정상 시계열 $I(1)$ 에 해당하였다.

〈표 1〉 단위근 검정 결과

변 수	수준변수		1차 차분변수	
	ADF 검정	PP 검정	ADF 검정	PP 검정
순 수입량	-8.073***	-7.825***	-32.870***	-50.018***
가격	-1.562	-1.765	-19.024***	-19.125***
생산지수	-3.627***	-3.988***	-21.518***	-21.484***

주: *는 10% 유의수준, **는 5% 유의수준, ***는 1% 유의수준하에서 귀무가설 기각을 의미

2) VAR 모형의 최적 시차 선정

최적 모델 선정에 있어 적정 차수를 선정하기 위해 차수 p 는 4기까지 고려하여 VAR(p) 모형을 추정하였고, AIC(Akaike Information Criterion), HQIC(Hannan-Quinn Information Criterion), SBIC(Schwarz-Bayesian Information Criterion)의 통계량을 이용하여 최대 차수인 $p(1)$ 를 <표 2>와 같이 선정하였다. AIC의 경우 p 를 과대추정(overestimate)할 가능성이 있다는 단점을 고려하여 HQIC와 SBIC 결과로 최종 선택하였다(Lutkepohl, 2005).

〈표 2〉 내생변수 최대 시차 선정 추정결과

시 차	AIC	HQIC	SBIC
0	1.8066	1.8187	1.8371
1	-9.0334	-8.9850*	-8.9114*
2	-9.0410	-8.9563	-8.8274
3	-9.0445*	-8.9236	-8.7394
4	-9.0173	-8.8601	-8.6207

3) VAR 모형 추정

최적 시차 선정을 통해 얻은 최적모형의 VAR(1) 분석을 수행하였다. 다음 <표 3>은 각각의 내생변수에 대한 분석 결과를 보여준다. 구리 광물의 순 수입량의 경우 자기 자신과 구리 가격, 생산지수의 과거 값에 통계적으로 유의미한 수치를 확인하였으며, 구리 가격은 자기 자신과 순 수입량, 생산지수의 과거 값에 통계적으로 유의미한 수치를 확인하였다. 반면 생산지수는 순 수입량을 제외한 자기 자신과 구리 가격의 과거 값에 통계적으로 유의미한 수치를 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 전체기간의 국내 구리 수요

의 가격탄력성은 -0.1835임을 알 수 있다. 또한 구리 가격과 생산지수의 경우 순 수입량과는 달리 경우 AR(1) 모델을 강하게 따르는 경향을 보인다.

〈표 3〉 VAR(1)모델의 추정 결과

변 수	순 수입량	가격	생산지수
L.순 수입량	0.1337***	-0.0169*	0.0004
	(0.0492)	(0.0103)	(0.0009)
L.가격	-0.1835***	0.9722***	-0.0015*
	(0.0462)	(0.0097)	(0.0008)
L.생산지수	1.7873***	0.0716***	0.9968***
	(0.1270)	(0.0265)	(0.0023)
Constant	8.7786***	0.1041	0.0150
	(0.5690)	(0.1188)	(0.0101)
R-squared	0.6898	0.9753	0.9995

주: 괄호 안은 표준오차를 의미, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$, L은 1기 시차를 의미

4) TV-VAR 모형 추정

구리 광물의 순 수입량, 구리 가격, 생산지수의 TV-VAR 모델의 계수 추정 결과를 <표 4~6>에 각각 나타내었다. <표 4>는 구리 광물의 순 수입량의 계수 추정 결과를 나타내는데, 여기서 가격탄력성을 의미하는 계수는 평균 -0.1126, 1사분위수(lower quartile)와 3사분위수(upper quartile) 사이의 사분위수 범위는 -0.3130~0.0886임을 확인하였다. 자기 자신과 생산지수 계수의 평균은 각각 0.0245, 2.3402, 사분위수 범위는 각각 -0.0170~0.0803, 0.7754~2.3189 임을 확인하였다.

〈표 4〉 순 수입량 변수 TV-VAR 모델의 추정 결과

변 수	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max
L.순 수입량	-0.1310	-0.0170	0.0211	0.0245	0.0803	0.1306
L.가격	-0.7475	-0.3130	-0.0222	-0.1126	0.0886	0.3041
L.생산지수	-0.1676	0.7754	1.3623	2.3402	2.3189	12.4523
Constant	-38.6722	8.5423	12.9143	7.7914	14.2994	18.7307
Bandwidth	0.2436					
R-squared	0.7318					

<그림 2>는 <표 4>에서 추정한 계수가 시간의 흐름에 따라 어떻게 변화하는지를 나타내었다. 일관성 있는 추세가 없지만 시간의 흐름에 따라 값이 달라짐으로써, 분석 기간이 충분히 길지 않을 시 왜곡될 수 있음을 예상할 수 있다. 반대로 특정 시점에서의 가격탄력성을 추정하기 위해서는 적절한 기간을 산정하여 분석하는 것이 필요하다.

<그림 2> 순 수입량 TV-VAR 모델의 계수 변화_순 수입량(상), 가격(중), 생산지수(하)



<표 5>는 구리 가격의 계수 추정 결과를 나타내는데, 모든 계수의 1, 3사분위수와 평균값, 중앙값의 차이가 거의 존재하지 않음을 확인하였다. 이는 구리 가격 계수를 추정하는 데 있어 시간에 따른 변수 간의 관계에 큰 변동성이 없다는 것을 의미한다.

〈표 5〉 가격변수 TV-VAR 모델의 추정 결과

변 수	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max
L.순 수입량	-0.0158	-0.0158	-0.0158	-0.0158	-0.0158	-0.0158
L.가격	0.9723	0.9723	0.9723	0.9723	0.9723	0.9723
L.생산지수	0.0701	0.0701	0.0701	0.0701	0.0701	0.0701
Constant	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0900
Bandwidth	20					
R-squared	0.9753					

〈표 6〉은 생산지수의 계수 추정 결과를 나타내는데, 가격과 자기 자신과의 계수의 평균은 각각 -0.0016, 0.9872, 사분위수 범위는 각각 -0.0022~0.0012, 0.9826~0.9980임을 확인하였다.

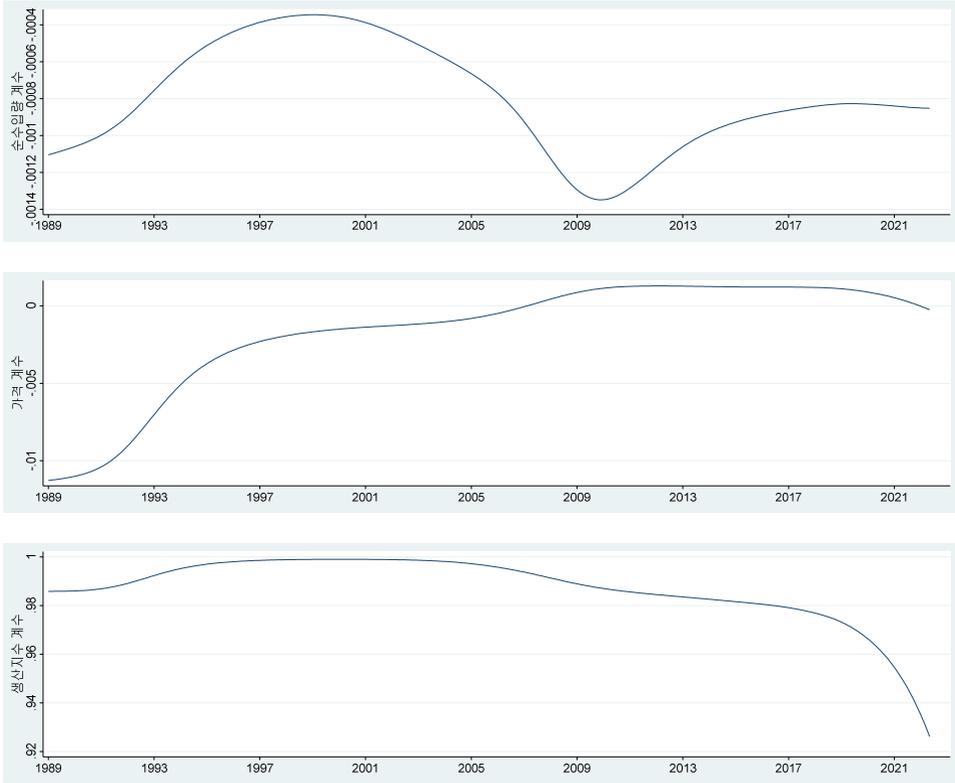
〈표 6〉 생산지수 변수 TV-VAR 모델의 추정 결과

변 수	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max
L.순 수입량	-0.0013	-0.0010	-0.0008	-0.0008	-0.0005	-0.0003
L.가격	-0.0113	-0.0022	-0.0006	-0.0016	0.0012	0.0013
L.생산지수	0.9262	0.9826	0.9894	0.9872	0.9980	0.9990
Constant	0.0188	0.0277	0.0769	0.0792	0.1039	0.3567
Bandwidth	0.4616					
R-squared	0.9995					

〈그림 3〉은 〈표 6〉에서 추정한 계수를 시간의 흐름에 따라 어떻게 변화하는지를 나타내었다. 일관성 있는 추세가 없지만, 시간의 흐름에 따라 계수의 변화가 존재하므로 세부적인 정보를 파악하기 위해서는 적절한 기간을 산정하여 분석하는 것이 필요하다.

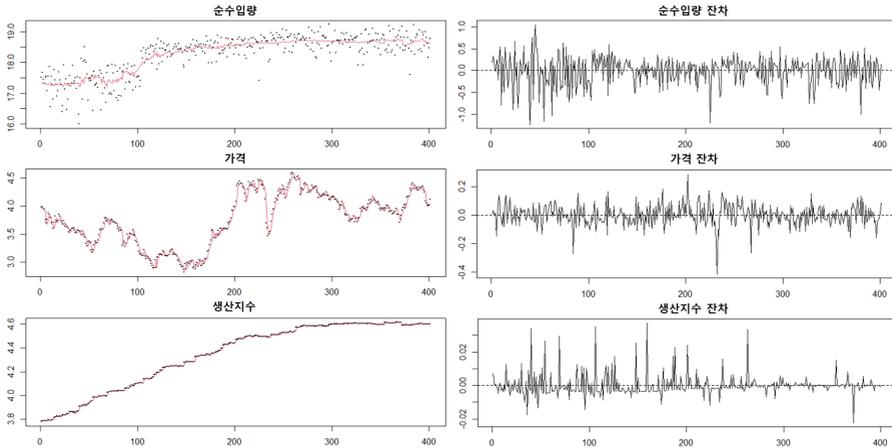
〈그림 4〉는 TV-VAR 분석에 따른 변수의 계수와 잔차의 다이어그램을 표현하였다. 우리 가격과 생산지수의 경우 순 수입량과 달리 시간의 흐름에 따라 계수의 변화가 크지 않음을 시각적으로 알 수 있다. 또한 순 수입량 변수 TV-VAR 모델의 잔차 다이어그램에 따르면 1997년 전후로 변동성 변화가 확인된다. 이는 IMF 외환위기 발생 시점인 1997년 이전은 순 수입량의 변동성이 큰 시장이었으나, 발생 이후 변동성이 작아졌음을

〈그림 3〉 생산지수 TV-VAR 모델의 계수 변화_순 수입량(상), 가격(중), 생산지수(하)



알 수 있다. Stuermer(2017)가 주장한 특정 시점 전후로 변동성의 변화가 발생할 수 있다는 연구 결과와 마찬가지로 본 연구에서도 1997년 전후의 변동성 변화가 확인되었다. 이는 외환위기 발생 이전에는 경제가 급격히 팽창하는 확장기로서 경기 동행성(pro-cyclicality)을 띠면서 변동성이 크게 나타났으나, 외환위기 이후 환율과 수급의 불확실성에 대처하기 위해 기업이 자체적으로 대응함으로써 변동성이 감소했음을 예상할 수 있다. 또는 1997년 외환위기를 계기로 시장 평균 환율제도에서 자유 변동 환율제도로 전환함으로써 광물의 수입에 있어 통화의 가격 변수인 환율이 자동으로 조절되기에 변동성이 감소했음을 예상할 수 있다.

〈그림 4〉 TV-VAR 다이어그램_수입량(상), 가격(중), 생산지수(하)



5) 그랜저 인과관계(Granger-causality) 검정

내생변수 간의 인과관계를 판단하고자 그랜저 인과관계 검정을 수행하였다. 구리 가격과 생산지수는 구리 광물의 순 수입량을 그랜저 인과(Granger-cause)하는 것을 확인하였다. 즉, 구리의 순 수입량을 설명하는 데 있어 구리 가격과 생산지수의 과거 값은 중요한 변수임을 알 수 있다. 또한 순 수입량과 생산지수가 구리 가격을 그랜저 인과하고, 구리 가격은 생산지수를 그랜저 인과하는 것을 알 수 있다. 반면 구리의 순 수입량은 생산지수를 그랜저 인과하지 않는 것을 확인하였다. 이는 <표 7>에 나타내었다.

〈표 7〉 그랜저 인과관계 검정 결과

변 수	인과 변수	Chi ²	Prob > Chi ²
순 수입량	가격	15.765	0.000
	생산지수	198.18	0.000
	모두	210.52	0.000
가격	순 수입량	2.7226	0.099
	생산지수	7.2906	0.007
	모두	8.005	0.018
생산지수	순 수입량	0.1683	0.682
	가격	3.3525	0.067
	모두	4.0476	0.132

2. 고찰

국가의 발전과 경제 성장에 있어 광물자원은 매우 중요한 투입 요소이며, 최근 국제사회에서는 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 이를 해결하기 위해 전 세계적으로 탄소 중립을 달성하기 위한 공통 목표를 제시하며 광물자원의 중요성을 더욱 강조하고 있다. 이에 따라 광물자원 관련 효과적이고 효율적인 정책 제언과 국가의 광물자원 중장기 정책 방향성 제시를 위해 다양한 기초 연구가 필요하며, 그중 하나가 가격탄력성 추정이다. 이를 위해 다양한 산업에 널리 사용되는 구리의 가격탄력성을 VAR 모형으로 추정하였다. 더불어 이러한 지표가 시간의 흐름에 따라 변수 간의 상관관계에 변화가 존재하는지를 파악하고자 TV-VAR 모형을 활용하였다.

분석 결과, 전체기간의 국제 구리 가격 상승에 따른 국내 구리 광물 순 수입량 변동성은 -0.1835 로써 음의 가격탄력성이 존재하는 것을 확인하였다. 나아가 시변모형을 통한 분석 결과 가격탄력성 계수가 일관성 있는 추세가 없지만 시간의 흐름에 따른 변화가 확인되며, 평균 -0.1126 , 사분위수 사이에 존재하는 값은 $-0.3130 \sim 0.0886$ 으로 주로 음의 탄력성을 나타내는 것을 관찰하였다. 이는 선행연구에서 언급한 구리의 가격탄력성 ($-0.4 \sim -0.12$) 범위와 유사하며(Evans and Lewis, 2005; Stuermer, 2017), 가격 상승 시 소비량이 감소한다는 일반적인 경제 이론과도 일맥상통하는 결과이다. 다만 시변모형에서 확인한 바와 같이 시간의 흐름에 따라 가격탄력성이 변할 수 있으므로 분석 기간이 충분하지 않을 시 결과가 왜곡될 수 있음을 고려해야 한다. 다만, 본 연구에서 사용한 시변모형은 구조변화를 모형 내에서 고려하거나 추정할 때 시기 계수의 통계적 유의성 확인은 어려운 모형이다. 따라서 특정 시점에서의 가격탄력성이 필요하거나 특정 사건을 기점으로 분석을 수행하기 위해서는 시계열의 구조변화를 확인한 뒤에 적합한 시점과 기간을 먼저 결정하고 변수 사이의 관계와 탄력성을 분석할 필요가 있다.

가격탄력성 이외에 다른 변수의 계수들에 대한 시변모형을 확인한 결과 대부분의 계수가 일관성 있는 추세가 없지만 시간의 흐름에 따라 변화하는 것을 확인하였다. 반면에 구리 가격을 추정하는 모형에서의 설명변수와 종속변수 과거 값 계수는 시점에 상관없이 일정한 값을 나타냄으로써 변수 간에 안정적 관계가 있음을 확인하였다.

그랜저 인과관계 검정 결과 구리 가격과 생산지수는 구리 광물의 순 수입량을 그랜저 인과하였다. 이는 구리의 순 수입량을 설명하는 데 있어 구리 가격과 생산지수의 시차 변

수가 매우 높은 설명력을 가짐으로써 충분한 시간적 인과관계가 있음을 의미한다. 마찬가지로 구리 광물의 순 수입량과 생산지수가 구리 가격을 그랜저 인과함으로써 국제 구리 가격을 설명하는 데 있어 국내 구리 광물의 순 수입량과 생산지수의 시차 변수가 충분한 시간적 인과관계가 있음을 확인하였다. 이외에도 생산지수를 종속변수로 둬으로써 설명변수의 시차 변수가 어떠한 영향을 미치는지를 확인하였으며, 구리의 순 수입량이 생산지수를 그랜저 인과하지 않는 것을 제외하고는 모두 인과관계가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 <표 3>에 나타낸 VAR모형의 추정결과와도 부합한다. 특히, 국제 구리 가격이 국내 구리 광물의 순 수입량과 생산지수에 영향을 받는 것을 확인하였다는 의미가 있다. 이는 2022년 기준으로 우리나라의 전기동 소비량이 세계 6위이며, 구리 원광을 전혀 생산하지 않음에도 불구하고 전기동 생산량이 세계 8위를 차지할 정도로 많은 양의 구리를 소비하고 있기 때문으로 판단된다.

반면에 구리의 순 수입량이 생산지수를 그랜저 인과하지 못하는 이유는 가격의 변동 등에 따라 순 수입량이 유의미하게 변동함에도 불구하고, 기업은 자체 재고 물량 활용 등과 같은 대응책을 통해 순 수입량의 변화에 따른 생산의 변화를 최소화하는 방식으로 변동성에 대응할 수 있기 때문이다. 이는 공장의 가동률을 일정하게 유지하는 것이 장기적으로 기업의 이윤을 극대화하는 방식일 수 있기에, 단기 이익을 위해 가격 변화에 따라 순 수입량이 달라짐에도 불구하고 재고를 완충 역할로 활용하면서 생산물량은 일정하게 유지하는 기업의 전략으로 이러한 결과가 얻어지는 것으로 예상된다. 혹은, 후방산업에 속하는 구리광물 가공 기업의 경우 뒷단의 재화나 최종재를 생산하는 발주처의 요청에 따라 가동률을 비자발적으로 일정 수준 이상 유지해야 하는 내부 사정 때문일 수 있다.

현재 우리나라는 경제성을 고려한 전략적인 광물자원 비축의 필요성을 인지하고 있으나, 광종의 다양성, 필요 산업군의 차이 등과 같은 광물의 특수성으로 발생하는 다양한 한계로 세부적인 수행에 어려움을 겪고 있다. 이를 해결하기 위해서는 국내 산업에 미치는 영향, 가격탄력성 등 광물의 특수성을 고려한 경제학적 기초 연구들이 선행되어야 한다. 현재 국내 광물자원의 최적 비축량을 결정하기 위한 물량산출 방법은 자료의 한계와 기초 연구의 부족으로 인해 다양한 가정에 의존하고 있으며, 그로 인해 실제 경제적 측면을 고려한 동적 광물자원 비축에는 적합하지 않을 수 있다. 나아가 현 상황에서는 효율적인 비축관리체계를 구축하고 운영하기 위한 지침 마련은 더욱 어렵다. 따라서 본 연

구에서 추정한 구리의 국내 가격탄력성은 광물자원에 대한 기초 연구로서 중요한 의의가 있다.

V. 결론

본 연구에서 광물자원과 관련된 정책 제언과 수정 시 파생되는 기대효과를 정량화하는 데 활용하고자 우리나라의 구리 가격탄력성을 추정하였다. 국외 선행연구에서 추정된 다른 국가의 구리 가격탄력성과 유사하며, 우리나라에서도 구리에 대한 유의미한 음의 가격탄력성이 존재하는 것을 확인하였다. 나아가 시변모형을 통해 가격탄력성 계수가 일관성 있는 추세가 없지만 시간의 흐름에 따라 값이 변화하는 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 추정한 우리나라의 구리 가격탄력성은 국내 구리 비축 물량산출, 구리 제품 수출입 관세 조정 등 향후 광물의 안보와 경제정책 수립의 기초자료로 활용할 수 있다. 이러한 기초자료 확보를 통해 광물자원 관련 안보·경제정책 도입 및 수정에 따라 파생되는 기대효과를 정량화함으로써 비용의 효율화, 의사결정 지원, 예측을 통한 전략 수립, 위험 관리, 정책의 투명성 제고, 정책의 평가와 개선 등 다양한 이점을 얻을 수 있다고 판단된다.

향후 후속 연구로는 기초자료 분석과 시변모형 분석 결과에서 유추할 수 있듯이 구리 가격과 수입량, 생산지수 사이에 구조변화가 존재할 수 있으므로, 구조변화 시점을 식별하고 해당 시점 전후의 차이를 비교분석하는 연구가 의미 있을 것으로 판단된다. 아울러 본 연구에서 추정한 국내 구리 가격탄력성을 활용하여 미국의 국가 안보 관련 연구를 수행하는 오크리지 국립연구소(Oak Ridge National Laboratory)나 에너지경제연구원에서 석유의 비축 규모를 계량적으로 추정하여 산정하는 데 활용한 DIS-Risk 모델을 광물 자원에 맞게 발전시켜 사용함으로써 우리나라에 적합한 구리의 동적 비축 물량을 산출해 볼 수 있을 것이다. 이러한 후속 연구가 이루어지면 현실적인 광물자원 안보 및 비축 관련 정책의 기초자료를 마련할 수 있다.

[References]

- 김강호·김진수, “국제 광물가격 변화가 KOSPI 시가총액에 미치는 영향 분석”, 『한국자원공학회』, 제60권 제2호, 2023, pp. 88~98.
- 김태현·박지민, “주요국 핵심광물 확보 전략 분석”, 에너지경제연구원, 2021.
- 김형건, “국내 수송용 석유제품 수요의 가격탄력성 변화 연구”, 에너지경제연구원, 2012.
- 대통령실, “120대 국정과제”, 대한민국정부, 2022. 7.
- 문영석, “석유안보 강화 방안 연구: 석유비축의 효율화”, 에너지경제연구원, 2014.
- 산업통상자원부, “첨단산업 글로벌 강국 도약을 위한 핵심광물 확보전략”, 산업통상자원부, 2023. 2.
- 한국은행, “수입 물가 상승의 산업별 가격전가 분석”, 조사통계월보, 2022. 8.
- Crompton, P., “Explaining variation in steel consumption in the OECD,” *Resources Policy*, Vol. 45, 2015, pp. 239~246.
- Evans, M., and A. C. Lewis, “Dynamic metals demand model,” *Resources Policy*, Vol. 30, No. 1, 2005, pp. 55~69.
- Fernandez, V., “Price and income elasticity of demand for mineral commodities,” *Resources Policy*, Vol. 59, 2018, pp. 160~183.
- Gibson, J., and B. Kim, “The price elasticity of quantity, and of quality, for tobacco products,” *Health Economics*, Vol. 28, No. 4, 2019, pp. 587~593.
- IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, Paris, France, International Energy Agency, 2021. 5.
- Islam, M. M., K. Sohag, S. Hammoudeh, O. Mariev, and N. Samargandi, “Minerals import demands and clean energy transitions: A disaggregated analysis,” *Energy Economics*, Vol. 113, 2022, 106205.
- IMF, *World Economic Outlook: Growth Resuming, Dangers Remain*, Washington, USA, International Monetary Fund, 2012. 4.
- IPCC, *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*, IPCC Sixth Assessment Report, Geneva, Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022.
- Jebran, K., Abdullah, M. M. Elhabbaq, and A. Ali, “Income and price elasticities of crude oil demand in Pakistan,” *Global Business Review*, Vol. 18, No. 6, 2017, pp. 1373~1383.

- Leiby, P., and D. Bowman, "The value of expanded SPR drawdown capability," *Oak Ridge national laboratory*, USA, 2000.
- Lutkepohl, H., *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany, 2005.
- Mardones, C., "Pigouvian taxes to internalize environmental damages from Chilean mining – A computable general equilibrium analysis," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 362, 2022, 132359.
- Pei, F., and J. E. Tilton, "Consumer preferences, technological change, and the short-run income elasticity of metal demand," *Resources Policy*, Vol. 25, No. 2, 1999, pp. 87~109.
- Phoumin, H., and S. Kimura, "Analysis on price elasticity of energy demand in East Asia: Empirical evidence and policy implications for ASEAN and East Asia," *ERLA discussion paper series*, Vol. 5, 2014, pp. 1~26.
- Primiceri, G. E., "Time varying structural vector autoregressions and monetary policy," *The Review of Economic Studies*, Vol. 72, No. 3, 2005, pp. 821~852.
- Stuermer, M., "Industrialization and the demand for mineral commodities," *Journal of International Money and Finance*, Vol. 76, 2017, pp. 16~27.
- Tcha, M. J., and G. Takashina, "Is world metal consumption in disarray?" *Resources Policy*, Vol. 28, No. 1-2, 2002, pp. 61~74.
- The White House, *100 day Supply Chain Review Report*, Washington, USA, 2021.
- USGS, *Mineral Commodity Summaries 2023*, U.S. Geological Survey, Virginia, USA, 2023.