

마운틴볼스 팀
기획주제 분야

<중국 네오디뮴 가격 변동과 지정학적 리스크 간의 동적 관계: 시계열 기반 공급망 회복력 평가>

팀원: 이현지(산업경영공학부)
권성현(산업경영공학부)
김시연(산업경영공학부)
양진모(산업경영공학부)
이시현(산업경영공학부)
최진규(산업경영공학부)

지도교수/자문위원: 백정열 자문위원님(SK C&C)

서명: 백 정 열  (인)

2024. 01. 09. (목)

고려대학교 교수학습지원팀

2024학년도 제16회 Creative Challenger Program

최종보고서

| | | |
|---------|---|---------------------------------------------------------|
| 기획주제 | V | 기업명 : <u>SK C&C</u> |
| 자유주제 | | 인문사회(), 자연과학(), 정보·통신·공학(), 문화예술체육() |
| 팀명 | | 마운틴볼스 |
| 연구분야 | | 2. [E] 천연자원 - 공급망RISK 해소를 위한 원자재 관리 방안 |
| 세부 연구주제 | | 중국 네오디뮴 가격 변동과 지정학적 리스크 간의 동적 관계 : 시계열 기반 공급망 회복력 평가 |

[요약_Abstract]

이 연구는 중국 네오디뮴 가격 변동과 지정학적 리스크 간의 동적 관계를 시계열 분석을 통해 평가하여 공급망 회복탄력성을 제시하고자 한다. 제시한 결과는 공급망 관리의 단기적, 중장기적 전략 수립에 핵심적인 바탕이 될 것이다.

데이터는 네오디뮴 월별 평균 증가와 지정학적 리스크 지수로 구성되었으며, 데이터 전처리 과정에서 차분 및 정상성 검증(ADF Test)을 통해 안정성을 확보하였다.

VAR 모델을 활용하여 변수 간 상호작용을 모델링하였으며, 충격반응분석(IRF)을 통해 특정 변수에 외부 충격이 발생했을 때 다른 변수들이 시간에 따라 어떻게 반응하는지를 시각화하였다. 지정학적 리스크 지수가 증가할 때 네오디뮴 가격 변동에 미치는 영향을 분석하고, 그 영향이 지속되는 시간과 강도를 파악하였다. 또한, 예측오차 분산분해(FEVD)를 통해 네오디뮴 가격 변동의 주요 요인을 정량적으로 평가하였으며, 지정학적 리스크가 이 변동성에 미치는 비중을 수치화하였다.

충격반응분석 결과, GPRC_CHN에 외부 충격이 발생했을 때 네오디뮴 가격은 초기 단계에서 강한 반응을 보이며, 약 1~2개월 동안 그 영향이 지속된 후 점진적으로 안정화되는 패턴을 보였다. 이는 지정학적 리스크가 네오디뮴 시장에 미치는 단기적이고 실질적인 영향을 나타내며, 충격이 전파되는 시간 지연 효과를 고려해야 함을 시사한다. 반대로, 네오디뮴 가격 자체의 충격은 초기에는 급격히 반응하지만 시간이 지남에 따라 내부 안정화 메커니즘에 의해 점차 완화되는 양상을 보였다. 이러한 결과는 시장 충격에 대한 단기적 대응과 중장기적 안정화 전략의 중요성을 강조한다.

분산분해 결과, 네오디뮴 가격 변동의 약 80%가 지정학적 리스크(GPRC_CHN)에 의해 설명되었다. 이외 20%에 해당하는 외생적 위험 요인을 추가적으로 탐색해야 함을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 추가적인 예측 모델 비교를 통해 최적의 접근 방안을 탐구할 계획이다.

I. 서론

A. 연구의 필요성

코로나19와 러시아-우크라이나 전쟁 등의 글로벌 이슈로 인해 공급망 리스크가 증가하면서 기존의 최적화 중심 접근만으로는 한계가 드러나고 있다. 특히, 중국의 희토류 수출 통제는 글로벌 공급망이 지정학적 리스크, 국제 정세, 경제적 불안정성과 같은 외부 요인에 얼마나 취약한지를 보여주는 사례이다. 이는 공급망 ESG 리스크에 해당하며, 기업이 ESG 평가를 준수하기 위해 분쟁 지역과 고위험 지역으로부터의 수급을 최소화하는 노력이 요구된다. 본 연구는 통계적 기법과 수리적 최적화 모델을 활용해 공급망 리스크를 분석하고, ESG 경영을 기반으로 안정적이고 효율적인 공급망 구축 방안을 제시하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 기업의 지속 가능성과 장기 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

B. 연구목적

본 연구의 목적은 중국 네오디뮴 가격 변화와 공급망 위험도 간의 시계열적 관계를 분석하여 한-중 관계에서의 위험도와 회복탄력성 간의 관계를 규명하는 것이다. 기존의 수입 다변화 전략은 주로 장기적 계획에 초점이 맞추어져 있어 단기적 대응 전략 수립에는 한계가 있었다. 이에 따라 단기 및 중장기 대응 전략을 도출하기 위해 충격반응분석(IRF)을 활용해 시간에 따른 변수 간 반응 속도와 패턴을 분석하고자 한다. 궁극적으로, 연구 결과는 공급망 리스크 완화 및 ESG 경영 강화에 기여하는 실질적인 전략을 제안하는 데 활용될 것이다.

C. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

글로벌 공급망 압력 상승의 경제적 효과 - 인플레이션과 경제성장률의 반응(2023)에서는 벡터 자기 회귀 (VAR) 모형을 사용하였다. 다변량 시계열 데이터 분석 기법인 이 방법은, 변수 간의 상호 영향을 동적으로 분석할 수 있다. 총 네 개의 내생 변수 (전년 동기 대비 글로벌 공급망 압력지수 (GSCPI) 변화, 전년 동기 대비 경제 성장률 변화, 기준 금리(R)의 전년 동기 대비 변화, 전년 동기 대비 한국의 물가 변화)와 하나의 외생변수(국제 유가 전년 동기 대비 변화)로 구성된 식으로 구성되어 있다. 충격 반응 분석과 예측 오차 분해 과정을 통해 글로벌 공급망 압력 상승이 단기적으로 물가 상승에 강한 영향을 미치며, 경제 성장률에는 일정 시간 지연 후 부정적 영향을 미치는 것으로 분석하였다. 본 연구에서는 하나의 모델이 모든 나라의 상황을 일반화할 수 없다는 한계를 발견하여, 중국의 희토류 시장에 특화하여 모델을 수립하고자 한다.

II . 본론

A . 연구도구와 절차

데이터로 사용된 지정학적 리스크 지수(GPRC_CHN)는 지정학적 갈등 기사 빈도를 기반으로 산출된 데이터로, 미국과 영국 주요 언론 기사를 바탕으로 지정학적 불확실성을 정량화한 지수다. 네오디뮴 가격 데이터는 중국 중심의 월별 평균 증가로, Trading Economics에서 제공된 자료를 사용하며 주요 생산국의 시장 보고서와 실시간 거래 정보를 포함한다.

연구과정에 사용된 VAR 모델은 변수 간 상호작용과 시계열 관계를 분석하며, IRF는 외생적 충격이 변수에 미치는 영향을 시간의 함수로 표현하고, FEVD는 특정 변수의 변동성이 다른 변수들에 의해 얼마나 설명되는지 평가한다.

우선 Granger 인과 검정을 통해 변수 간 인과 관계를 확인하고, 단위근 검정을 통해 데이터의 정상성을 평가한다. 정상적 시계열로 판정된 경우 VAR 모델을 추정하며, 충격 반응 함수(IRF)를 활용하여 변수 간 시간 지연 효과와 상호 의존성을 분석하고, 그 이후 예측 오차 분산 분해(FEVD)를 시행하여 변수 간 기여도를 정량적으로 평가하며 연구를 마무리 한다.

B . 자료분석 방법

1. 측정 도구

(1) 주요 변수 정의

- **Average_Close** : 네오디뮴의 월별 거래 평균의 증가 가격을 나타낸다. 시장 가격 변동성을 측정하기 위한 지표를 설정하기 위해 자료를 찾던 중 월별 거래 시가와 증가 중 증가를 사용하여 나타내기로 결정하였다.

- **GRPC_CHN** : 중국 관련 사건 빈도를 기반으로 계산된 지정학적 리스크 지수이다. 다양한 국가 중 한국의 네오디뮴 수급에 가장 많은 비중을 차지하고 있는 중국을 중심으로 분석하였다.

(2) 데이터 출처 및 수집 방법

- **데이터 출처** : 네오디뮴 가격 데이터의 경우에는 'Trading Economics'에서 제공되는 데이터를 구입하여 사용하였다. GPR 데이터의 경우에는 'Geopolitical Risk Index' 데이터를 사용하였으며 필요한 내용인 GRPC_CHN 중국의 GPR 데이터만 뽑아왔다. 두 자료를 함께 비교 분석하기 위하여 네오디뮴 가격 데이터의 경우에는 일자별 증가 데이터로 제공되어 지리적 위험도 데이터와 함께 사용하기 위해 평균을 내어 변형해주었다. 또한, GPR 데이터의 일부 (2013년 1월-2024년 11월)을 가져와 데이터의 일관성을 부여하였다.

(3) 분석 도구

- 분석을 위해 Python을 활용하였으며 데이터 전처리 및 시각화를 위하여 pandas, matplotlib, seaborn 등의 주요 패키지를 사용하였으며 시계열 분석의 경우에는 statsmodels 패키지를 활용하였다.

2. 진행 과정 및 진행 과정 중 발생한 문제에 대한 해결

(1) 데이터 수집 및 전처리

- **데이터 수집** : 앞서 '1. 측정 도구'에 기술한 변수들을 뽑아오기 위하여 알맞은 데이터 형태를 제공하고 있는 기관을 찾아 데이터를 구매하였다.

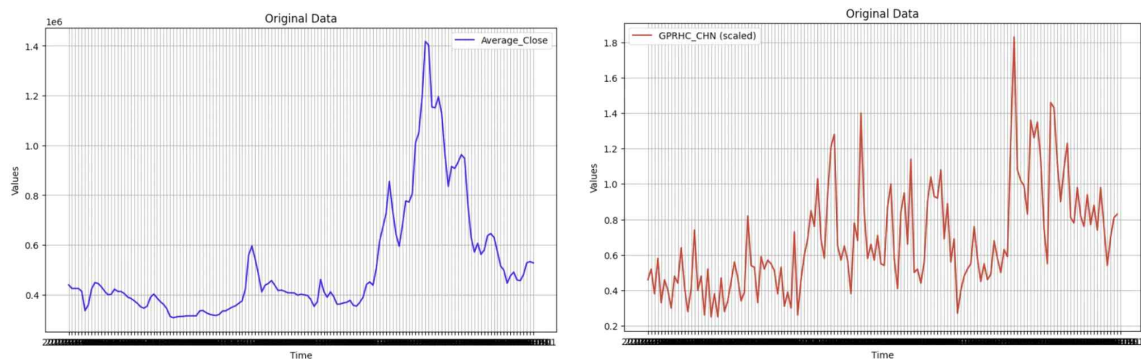
- 데이터 전처리

- **데이터 통합** : 두 데이터를 월 기준으로 2013년 1월 부터 2024년 11월 까지의

'Average_Close', 'GPRC_CHN' 항을 가지도록 병합하였다.

| | A | B | C |
|---|------------|---------------|-----------|
| 1 | Month | Average_Close | GPRHC_CHN |
| 2 | 2013-01-01 | 439347.8261 | 0.46 |
| 3 | 2013-02-01 | 425000 | 0.52 |
| 4 | 2013-03-01 | 425000 | 0.38 |
| 5 | 2013-04-01 | 425000 | 0.58 |
| 6 | 2013-05-01 | 413260.8696 | 0.33 |
| 7 | 2013-06-01 | 335750 | 0.46 |
| 8 | 2013-07-01 | 359565.2174 | 0.4 |

- **원본 데이터 시각화** : 수집한 'Average_Close' 와 'GPRC_CHN' 를 시간에 따른 크기로 시각화하였다.



시각화 한 데이터가 안정된 평균과 분산을 보이지 않아 정상성 확보 과정을 진행하기로 결정하였다. 더불어 추가적인 오류를 방지하기 위해 변수 간 상관관계를 확인하는 'Granger 검정'과 비시계열 분석의 경우에 변수 간 상관관계를 탐지하는 '공적분 검정'을 실시하였다.

- 변수간의 상관관계에 대한 검정

선정한 두 변수 간의 상관관계를 파악하여 이로 인한 오류 발생을 미리 예측하기 위해 시계열 변수 간의 인과 관계를 평가하기 위한 Granger 검정과 장기적인 균형 관계를 확인하기 위한 공적분 검정을 진행하였다.

먼저 Granger 검정의 경우에는 네오디움 가격이 지정학적 리스크 지수에 영향을 미치는지 혹은 그 반대의 관계가 있는지 존재하는지 파악하기 위해 사용하였다. 이는 단기적인 의존성을 평가하는데 초점을 맞춘다.

이에 대한 파이썬 코드를 실행한 결과 1.0 및 0.0의 값으로 나타났고, 이는 변수는 자기 회귀적 특성이 강하다는 의미로써, 자기 자신의 과거 값만으로 예측 가능하며, 두 변수 간에는 인과 관계가 존재하지 않는 것으로 해석가능 하다. 즉, 네오디움 가격은 지정학적 리스크 지수의 과거 값에 의존하지 않으며 반대 관계의 의존성 또한 존재하지 않는다.

공적분 검정의 경우 두 변수의 변동이 시간이 지나도 일정한 패턴을 유지하는지를 평가하며 장기적인 전략을 세우는데 정보를 제공한다.파이썬 코드를 실행한 결과, significant_yn 항목이 True이므로 두 변수 사이의 공적분 관계가 존재한다는 것을 확인 가능하다. 장기적

인 정책 및 전략 수립 과정에 있어 두 변수의 관계를 고려해야 함을 시사한다.

- **정상성 확보** : 수집한 데이터를 바탕으로 시계열 데이터를 분석하기 위해 데이터를 안정된 평균과 분산을 중심으로 분포하는 변환 과정인 정상성 확보를 진행하고자 하였다.

데이터를 로그 변환하여 비대칭적인 분포를 줄이고 대규모 변동성을 완화시켜 시계열 분석에서 데이터의 선형성을 높이고자 하였다. 이후, ADF (단위근 검정)을 통해 네오디움 가격과 지정학적 리스크 지수 데이터의 정상성을 확인하였으나, 1차 차분 처리 이후에도 정상성을 만족하지 못해 2차 차분을 진행하였다. 이를 통해 데이터의 평균과 분산이 시간에 따라 일정하게 유지되도록 변환하였다.

(2) 모델 구축

- **데이터 분리** : 앞선 과정을 통해 정상화가 확보된 2차 차분된

데이터(Diff2_Log_Average_Close, Diff2_Log_GPRC_GHN)를 활용하여 모델을 구축하기 앞서 제작한 모델이 맞는지 검증하기 위한 Test data와 모델을 학습시키기 위한 Train 데이터를 구분하는 과정을 거쳤다.

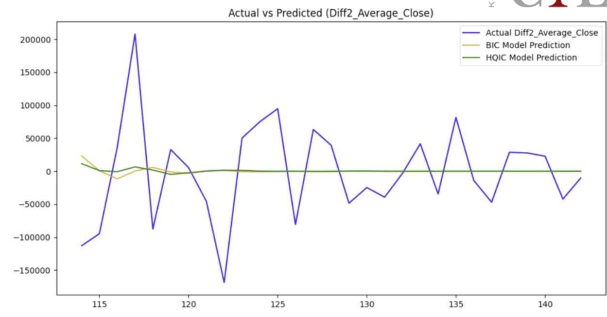
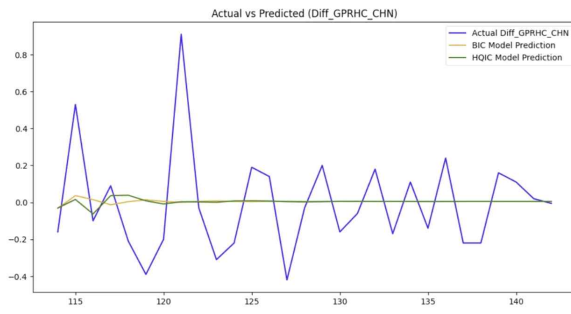
분석하려는 모델이 시계열 데이터이기 때문에 시간성을 유지하기 위해 데이터를 무작위로 분리하는 것이 아닌, 전체 데이터 중 가장 최근 시점에 있는 20% 가량의 데이터를 Test data로 분리하고 나머지는 Train data로 활용하였다.

- **VAR 모델 실행** : VAR(Vector Autoregression) 모델은 다변량 시계열 데이터를 분석하기 위한 도구로 과거 변수의 값을 활용해 다른 변수와 현재 값을 예측하는 모델이다. 이러한 특성을 이용하여 네오디움 가격과 지정학적 리스크 지수 간의 상호 의존성과 동적 관계를 분석하고자 하였다.

- **시계열 모델 선택** : 시계열 데이터를 분석하기 위한 모델은 여러 종류가 존재하나 수집한 Average_Close, GPRC_CHN 데이터의 특성을 잘 나타낼 수 있는 모델을 선택하고자 여러 자료를 찾아보았고, 그 결과 VAR 분석이 가장 적합하다고 생각되어 이를 선택하였다.

- **최적 시차 Lag 선택** : 변수 간의 상호작용을 반영하는데 중요한 역할을 하는 Lag를 고르기 위해 AIC(Akaike Information Criterion)를 기준으로 1~15 사이의 시차를 탐색하였으며 AIC 값이 가장 낮은 시차를 최적 시차로 설정하기로 하였다. 관련하여 파이썬 코드를 실행한 결과 AIC 값이 Lag=10에서 18.81로 가장 낮게 나타나 시차를 10 으로 결정하였다. 뿐만 아니라 모델을 더 정확히 만들기 위하여 AIC 뿐만 아니라 BIC(Bayesian Information Criterion)와 HQIC(Hannan-Quinn Information Criterion)를 기준으로도 최적 시차를 설정하였다. 그 결과 BIC 기준으로는 2, HQIC 기준으로는 4가 최적 시차로 설정되었다. 이를 통해 전체적으로 분석해보았을 때, 아래와 같이 정리 가능하며 가장 정확정이 높다고 판단되는 AIC 모델이 적합해 보인다.

- **VAR 모델 학습** : 최적 시차를 바탕으로 VAR 모델을 훈련 데이터에 학습시켰다. 각 변수의 과거 값이 다른 변수와 자신의 현재 값을 얼마나 잘 설명하는지 p-value를 통해 확인하였다. 또한, 실제 값과 예측 값 변화를 시각화시켜 나타내었다.



III . 연구결과

A . 연구문제에 대한 답

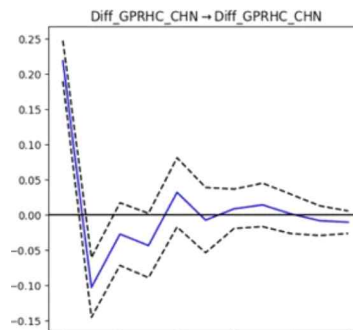
1. 충격반응분석 시행 결과

앞서 시행한 VAR 결과를 바탕으로 충격반응분석을 진행하였다. 월별 네오디뮴의 평균 증가 변수와 GPR 지수 간의 시간에 따른 관계를 시각적으로 확인하기 위함이다.

이때, 파란색 실선을 기준으로 하여 위, 아래로 형성된 점선은 해당 시점에서의 신뢰구간의 경계를 형성한다. 만일, 그 시점에서의 신뢰구간이 0을 포함한다면, 유의하지 않다고 판단할 수 있고, 0을 포함하지 않는 시점이 유의한 시간 영역이라고 볼 수 있다. (단, 타임라인은 1~10이다.)

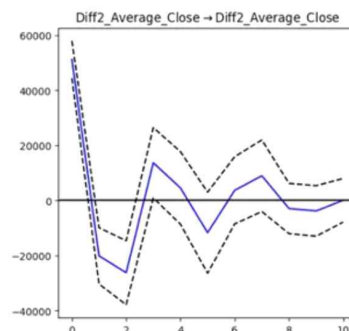
(1) 1차 차분한 GPR 데이터가 자기 자신에 미치는 영향

- 초기 반응이 크고, 시간이 지나면서 효과가 점차 소멸하는 경향을 보인다.
- 유의미한 시점: 초기 1~3 기간(t) 동안 신뢰구간이 0을 포함하지 않는다.



(2) 2차 차분한 평균 증가 데이터가 자기 자신에 미치는 영향

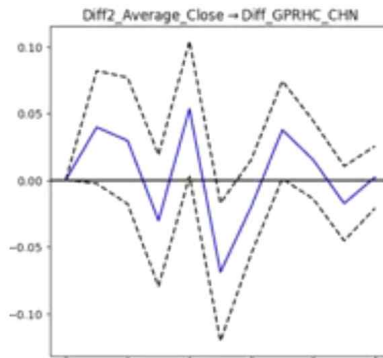
- 초기 충격이 크게 작용하며 시간이 지나면서 점차 감소한다.
- 유의미한 시점: 초기 2~3 기간 동안 강한 양의 효과가 나타나며 신뢰구간 내에서 유의미하다.



(3) 2차 차분한 평균 증가 데이터가 1차 차분한 GPR 데이터에 미치는 영향

- Diff_GPRHC_CHN

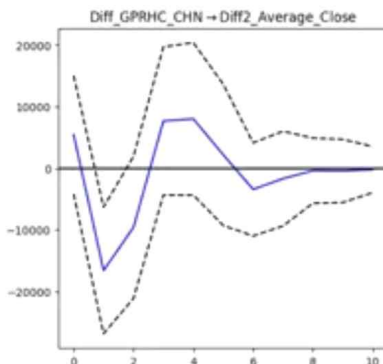
Diff2_Average_Close가 Diff_GPRHC_CHN에 미치는 영향은 매우 약하거나 불규칙하며, 신뢰구간이 0을 포함하는 경우가 많다. 따라서, Diff2_Average_Close는 Diff_GPRHC_CHN에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않는다고 해석할 수 있다.



(4) 1차 차분한 GPR 데이터가 2차 차분한 평균 증가 데이터에 미치는 영향

Diff_GPRHC_CHN이 Diff2_Average_Close에 미치는 충격은 단기적으로 음의 영향을 미치다가, 시간이 지나면서 양의 방향으로 전환된다.

이는 Diff_GPRHC_CHN의 변화가 단기적으로는 부정적(하락), 장기적으로는 긍정적(상승) 영향을 미친다는 것을 보여준다.



결론적으로 본 연구에서 파악하고자 했던, 유의미한 그래프는 "1차 차분한 GPR 데이터가 2차 차분한 평균 증가 데이터에 미치는 영향"(4번 그래프)이다. 반면, "2차 차분한 평균 증가 데이터가 1차 차분한 GPR 데이터에 미치는 영향"(3번 그래프)에서는 유의미한 충격이라 판단할 구간이 매우 적기 때문에, GPR 지수가 독립변수로서 월별 네오디움의 평균 증가에 영향을 미치는 것이며, 그 역은 성립하지 않음을 알 수 있다.

이때, 모든 시점에서 유의미한 충격이 발생하는 것이 아니라, 유의수준이 0을 포함하지 않는 초기 시점에 주목해보아야 한다. 즉, 단기적으로는 GPR 지수가 하락할 때, 네오디움의 평균 증가가 상승한다는 것을 알 수 있으며, 장기적으로는 효과가 사라진다.

이를 누적 분포 함수를 통해 추가적으로 검증해 본 결과는 다음과 같다.

- 단기적 해석 ($0 \leq t \leq 2$)

- 초기 반응($t=0$):
- 충격 직후 누적 반응은 빠르게 음의 방향으로 강한 영향을 미친다.
- 파란 선이 음수로 내려가며, 신뢰구간이 0을 포함하지 않아 유의미한 초기 부정적 반응을 확인할 수 있다.

- $t=1 \sim 3$:

- 충격 직후의 음의 반응이 더 강해져 y축에서 약 -20,000 부근까지 하락한다.
- 유의미한 구간: 이 시기에도 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로, 충격이 통계적으로 유의미한 부정적 영향을 미친다.

- 장기적 해석 ($t > 3$)

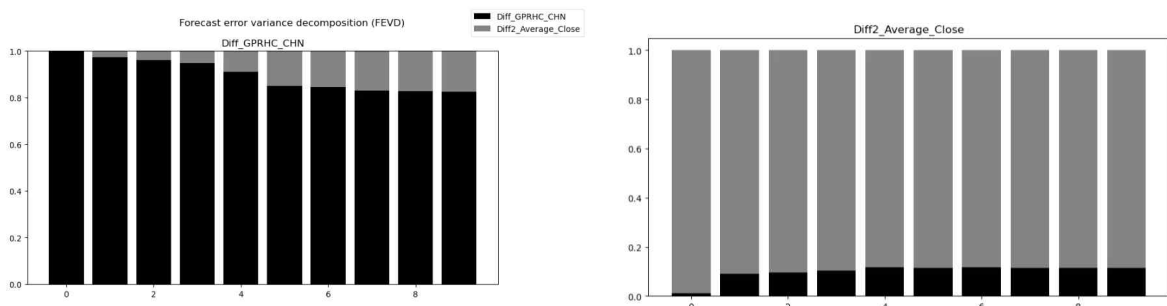
- $t=4 \sim 6$:
- 신뢰 구간이 넓어지면서 0을 포함하며, 불확실성이 증가해, 이 시점에서 충격이 더 이상 유의미하지 않다고 해석할 수 있다.

2. 예측오차 분산분해 분석 결과

마지막으로, 충격 반응 함수가 그래프로 보여준 변수 간의 관계를 바탕으로, 이 관계를 정량적으로 분석할 수 있는 예측오차 분산 분해 과정을 실시하였다. 이 과정은 변수들의 설명력을 검증하는 실험으로써, 이를 통해 변수 간의 상호작용과 영향력을 시간에 따라 파악할 수 있고, 상대적 기여도를 수치화 할 수 있다.

충격반응분석과 분산 분해 과정은 상호 보완적인 관계로, 충격반응 함수에서 강한 반응을 보였으나, 분산분해에서 설명력이 낮다는 결과가 도출되었다면, 다른 변수들이 함께 중요한 역할을 하고 있음을 시사한다고 판단할 수 있다.

우리의 실험에서는 Diff_GPRHC_CHN의 변동성은 초기에는 100% 자기 자신의 충격에 의해 설명되지만, 시간이 지남에 따라 네오디움 가격 변화의 기여도가 점진적으로 증가하여 9단계에서는 약 17.53%로 나타났다. 반면, Diff2_Average_Close는 대부분 자기 자신의 변동으로 설명되며, 지정학적 리스크 지수의 기여도는 약 11.44%로 장기적으로도 큰 변화가 없었다. 이는 지정학적 리스크 지수가 네오디움 가격에 미치는 영향이 제한적이지만, 네오디움 가격 변동이 장기적으로 지정학적 리스크에 일부 영향을 줄 가능성이 있음을 시사한다.



IV . 결론

A . 연구결과 요약

VAR 분석을 시행한 결과를 고려하였을 때, GPR의 변화에 따른 투자는 장기적인 시점보다는 단기적인 시점에 주안점을 두고 이루어지는 것이 바람직할 것이다. 또한, GPR 종합지수에 반영되지 않은 다른 지표들과 국제적 상황을 종합적으로 고려하여 희토류 확보의 안정성을 제고하는 것이 핵심이 될 것이다.

B . 연구의 제한점

- 본 연구는 다음과 같은 한계를 가지고 있다.

1. 데이터의 제약

본 연구는 중국 중심의 네오디뮴 가격과 지정학적 리스크 지수(GPRC_CHN) 데이터를 사용하였으나, 다른 국가와 지역의 데이터가 충분히 반영되지 못하였다. 이는 결과의 일반화 가능성에 영향을 미칠 수 있다.

2. 모델 변수의 한계

VAR 모델은 변수 간 상호작용을 분석하는 데 유용하지만, 모든 외생 요인을 포함하지 못하였다. 국제 무역 규제, 환경 정책, 기술 발전 등 추가적인 요인이 분석에 포함되지 않아 연구의 설명력이 제한될 수 있다.

예측오차 분산 분해 시각화 결과에서, Diff_GPRHC_CHN은 자기 자신의 영향력이 크고, Diff2_Average_Close는 외부 요인보다 자기 자신의 변동이 더 큰 설명력을 가진다는 결과가 나온 바 있다. 이러한 결과는 네오디뮴 시장의 안정성을 확보하기 위해 지정학적 리스크 관리를 고려해야 하지만, 다른 경제적 요인이나 공급망 문제도 중요한 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 따라서 네오디뮴 시장 분석에는 다변량적 접근법이 필요하며, 지정학적 리스크와 더불어 다른 외부 요인들을 포함한 추가적인 분석이 필요하다.

3. 시간적 제약

데이터의 분석 기간이 2010년부터 2023년까지로 설정되었으나, 지정학적 리스크와 가격 변동의 장기적 변화 추세를 더 깊이 탐구하기에는 충분하지 않을 수 있다.

4. 단기효과 분석에 강한 충격반응분석

최근 시점의 데이터를 이용해 미래의 변동을 예측하는 VAR 모델의 특성 상, 장기 분석은 적합하지 않을 수 있다. 시간이 길어질수록 충격 반응을 정확하게 탐지하기 어렵기 때문에, 시각적 그래프만으로는 민감한 국제정세의 변화를 탐지하기 부적합했을 수 있고, 장기 변동도 유의미한 경제 상황 특성까지 반영하기 어려운 도구라고 판단된다. 외생변수를 추가하여 예측오차 분산 분해를 개선하거나, 다른 시계열 모델을 도입하여 연구를 보완하는 방안이 필요하다.

V. 실적 및 성과

A. 현재까지 실적 및 성과 또는 기대되는 성과

현재까지의 연구를 통해, Average_Close (네오디움의 월별 거래 평균 종가 가격)와 GRPC_CHN (중국 관련 사건 빈도를 기반으로 계산된 지정학적 리스크 지수)를 주요 변수로 활용한 예측 모델을 개발했다. 이 모델은 예측된 위험도에 따른 충격 반응 정도를 계산할 수 있으며, 이를 통해 발생 가능한 여러 이슈에 대해 사전 대응책을 마련할 수 있다.

예를 들어, Average_Close 값이 급격히 하락하고, 동시에 GRPC_CHN 값이 급증하는 경우, 이는 중국의 지정학적 리스크가 크게 증가하고, 네오디움의 공급망에 중대한 영향을 미칠 수 있음을 나타내낸다. 이러한 시나리오에서 예측된 경제적 충격은 예상보다 심각할 수 있으며, 회복탄력성도 낮게 나타날 가능성이 크다. 이러한 분석을 통해, 예를 들어 급격한 가격 하락과 리스크 증가가 동시에 발생한 경우에는 공급망 복원력을 높이기 위한 여러 공급처 확보와 다각화가 필요함을 알 수 있다. 또한, 실시간 데이터 분석을 통한 빠른 의사결정 체계를 도입하는 것이 효과적이며, 이를 통해 기업은 위기 상황에 신속히 대응할 수 있다.

구체적인 예시로, GRPC_CHN 지수가 높아지면서 중국의 무역 제한이 강화될 경우,

Average_Close 값이 하락할 가능성이 크다. 이럴 때, 가격 충격이 심각한 상황에서 여러 공급처 확보와 다양한 공급망 경로 확보가 중요한 대응책이 된다. 또한, 실시간 데이터 분석을 활용해 공급망의 상태를 지속적으로 모니터링하고 빠른 의사결정 체계를 구축하면, 예기치 못한 상황에서도 빠르게 대응할 수 있다.

따라서 이러한 시나리오 분석을 통해 얻은 결과는 위험 관리와 대응 전략 수립에 큰 도움이 되며, 기업이 예기치 않은 충격을 미리 예측하고 이에 맞는 해결책을 도입할 수 있도록 한다.

B. 결과물 활용 계획, 추후 연구 계획

앞으로는 다양한 예측 모델을 비교 분석하여, 더 적합한 모델을 선정할 계획이다. 현재 ARIMA 모델과 랜덤 포레스트 모델을 포함한 여러 모델을 검토하고 있으며, LSTM(장기 단기 기억) 네트워크와 같은 시계열 데이터 예측에 특화된 모델도 추가적으로 고려할 것이다. 이러한 모델들은 각각 고유한 특성과 장점이 있으며, 각 모델의 성능을 세밀하게 비교하고 분석하는 과정이 필요하다.

예를 들어, ARIMA 모델은 시계열 데이터의 선형적 패턴을 잘 포착하지만 비선형적인 복잡한 변동성에는 한계가 있을 수 있다. 반면 랜덤 포레스트 모델은 비선형 데이터를 잘 처리하지만, 시계열 데이터의 시간적 의존성을 반영하는 데에는 다소 약점이 있을 수 있다. 이에 비해 LSTM 네트워크는 시계열 데이터에서 발생하는 장기적인 의존성을 잘 처리하는 특성이 있지만, 훈련에 시간이 오래 걸릴 수 있다는 단점이 있다.

이러한 모델들을 사용하여, 각 모델의 특성과 성능을 비교 분석하고, 실제 기업의 상황에 맞는 최적의 모델을 선정하여 더 정확한 예측과 대응을 가능하게 할 예정이다. 또한, 실험 데이터를 통해 모델을 반복적으로 개선하고, 더욱 효과적인 예측을 도출할 수 있도록 실험을 지속적으로 진행할 것이다. 이를 통해 예측 정확도를 높이고, 리스크 관리 전략을 더욱 신뢰할 수 있는 방식으로 구축할 수 있을 것이다.

VI . 참고문헌

- 서경식, 고상근, 이수안. (2023). 통계, 머신러닝, 딥러닝 기반 시계열 모델을 이용한 원자재 가격 예측. DBR, 제39권 3호, 65-81
- 남주하, & 박재철. (1993). 금리와 물가간의 인과관계 ([깁슨의 역설]) 분석; VAR 및 VARMA 모형분석. 재무관리연구, 10(2), 161-179.
- 김진웅, 노영진. (2023). 글로벌 공급망 압력 상승의 경제적 효과 - 인플레이션과 경제성장률의 반응. 통계연구, 28(1), 98-116.

VII . 부록

A . 팀 운영 결과

1. 구성원 역할

- 권성현: 선행연구 및 자료 조사, 자문위원 미팅 관련 발표 자료 제작, 보고서 작성
- 김시연: 선행연구 및 자료조사, 데이터 수집 및 분석, 보고서 작성
- 양진모 : 선행연구 및 자료조사, 중간 점검 자료 작성, 보고서 작성
- 이시현: 데이터 수집 및 전처리, IRF 및 분산분해 결과 해석, 연구결과 요약 및 시사점 도출
- 이현지 : 선행연구 및 자료 조사, 제출물 관리, 보고서 작성, 통계 모델 연구
- 최진규 선행연구 및 자료조사, 데이터 적합성 검정, 예측 모델 코드 작성

2. 팀 활동 전략

학기 중 학업과 병행해야했기에, 효율적인 회의를 진행할 수 있도록 노력하는 데 집중했었다. 매 회의 마다 안건지를 미리 업로드 하여 팀원 각자가 회의 준비가 완벽히 준비된 상태에서 진행할 수 있게 하였고, 노션 페이지 관리에도 집중하여 회의록 관리에 힘썼다.

그래서 논의가 필요한 부분에 집중하여 논의하고, 역할 배분도 잘 이루어지게 되었고, 회의록 관리로 회의에 불참한 학우도 프로젝트에 끝까지 잘 따라올 수 있었다.

B . 참여자 개별소감 및 제안

- 권성현

초기에 희토류 공급망의 안정성을 최대화시키기 위해서, 학과 전공과목인 경영과학개론과 연계하여 위험도를 낮추는 방식으로 팀원들과 의논했던 것이 의미 있었다. 그러나 회의를 거치면서 어떻게 하면 더욱 유효하고 실효성 있는 결과물을 낼 수 있을지 고민해 본 결과, VAR 모델을 통한 분산 분해 및 충격반응함수 그래프를 분석하는 쪽으로 프로젝트의 초점이 옮겨지게 되었다. 이를 통해, 의미 있는 결과를 내기 위해서 주제를 다양하게 바꿔보면서 생각해 보는 탐구의 유연성을 익히게 된 것 같다.

- 김시연

기존 전공 수업 시간에 배운 최적화 이론 및 모델 작성, 통계 내용을 연관시켜 연구에 접목시킬 수 있는 경험이 없었는데 이번 CCP 를 통해 이러한 경험을 할 수 있어 좋았다. 특히 공부를 하면서는 정해진 상황에 그저 대입만 하면 될 것이라고 생각하였으나, 실제로 연구를 해보니 다양한 문제점을 맞이해 이를 풀어나가는 과정에서 많이 성장할 수 있었다고 생각한다. 특히 수집한 데이터를 분석할 수 있는 알맞는 모델 탐구를 하는 과정 및 VAR 모델을 제작하고 이를 어떻게 해석할 수 있을지 조원들과 의논하는 과정에서 알고 있는 지식의 부족함과 더 나아가야 될 필요성을 절실히 느꼈다. 아직 많은 것을 할 수 없는 수준이라 연구에서 많은 성과를 이루지 못함에 있어 슬펐지만, 앞으로 공부해 데이터를 완벽히 이해하고 시계열 분석을 진행해보고 싶다.

- 양진모

이번 연구를 통해 경제적 충격과 회복 탄력성을 예측하는 모델을 개발하는 중요성을 깨달았다. Average_Close와 GRPC_CHN 변수를 활용하여 위험을 예측하고 대응책을 마련하는 과정에서, 다양한 변수와 지정학적 리스크가 실질적인 영향을 미친다는 것을 알게 되었다. 앞으로 ARIMA, 랜덤 포레스트, LSTM 모델을 비교 분석하며, 각 모델의 장단점을 파악하고 실제 상황에 맞는 최적의 예측 도구를 개발하는 데 집중할 예정이다. 이를 통해 실무에서 활용 가능한 예측 모델을 만

드는 데 기여하고 싶다.

- 이시현

본 연구를 통해 지정학적 리스크와 네오디뮴 가격 변동 간의 동적 관계를 분석하는 과정에 참여하며, 데이터 기반 연구가 실질적인 문제 해결에 얼마나 큰 잠재력을 가지는지 깨달았다. 특히 VAR 모델을 활용한 시계열 분석에서 변수 간의 시간적 상호작용을 탐구하며, 복잡한 문제를 구조화하고 해결책을 도출하는 방법을 깊이 이해할 수 있었다.

분석 과정에서 충격반응 함수(IRF)와 예측오차 분산분해를 활용한 결과를 시각화하면서, 지정학적 리스크가 가격 변동에 미치는 영향의 강도와 지속 시간을 직관적으로 파악할 수 있었던 점이 특히 인상적이었다.

이 연구는 중국뿐 아니라 다른 나라들의 데이터를 함께 분석해 더 넓은 시각에서 결과를 일반화하면 좋을 것 같다. 또한 ESG 점수와 같은 다양한 외부 요인을 추가해 분석을 더 정확하게 만들고, 조기 경고 시스템이나 대체 공급 경로처럼 실무에서 바로 활용할 수 있는 방법을 구체적으로 제시하는 방향으로 발전시킬 수 있을 것 같다. 마지막으로, 연구 결과를 누구나 쉽게 이해할 수 있도록 시각적으로 표현하는 것을 시도해봐도 좋을 듯 하다.

- 이현지

첫 전공 수업인 '경영과학개론' 종강 후, 전공에 대한 관심을 키우는 것이 목적이었던 이 프로젝트는, 이후에 수강한 '응용통계및실습' 등의 새로 배운 전공 지식을 덧붙여가며 발전시켜나갔다. 실제 상황에서 응용되는 모습을 보게 되니 수업에도 더 열심히 집중할 수 있었다.

또한 선행 연구가 많지 않은 상황에서 우리가 배운 전공 지식만으로 프로젝트를 이어나가느라 난관에 부딪히는 상황도 많았지만, 관련 과목 교수님과, 자문 위원님, 심사위원분들의 조언과 도움으로 갈피를 잡아갈 수 있었다.

특히나 중간 평가 당시 연구 초점을 잘못 맞췄다는 생각에 충격을 받은 적이 있다. 수리 모델 수립과 수리 최적화에만 집중하면서, 모든 문제를 숫자로 풀려고 했던 시도에 문제가 있었음을 느꼈던 순간이었다. 이에 타 학과 수업을 찾아 듣고, 정책 자료집 등의 다양한 자료들을 참고하며 배경 지식을 쌓아나가면서, 적절히 모델을 쓰는 방법과 다양한 관점에서 사고하는 연습을 했던 기억이 난다. 수리 모델만의 관점이 아닌, 개괄적인 프로세스와 다양한 제도를 배우면서 융합적인 판단을 기르고자 했다. 부족했던 점이나 시행착오를 겪었던 부분에 더욱 신경 써 기록했기에, 앞으로 연구자로 성장해나가는 길에 도움될 수 있는 귀한 경험을 만들었다고 생각한다.

- 최진규

이번 공모전을 통해 나의 문제 해결 능력을 확인할 수 있었고, 부족한 점과 보완할 부분을 알 수 있는 계기가 되었다. 문제를 인식하고 해결 방안을 모색하며 결론을 도출하는 전 과정이 쉽지는 않았지만, 해결 방안을 수정하고 보완하는 과정에서 많은 것을 배웠다. 예측 모델을 설계하는 단계에서는 문제 상황과 데이터의 특성을 고려하며 적합한 모델을 선정하고 데이터를 검토하는 과정을 통해 전공 지식을 심화 학습했다. 팀원들과 소통하며 각자의 의견과 지식을 공유하고 토론하는 과정에서 팀 단위 프로젝트를 효과적으로 수행하는 방법을 익혔다. 이번 프로젝트는 문제 해결 능력과 협업 능력을 성장시킬 수 있는 소중한 경험이었다.

C . 외부 전문가 피드백내용 및 지도교수 의견

최근 ESG 경향을 놓고 보면 보유 자원의 무기화를 통해 다른 국가들을 압박하는 경우가 발생할 가능성이 높아지고 있습니다.

이를 공급망 관점에서 볼 때 Risk 가 높은 부분 중 하나이므로 이에 대해 각 국가나 기업별로 대처 방안이 강구되는 중입니다.

이에 실시간 공급망 관리 개념에서 안정적인 자원 확보가 중요하다 할 수 있겠습니다.

공급망 관련한 데이터 수집에 대해서는 일부 한계가 있지만 나름대로 RAW 데이터를 발굴하고 이를 데이터 분석 모델을 통한 가설 검증 등의 단계를 잘 진행하여 유의미한 결과가 나왔다고 판단합니다.

이번 연구를 계기로 ESG 관점에서의 공급망 관리의 중요성을 다시 한 번 알게 되는 계기가 되었으면 합니다.

또한, 데이터 분석 모델을 기반으로 한 실시간 Dashboard 형식의 프로그램까지도 개발했으면 하는 바람이 있네요.

학업과 병행하면서 진행하기가 쉽지 않았을 텐데 모델 수립을 통한 결과 도출까지 잘 진행해주셔서 감사하게 생각합니다.

본 CCP 연구를 통해 ESG에 대한 개념 이해도를 높여 앞으로 있을 여러 가지 연구나 프로젝트에서도 이번 경험을 잘 활용할 수 있었으면 합니다.

D . 연구비 예·결산 내역