

# WTI 원유가격과 한국 산업생산의 동태적 연계성 분석

## 오정태<sup>1)</sup>

### 요약

본 연구는 1990년 1월부터 2025년 5월까지의 월별 데이터를 바탕으로 WTI 원유가격과 한국 산업생산 간의 동태적 연계성의 시간에 따른 변화 양상을 분석했다. 경제 구조의 시간적 변화를 포착하기 위해 베이지안 시변계수 확률적 변동성 벡터자기회귀 모형을 적용했다. 분석에 앞서 시계열 변수의 정상성을 확보하고 Johansen 공적분 검정을 통해 장기 관계의 부재를 확인했다. 분석 결과, 원유가격 충격이 산업생산에 미치는 영향 계수는 2000년대 초반 0.0255에서 2025년 0.0220로 점진적으로 감소했다. 이러한 연계성 약화는 글로벌 금융위기, COVID-19 팬데믹, 우크라이나 침공 등 주요 경제 위기 국면에서 더욱 뚜렷하게 관찰되었다. 확률적 변동성 분석 결과, 위기 시기에는 변동성이 급등하지만 점차 구조적 변동성 감소 국면으로 전환되는 추세를 보였다. 웨이블릿 분석을 통해 위기 국면별로 충격 전파의 시간-주파수 특성이 서로 다를 수 있음을 확인했다. 아울러 본 연구의 해석은 모형이 추정된 축약형 계수의 통계적 범위로 한정하며, 거시경제 전반의 충격 흡수력 증명으로 단정하지 않는 선에서 거시경제 안정화 정책에 중요한 통찰을 제공했다.

주요용어 : 시변계수 벡터자기회귀, 국제유가 충격, 충격 전달 메커니즘

## 1. 서론

국제 원유가격의 변동은 세계 경제의 경기와 성장에 지대한 영향을 미치는 핵심 요인으로 간주되고 있다. 특히 Hamilton(1983)의 연구 이후, 원유가격 충격이 거시경제 활동, 특히 산업생산에 미치는 영향은 경제학 및 계량경제학 분야의 중요한 연구 주제로 자리 잡았다. Hamilton(1983)은 원유가격 충격이 경제 침체를 야기할 수 있음을 실증적으로 입증하였고, 이후 다양한 연구자들이 이러한 결과를 더욱 심도 있게 분석하였다(Kilian, 2009; Baumeister & Peersman, 2013).

한국 경제는 에너지 자원의 대부분을 수입에 의존하는 구조적 특성으로 인해 국제 원유가격 변동에 매우 취약하다. 실제로 한국의 월평균 원유 수입량이 약 7만8천 배럴에 달하며(한국석유공사, 2024), 제조업 부가가치가 국내총생산(GDP)의 약 25.5%를 차지하는 점을 고려하면(한국은행 국민계정팀, 2024), 원유가격 변동이 산업생산에 미치는 파급 효과는 상당히 클 수밖에 없다. 그러나 최근에는 에너지 효율성 개선, 산업 구조 고도화, 정책 대응 능력 강화 등 구조적 변화로 인해 전통적인 원유가격 충격과 산업생산 간 관계가 시간에 따라 달라질 수 있다는 가능성이 제기되고 있다(김동현 외, 2012; Park & Ratti, 2008). 더욱이 한국의 에너지 원단위는 1995년 이후 30년간 꾸준히

1) 주저자. 전라남도 나주시 전력로 55, 한국전력공사 경영연구원, 선임연구원.  
E-mail: jeongtae.oh@kepcoco.kr

개선되어 2022년 연평균 1.6% 향상된 것으로 나타났으며(산업통상자원부, 2023), 제조업 에너지 집약도 또한 2000년 대비 2023년까지 31.0% 이상 줄어드는(국가에너지통계 종합정보시스템, 2025) 구조적 변화를 겪고 있다. 이러한 에너지 효율성 개선과 산업구조의 고도화는 원유가격 충격의 전파 메커니즘에 근본적인 변화를 가져올 가능성이 높으며, 따라서 시간에 따른 충격 전달 계수의 역동적 변화를 정밀하게 분석하는 것은 현 시점에서 매우 중요한 연구 과제로 볼 수 있다.

기존 연구들은 주로 벡터자기회귀(VAR) 또는 구조적 벡터자기회귀(SVAR) 모형과 같은 고정계수 방법론을 활용하여 원유가격과 산업생산 간의 관계를 분석해왔다. 그러나 Kilian(2009)은 원유가격 충격의 경제적 효과가 충격의 본질과 경제 환경에 따라 달라질 수 있음을 강조하며, 이는 고정계수 모형의 한계를 드러낸다. 즉, 기존의 고정된 모수를 가정한 접근법은 구조적 변화와 시간에 따른 충격 전달 메커니즘의 변화를 충분히 포착하지 못할 수 있다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 Sims(1980)가 도입한 벡터자기회귀 방법론을 확장한 TVP-VAR-SV 모형을 적용하여 원유가격과 한국 산업생산 간의 관계가 시간에 따라 어떻게 변화하는지 실증적으로 분석하고자 한다. Primiceri(2005) 및 Nakajima(2011)가 제시한 바와 같이, TVP-VAR-SV 모형은 모수의 시간적 변동성과 충격의 확률적 변동성을 동시에 고려함으로써 경제구조의 변화 및 충격 전달 메커니즘의 동태적 특성을 보다 명확하게 포착할 수 있다. 본 연구는 서부텍사스산 원유(WTI) 가격 충격이 한국 산업생산에 미치는 영향의 시간적 변동성을 규명하고, 그 변화의 방향과 크기를 계량적으로 추정하며, 이러한 변화를 설명하는 핵심 경제 요인을 실증적으로 식별한다.

본 연구는 기존 선행 연구를 비판적으로 검토하여 기존 방법론의 한계를 명확히 밝히고, TVP-VAR-SV 모형을 활용하여 원유가격과 산업생산 간의 관계 변화를 분석함으로써 의미 있는 시사점을 제공하고자 한다. 분석 결과는 원유가격 충격에 대한 이해를 심화시키고, 정책 당국이 시간에 따라 변화하는 경제 환경에 대응하기 위한 보다 정교한 정책을 수립하는 데 유용한 정보와 기준을 제공할 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 선행연구의 이론적 배경과 한계점을 비판적으로 논의하며, 3장에서는 TVP-VAR-SV 모형의 이론적 구조와 추정 방법을 상세히 설명한다. 4장에서는 실증분석 결과를 제시하고, 5장에서는 본 연구의 주요 결론 및 정책적 시사점과 향후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 선행연구 검토

국제 유가 변동이 실물경제에 미치는 동태적 효과는 Hamilton (1983)이 외생적 유가 급등을 1970~1980년대 미국 경기침체의 결정적 요인으로 지목한 이후 거시계량 분야에서 지속적으로 학계의 주목을 받아왔다. 이후 연구들은 유가 충격의 발생 메커니즘과 파급 경로를 구조적으로 파악하기 위해 구조적 벡터자기회귀(SVAR), 대리변수 SVAR, 국소투영법 등 고급 계량경제학적 식별 및 추정 기법을 더욱 정교화하였고,

그 결과 실증 전략과 이론적 해석 면에서 중요한 진전을 이루었다. Mork (1989)는 유가 상승과 하락의 비대칭성을, Rotemberg and Woodford (1996)는 불완전 경쟁 환경에서의 전략적 가격설정을 통해 나타나는 실질효과를 제시하였다. Lee, Ni and Ratti (1995)는 제조업 세부 산업 자료를 활용해 물가와 산업생산의 공동 변동을 실증함으로써 부문별 충격 전달 경로를 조명하였다.

충격의 근원을 식별하려는 연구의 흐름은 Kilian (2009)에 의해 중요한 전환점을 맞이했다. 그는 실질 유가 변동을 공급·총수요·원유특정 수요 충격으로 구조 분해함으로써 충격의 근원에 따라 거시경제 반응이 서로 다름을 보였다. Kilian and Park (2009) 및 Kilian and Zhou (2020)는 산업별 추가 및 실질지표를 이용해 이러한 이질성을 미시적 차원에서 확인하였다. Baumeister and Peersman (2013)은 베이지안 SVAR을 통해 추정 불확실성을 줄였고, Baumeister and Hamilton (2019)은 약한 도구 변수 문제를 해결하는 식별 절차를 고안하여 추론의 견고성을 높였다. Caldara, Cavallo and Iacoviello (2019)는 텍스트마이닝을 활용해 OPEC 발표 등으로 유발되는 공급 충격을 식별하였으며, Herrera와 Pesavento (2015)는 미국 주별 가솔린 가격에 대한 시간에 따른 변화 반응을 규명하였다. Aastveit, Bjørnland and Thorsrud (2019)는 시변 계수-벡터자기회귀(TVP-VAR)로 2000년대 이후 충격 효과가 약화되었음을, Cashin 등 (2014)은 소득 수준별 차별적 전파를 다국간 패널 VAR로 확인하였다.

이와 동시에 에너지 집약도는 기술 진보와 산업 구조 재편에 힘입어 지속적으로 감소해왔다. Davis와 Haltiwanger (2001)의 '섹터별 충격 가설'은 유가 변동이 자원의 산업 간 재배분을 촉진해 총효율성을 개선할 수 있다는 이론적 근거를 제시한다. 실제로 한국의 제조업 에너지 집약도는 2000년부터 2020년 사이에 약 44% 감소했으며, 산업 구조 또한 저기술·자원집약적 분야에서 전자, 운송장비, 스마트 제조 등 고부가가치 분야로 점진적으로 전환되었다(Aridi et al., 2023; Lee, 2020). 이러한 구조적 변동은 유가 충격의 국내 파급경로가 시간에 따라 달라질 수 있음을 시사한다.

시간가변 구조와 확률적 이분산을 모형화하기 위한 계량경제학적 진보도 함께 이루어졌다. Cogley and Sargent (2005), Primiceri (2005), Del Negro와 Primiceri (2015)는 계수와 오차분산이 모두 시간에 따라 변하는 TVP-VAR-SV 모형을 정립하였고, Koop and Korobilis (2010)는 마르코프 연쇄 몬테카를로(MCMC) 기반 구현 전략으로 실증 적용의 장벽을 낮추었다. Ren et al.(2022)는 1995년부터 2017년까지 중국의 26개 성(省)을 대상으로 국소 선형 더미 변수 추정 방법을 활용한 비모수 패널 모형 분석을 통해, 에너지 소비가 경제성장에 미치는 영향이 시간에 따라 변화하며 성(省)별로 다른 역(U)자 형태의 관계를 보인다는 점을 실증적으로 규명했다. 더불어 탄소집약도가 높은 지역에서는 에너지 효율 개선이, 저탄소 지역에서는 투자와 혁신 촉진이 경제성장에 더욱 결정적인 영향을 미칠 수 있다는 중요한 정책적 시사점을 제시했다. Rua와 Nunes (2009), Reboredo et al. (2017)는 웨이블릿 공조도와 공분산을 통해 다주파수 동조화 분석을 확장하였다.

국내 선행연구들은 여전히 구조적 VAR 모형(SVAR), 선형 회귀분석 및 GARCH 모형에 편중되어 있다. Lee and Ni (2002)는 동아시아 외환위기 이후 유가 충격의 국내 파급 효과가 확대되었음을 밝혔다. Kim (2025)은 한국의 인플레이션 결정 요인을 소

규모 개방경제 DSGE 모형과 베이저안 추정 방법을 통해 분석한 결과, 최근 급격히 상승한 인플레이션의 주요 원인이 수입물가 상승과 같은 비용 측면의 충격임을 명확히 밝혀냈다. 그러나 이들 연구는 구조 변화와 충격 이질성을 동시에 포착하지 못했으며, Kilian (2009)식 충격 식별과 웨이블릿 기반 다스케일 분석을 결합한 사례는 찾아보기 어렵다 (KEEI, 2024). 특히, 산업생산과 같은 경제 변수를 고차원 벡터자기회귀(VAR) 모형과 웨이블릿 기반 다중해상도 분석을 통합한 연구는 현재까지 거의 이루어지지 않았다.

국내외 선행연구를 심도 있게 검토한 결과, 기존 문헌들은 주로 고정계수 모형에 의존함으로써 구조적 변화를 충분히 반영하지 못했고, 충격의 이질성과 시간적 변동성을 동시에 고려한 분석은 매우 제한적이었다. 더욱이 Bayesian TVP-VAR-SV를 적용한 연구는 사실상 전무하여, 충격 식별과 계수 동태성에 대한 실증적 이해가 크게 부족한 상황이다. 이러한 연구 공백을 메우기 위해 본 연구는 1990년 1월부터 2025년 5월까지의 월별 자료를 활용하여 Bayesian TVP-VAR-SV 모형을 추정하고, 웨이블릿 파워 스펙트럼 분석을 병행함으로써 주파수 대역별, 시점별 유가와 산업생산 간 충격 반응을 정밀하게 분석한다. 특히 외환위기, 글로벌 금융위기, COVID-19 팬데믹, 우크라이나 전쟁 등 주요 전환 국면에서 반응계수와 오차분산의 시간에 따른 변동을 추적하는 동시에, 에너지 집약도 감소와 산업 고도화가 이러한 충격 흡수 능력에 미친 영향을 계량적으로 평가하였다. 본 연구는 계수 동질성을 가정하는 기존 국내 연구의 한계를 넘어선 최초의 시변계수 주파수 결합 실증 분석으로서, 학술적·정책적 측면에서의 의미 있는 기여를 한다.

### 3. 시변가변 계수-확률적 변동성 벡터자기회귀(TVP-VAR-SV) 모형 설계

#### 3.1 연구 데이터의 특성 및 전처리

본 연구는 1990년 1월부터 2025년 5월까지의 월별 시계열 데이터를 바탕으로 WTI 국제 유가와 한국 산업생산지수(IP) 간의 동태적 관계를 실증적으로 분석했다. 장기간의 시계열을 활용함으로써 구조적 충격에 따른 비정상성 및 이분산성을 효과적으로 포착할 수 있으며, 이는 TVP-VAR-SV 모형의 핵심 추정 기반과도 완벽하게 일치한다.

자료는 미국 세인트루이스 연방준비은행의 FRED(Federal Reserve Economic Data)에서 수집되었으며, 해당 기관은 신뢰할 수 있는 공식 통계 생산기관으로서 표준화된 계열과 결측치 보정 이력을 제공한다. 본 연구는 다음과 같은 엄격한 계량경제학적 전처리 절차를 통해 데이터의 신뢰성을 확보했다.

첫째, 결측치 처리는 자료의 결측 발생 원인 및 시계열 구조를 고려하여 이원적 방식으로 수행되었다. 단기 및 국소적 결측에는 선형 외삽법(linear extrapolation)을 적용했다. 이 방법은 인접 시점의 관측값을 활용하여 선형 추세에 기반한 예측값을 산출하는 방식으로, Hamilton(1994)과 Enders(2015)의 시계열 기법에서 정식화되어 있으며, 경계구간 추정 시 분산을 최소화한다. 반면, 산업생산지수와 같이 뚜렷한 계절

성을 지닌 변수의 경우, 전년 동월 대체법(year-over-year substitution)을 활용하여 계절적 구조를 왜곡 없이 보완했다. 이 방법은 통계청, IMF, OECD 등 국제기관에서도 단기 결측 보정 시 권장하는 실증적 접근이다. 둘째, 정상성 확보와 공적분 관계 여부를 확인하기 위해 각 시계열 변수에 대해 ADF(Augmented Dickey-Fuller test)와 Johansen 공적분 검정(Johansen cointegration test)을 병행 실시했다. ADF 검정은 시계열의 단위근 존재 여부를 파악하여 안정적인 추정 기반을 마련하는 데 목적이 있으며, 공적분 검정은 장기균형관계가 존재할 경우 차분 후에도 정보 손실을 방지하고 구조 모형의 내재적 제약 조건을 부여한다(Johansen, 1991). 검정 결과, 두 변수 모두 1차 차분 후 정상성을 만족했으며 공적분 관계는 없는 것으로 나타났다. 셋째, 계절성 제거는 X-13ARIMA-SEATS 알고리즘을 활용하여 수행했다. 이는 미국 인구조사국(U.S. Census Bureau)의 공식 계절조정 프로그램으로, 계절성 및 달력효과를 통합적으로 제거하는 데 있어 국제적으로 표준화된 방식이다. 본 연구는 다음 세 단계를 이의 적용에 활용했다.

구체적으로, 먼저 ARIMA 기반 사전 추정을 통해 계절성, 휴일, 추세 등의 결정론적 성분을 포함하는 모형을 추정하여 설명력을 확보했고, 이어서 고전적 계절 필터를 적용하는 X-11 비모수적 필터링(nonparametric filtering)을 통해 주기적 요인을 제거했다. 마지막으로, SEATS(signal extraction in ARIMA time series)를 이용한 신호 추출 기법(signal decomposition)을 통해 잔차에서 불확실성과 구조적 충격을 분리함으로써 모형의 식별력을 강화했다.

이러한 과정을 통해 시계열의 조건부 평균과 조건부 분산이 안정화되었으며, 모형 내에서 계절 요인이 충격의 이분산 성분으로 잘못 해석되는 오류를 사전에 방지했다. 또한, X-13은 진단 통계(diagnostic statistics)를 통해 필터 안정성, 잔차 구조, 계절성 잔여 유무 등을 확인할 수 있어, 전처리 과정의 적절성을 정량적으로 검증할 수 있었다. 이상의 전처리 절차는 TVP-VAR-SV 모형에서 요구하는 정상성, 구조적 안정성, 조건부 이분산성의 전제를 모두 충족하도록 구성되었으며, 데이터 정합성과 충격 식별력을 상호 보완했다.

### 3.2 X-13ARIMA SEATS

X-13ARIMA-SEATS는 시계열  $Y_t$ 에 대해 회귀항을 포함한 ARIMA 모형을 먼저 적합시키며, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi(B)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \Theta(B)\varepsilon_t \quad (3.1)$$

여기서  $B$ 는 시차 연산자(lag operator),  $d$ 와  $D$ 는 각각 비계절 및 계절 차분 차수를 의미하며,  $s$ 는 계절 주기이다.  $\Phi(B)$ 와  $\Theta(B)$ 는 자기회귀 및 이동평균 다항식을 나타낸다. 잔차  $\varepsilon_t$ 는 평균 0, 분산  $\sigma^2$ 를 갖는 백색잡음으로 가정된다. ARIMA 모형의 식별은 일반적으로 AIC, BIC 등의 정보기준에 따라 수행된다. 계절성 이외의 효과들을 제거하기 위해 회귀항을 추가할 수 있으며, 이 회귀항은 다음과 같다.

$$Y_t = \sum_{i=1}^k \beta_i X_{i,t} + u_t \quad (3.2)$$

여기서  $X_{i,t}$ 는 공휴일 효과, 월 길이 조정, 이상치 조정 등을 모형에 반영하기 위한 외생 회귀변수이며,  $\beta_i$ 는 그 계수들이다. 이 과정을 통해 구조적 변화나 특정 사건에 따른 이상치를 효과적으로 제어할 수 있으며, 이후에 추정된 잔차  $u_t$ 는 순수한 확률적 변동으로 간주되어 ARIMA 모형 추정에 사용된다. 회귀 및 ARIMA 모형 추정 이후 SEATS 알고리즘은 시계열을 세 개의 성분으로 분해한다.

$$Y_t = T_t + S_t + I_t \quad (3.3)$$

여기서  $T_t$ 는 장기 추세,  $S_t$ 는 계절 성분,  $I_t$ 는 불규칙 성분을 의미한다. 이 분해는 칼만 필터(Kalman filter) 및 칼만 스무더(Kalman smoother)를 기반으로 최적 신호 추출을 수행하는 방식이며, 각 성분은 상태공간 모형(State-space model)을 통해 추정된다. 이때, 추세는 다음 상태방정식에 의해 추정된다.

$$T_{t+1} = T_t + \eta_t, \eta_t \sim N(0, \sigma_\eta^2) \quad (3.4)$$

계절 성분은 계절 주파수의 특성을 유지하는 계절성 자기회귀 다항식 형태로 모델링되며, 불규칙 성분은 백색 잡음(정규 분포를 따르는 무작위 잡음)으로 처리된다. SEATS 방법론은 Wiener-Kolmogorov 필터를 활용한 직교 분해 접근법을 기반으로 하며, 각 성분 간 상호 독립성(공분산이 0)을 가정하고 최적의 신호 추출을 수행한다.

$$\text{Var}(Y_t) \approx \text{Var}(T_t) + \text{Var}(S_t) + \text{Var}(I_t) \quad (3.5)$$

### 3.3 단위근 및 공적분 검정

시계열 분석에서 단위근의 존재는 해당 시계열이 비정상성을 가진다는 것을 의미하며, 이로 인해 회귀분석의 정상성 가정에 위배될 수 있다. 본 연구에서는 Augmented Dickey-Fuller(ADF) 검정을 통해 각 변수의 단위근 존재 여부를 확인하였다. ADF 검정은 다음과 같은 회귀모형을 기반으로 한다.

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.6)$$

$H_0 : \gamma = 0$  (단위근 존재, 비정상 시계열)

$H_1 : \gamma < 0$  (정상 시계열)

$$ADF_t = \frac{\hat{\gamma}}{SE(\hat{\gamma})}$$

시계열 데이터에 단위근이 존재할 때, 변수 간의 장기적인 균형 관계를 파악하기 위해 Johansen 공적분 검정을 실시하였다. 이 검정 방법은 Engle-Granger 검정과 달리 다중 공적분 관계를 분석할 수 있으며, 보다 안정적이고 신뢰할 만한 결과를 제공한다.

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-i} + \mu + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim i.i.d. \quad (3.7)$$

$$H_0 : \text{rank}(\Pi) \leq r \text{ (공적분 관계가 } r \text{개 이하)}$$

$$H_1 : \text{rank}(\Pi) > r \text{ (공적분 관계가 } r \text{개 초과)}$$

$$\lambda_{\text{tracce}}(r) = -T \sum_{i=r+1}^k \ln(1 - \lambda_i)$$

$$\lambda_{\text{max}}(r, r+1) = -T \ln(1 - \lambda_{r+1})$$

### 3.4 TVP-VAR-SV 모형 추정

본 연구에서 TVP-VAR-SV 모형을 선택한 배경은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 35년에 걸친 장기 분석 기간 동안 한국 경제는 외환위기(1997), 글로벌 금융위기(2008), COVID-19 팬데믹(2020), 우크라이나 침공(2022) 등 일련의 구조적 충격을 겪었으며, 이러한 주요 사건들로 인해 원유가격과 산업생산 간의 관계에 구조적 변화가 발생했을 가능성이 높다. 둘째, 원유가격의 극심한 변동성은 조건부 이분산성 문제를 야기하며, 이를 적절히 해결하지 않으면 신뢰구간이 부정확하게 추정되어 정책 해석의 신뢰성이 크게 떨어질 수 있다. 셋째, 베이지안 추정법은 제한된 표본 크기에서도 효율적인 추정이 가능하고, 사전 정보를 활용함으로써 모수 추정의 안정성을 현저하게 개선할 수 있다(Koop and Korobilis, 2010). 따라서 본 연구에서는 거시경제 변수들 간의 상호작용이 시간에 따라 변화하고 경제 환경의 불확실성이 확률적으로 변동한다는 점에 주목하여, 시간가변 계수-확률적 변동성 벡터자기회귀 모형을 베이지안 MCMC(Markov Chain Monte Carlo) 기반 상태공간 추정 방법으로 분석한다. 이 모형은 다음 네 가지 단계로 구성된다.

$$y_t = A_{0,t} + A_{1,t}y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \Sigma_t) \quad (3.8)$$

여기서  $A_{0,t}$ 는 시점  $t$ 에서의 절편 벡터( $m \times 1$ ),  $A_{1,t}$ 는 시점  $t$ 에서 계수 행렬( $m \times m$ ),  $\Sigma_t$ 는 시간 가변적 오차 공분산 행렬이다. 각 계수는 시점별로 변화함으로써 정책 효과나 외부 충격에 대한 구조적 반응이 시간에 따라 달라질 수 있음을 반영한다. TVP-VAR 모형에서는 계수 행렬을 벡터화하여 상태 변수  $\theta_t \in \mathbb{R}^K$ 로 표현하며, 이 상태 변수는 확률적 보행 과정을 따른다.

$$\theta_t = \theta_{t-1} + \nu_t, \nu_t \sim N(0, Q) \quad (3.9)$$

where

$$\theta_t = (A_{0,t}, A_{1,t})$$

모형의 오차항  $\varepsilon_t$ 는 시간에 따라 변하는 공분산 행렬  $\Sigma_t$ 를 따르며, 이는 다음과 같이 표현된다.

$$\varepsilon_t \sim N(0, \Sigma_t), \Sigma_t = H_t D_t H_t' \quad (3.10)$$

where

$$D_t = \text{diag}(e^{h_{1t}}, \dots, e^{h_{mt}})$$

여기서  $H_t$ 는 하삼각 행렬로 구조적 상관관계를 반영한다. 각 로그 분산 항은 다음과 같은 확률적 과정을 따른다.

$$h = h_{i,t-1} + \eta, \eta \sim N(0, \sigma_{\eta i}^2) \quad (3.11)$$

이때, 베이저안 계량모형의 학문적 투명성과 신뢰도를 확보하기 위해서는 모형의 사전분포(prior specification) 및 구조 설정에 대한 명시적 설명이 필수적이며, 본 연구는 다음과 같은 세부 설정을 기반으로 추정을 수행하였다.

첫째, 회귀계수 상태벡터의 초기 공분산 행렬에 대한 사전 스케일 계수를 0.3981로 설정했다. 이는 시점  $t=0$ 에서 베이저안 사전분포의 초기 불확실성을 정의하는 것으로, 추정 초기 단계에서 회귀계수의 동적 변화 가능성을 반영하며 베타 계수의 시간가변성 초기 수준을 조정하는 역할을 한다. 둘째, 베타 계수 상태방정식의 상태변화 충격항 분산에 대한 감쇠 계수를 0.0114로 설정했다. 이를 통해 상태전이 방정식의 시계열적 변동성에 대한 사전 강도를 조절하여 회귀계수의 동태적 진화 속도 및 구조적 전환 민감도를 통제할 수 있다. 구체적으로, 계수 값이 작을수록 회귀계수는 보다 정태적이며, 값이 클수록 구조 변동이 더욱 민감하게 반영된다. 셋째, 확률적 변동성 모형에서 로그 분산 상태방정식의 상태변화 충격항 분산에 대한 감쇠 계수를 0.0059로 설정했다. 이 계수는 조건부 이분산의 시간적 구조 및 예측 가능성에 대한 사전 신념을 수치화 하며, 조건부 분산의 구조적 경직성 여부, 즉 변동성 클러스터링이나 급격한 국면 전환의 민감도에 핵심적인 영향을 미친다.

이러한 하이퍼파라미터 설정은 TVP-VAR-SV 모형의 비정상성, 시변계수성, 이분산성, 구조 전환 가능성 등의 특성을 종합적으로 고려하는 데 있어 핵심적 요소이다. 또한 기존 선행문헌들(Primiceri, 2005; Nakajima, 2011; Chan & Eisenstat, 2018)에서 일반적으로 채택된 모수 범위를 준용하였기에, 본 연구의 추정 구조는 모형의 계량적 적합성과 사전분포의 투명성, 모형 안정성 측면에서 통계학적 타당성을 충분히 확보

하고 있다.

더불어, 베이저안 추정의 수렴성 및 분산 안정성을 확보하기 위해 3개의 독립적인 마르코프 연쇄를 기반으로 총 21,000회의 MCMC(Markov Chain Monte Carlo) 반복을 수행했다. 이 과정에서 초기 2,100회는 소각(burn-in)하였으며, 표본 자기상관의 영향을 제거하고 효과적 표본수를 증가시키기 위해 추출 간격(thinning interval)을 5로 설정하였다. 본 연구의 방법론에는 Kilian (2009)이 제시한 구조적 충격 식별 방법론을 적용하지 않았다는 주요 한계가 있다. 유가 변동이 공급충격, 수요충격, 유가특정수요충격 등 다양한 원인에서 비롯되며, 이러한 충격들이 경제에 미치는 영향이 서로 다르다는 점은 널리 알려진 사실이다 (Baumeister & Hamilton, 2019; Kilian & Murphy, 2014). 그러나 TVP-VAR-SV 모형에서 구조적 식별 제약조건을 시간에 따라 일관되게 유지하는 것은 기술적으로 매우 까다롭기 때문에 (Bognanni, 2017), 본 연구는 시변계수의 정밀한 추정에 초점을 맞추어 축약형 접근법을 선택했다. 따라서 본 연구의 결과는 특정 충격의 근원과 무관하게 유가 변동이 산업생산에 미치는 평균적인 영향으로 해석되어야 하며, 향후 연구에서는 시변계수와 구조적 식별을 통합한 방법론을 적용할 필요가 있다.

### 3.5 Gleman-Rubin Potential Scale Reduction Factor

TVP-VAR-SV 모형의 모수 추정은 MCMC 기반의 Gibbs 샘플링 방법을 통해 이루어지며, 샘플링된 사후분포의 안정적인 수렴 여부를 면밀히 검토하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 모수 추정의 수렴성을 엄밀하게 진단하기 위해 Gelman and Rubin (1992)이 제안한 PSRF 통계를 활용하였다. 이 통계량은 다중 MCMC 체인 간 분산을 비교하는 방식을 기반으로 하며, 각 매개변수에 대해 특정한 방식으로 정의된다.

$$\hat{R} = \sqrt{\frac{\hat{V}}{W}} \quad \text{where} \quad \hat{V} = \left(1 - \frac{1}{n}\right)W + \frac{1}{n}B \quad (3.12)$$

### 3.6 시변 계수(time-varying coefficients) 사후 분석

TVP-VAR-SV 모형 추정 후, 시점별 시간가변계수에 대한 사후분포 분석 (posterior analysis)을 통해 모수의 시간적 진화 과정(temporal evolution)을 정량적으로 평가할 수 있다. MCMC 추정 절차에서 도출된 각 시점의 계수 벡터 사후표본 (posterior draws)에 대해 사후 평균 (posterior mean) 및 신뢰구간을 다음과 같이 계산한다.

$$\mathbb{E}[\theta_t | y_{1:T}] \approx \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \theta_t^{(s)}, \quad CI_{95\%}(\theta_{jt}) = [\theta_{jt}^{(2.5\%)}, \theta_{jt}^{(97.5\%)}] \quad (3.13)$$

여기서  $\theta_{jt}^{(s)}$ 는 시점  $t$ 에서 변수  $j$ 에 대한 계수의 제  $s$ 번째 MCMC 샘플이며,

$\theta_{jt}^{(2.5\%)}$ ,  $\theta_{jt}^{(97.5\%)}$ 는 해당 변수 사후분포의 2.5% 및 97.5% 분위수를 활용하여 시간에 따라 변화하는 계수의 불확실성을 효과적으로 평가할 수 있다. 이러한 사후분포 분석을 통해 특정 시기의 계수에서 발생하는 구조적 전환이나 정책 민감도의 통계적으로 유의미한 변화를 정확하게 파악할 수 있으며, 시점별 계수 경로를 시각화함으로써 연구 결과에 대한 계량적 해석의 직관성과 설득력을 크게 높일 수 있다.

### 3.7 시계열별 확률적 변동성(stochastic volatility) 경로에 대한 사후 분석

TVP-VAR-SV 모형에서는 오차 공분산 행렬이 시점  $t$ 에 따라 동적으로 변화하며, 각 변수  $i$ 의 조건부 분산은 확률적 변동성 모형을 통해 추정된다. 구체적으로, 변수  $i$ 의 로그 분산은 다음과 같은 확률적 보행 과정을 따른다.

$$h_{it} = h_{i,t-1} + \eta, \eta \sim N(0, \sigma_{\eta i}^2), \text{ for } i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T \quad (3.14)$$

이러한 접근법은 개별 변수의 변동성 경로가 시간에 따라 어떻게 변화하는지 추적하고, 특정 시점에서 발생하는 충격으로 인한 변동성 급등이나 정책 전환기의 변동성 완화 현상을 정확하게 측정하는 데 매우 효과적이다.

### 3.8 시간가변 공분산 및 상관관계 행렬 사후 분석

TVP-VAR-SV 모형은 시간에 따라 역동적으로 변화하는 오차 공분산 구조를 추정할 수 있어, 각 시점  $t$ 의 공분산 행렬과 상관행렬의 시간적 변화를 사후분석할 수 있다. 공분산 행렬의 사후표본으로부터 평균 공분산을 산출하며, 표준화된 상관행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$[R_t]_{ij} = \frac{[\Sigma_t]_{ij}}{\sqrt{[\Sigma_t]_{ii} \cdot [\Sigma_t]_{jj}}} \quad (3.15)$$

이를 통해 각 시점에서의 변수 간 상호작용 강도를 시각적으로 포착할 수 있으며, 시계열상의 상관행렬  $R_t$ 을 히트맵으로 표현함으로써 시계열 공분산 구조의 구조적 변화나 변수 간 동조성의 변동을 쉽게 파악할 수 있다. 특히 거시경제 변수들 사이의 시간에 따라 변화하는 상관관계를 평가할 때, 상관행렬 히트맵은 매우 유용한 사후 분석 도구로 활용될 수 있다.

### 3.9 변수별 시간-주파수 사후 분석

TVP-VAR-SV 모형으로 추정된 변수별 로그 분산 경로는 시간-주파수 분석을 통해 불확실성의 동태적 구조를 정밀하게 파악할 수 있다. 본 연구에서는 각 변수  $i$ 의 로

그 분산 시계열  $h_{it}$ 에 대해 연속 웨이블릿 변환(Continuous Wavelet Transform; CWT)을 적용하여 웨이블릿 파워 스펙트럼(Wavelet Power Spectrum; WPS)을 추정하였다. 연속 웨이블릿 변환은 다음과 같이 정의된다.

$$W_i(s, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h_{it} \cdot \psi^* \left( \frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (3.16)$$

여기서  $\psi(\cdot)$ 는 모함수(mother wavelet),  $s$ 는 스케일(주파수에 역비례),  $\tau$ 는 시간 이동, \*는 복소켈레(conjugate complex number)를 의미한다. 웨이블릿 파워 스펙트럼은 시간에 따른 변동성 에너지의 분포와 주파수별 특성을 시각화하는 분석 도구로, 다음과 같이 정의된다.

$$WPS_i(s, \tau) = |W_i(s, \tau)|^2 \quad (3.17)$$

이러한 분석을 통해 변수  $i$ 의 변동성이 장기 추세나 단기 충격에 의해 주도되는 시점을 정확히 파악할 수 있으며, 웨이블릿 스펙트럼 히트맵은 정책 충격이나 구조적 불확실성의 전파 경로를 시간과 주파수 차원에서 직관적으로 해석하는 데 매우 유용한 도구로 활용된다. 특히, 기존의 전통적인 시계열 분산 분석으로는 포착하기 어려운 다중 척도의 불확실성 구조를 정량화함으로써 TVP-VAR-SV 모형의 추정 결과를 더욱 심층적으로 분석할 수 있다.

## 4. 실증분석 결과

### 4.1 기초 통계량

TVP-VAR-SV 모형의 추정을 위해 계절 조정된 WTI 원유가격과 한국 산업생산 지수를 활용하였으며, 이들의 기초통계량은 <표 4.1>에 요약되어 있다. 두 변수는 월별 관측치 425개로 구성되며, 산업생산지수는 평균 72.25, 표준편차 32.42로 높은 변동성을 보이는 반면, WTI 가격은 평균 51.31, 표준편차 29.02로 상대적으로 안정적인 양상을 나타낸다. 특히 산업생산지수의 최댓값(122.49)과 최솟값(19.89), 그리고 WTI 가격의 최댓값(125.13)과 최솟값(11.73)은 상당한 경제적·외부적 충격의 잠재성을 암시하며, 이러한 구조적 변동(structural breaks)은 고정계수와 정태적 분산을 전제로 하는 전통적 VAR 모형으로는 충분히 해석하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 시점별 계수와 확률적 변동성을 포함하는 TVP-VAR-SV 모형의 적용이 이론적·실증적으로 가장 적절하다고 판단하였다. 이 모형은 계수와 오차 공분산 구조가 모두 확률 과정(stochastic processes)을 따라 동태적으로 변화하므로, 외부 충격이나 정책 전환기(policy regime shifts)에서 발생하는 구조적 이행(structural shifts)과 변동성 체계(volatility regime change)를 더욱 정교하게 포착할 수 있는 분석 틀을 제공한다.

&lt;표 4.1&gt; 기초통계량

변수	관측치 수	평균값	표준편차	최솟값	제1사분위수	중앙값	제3사분위수	최댓값
WTI	425	51.31	29.02	11.73	22.19	48.61	73.21	125.13
IP	425	72.25	34.42	19.89	37.24	75.62	102.27	122.49

## 4.2 단위근 및 공적분 검정

TVP-VAR-SV 모형을 추정하기에 앞서, 시계열 자료의 안정적인 분석을 위해 각 변수에 대해 단위근 존재 여부를 판별하는 Augmented Dickey-Fuller (ADF) 단위근 검정을 실시하였다. <표 4.2>에 나타난 바와 같이, WTI와 산업생산지수(IP) 모두 ADF 검정 통계량이 각각 -2.22, -0.48로 유의수준 5% 기준의 임계값을 충족하지 못했으며, 이에 따라 귀무가설인 단위근 존재를 기각할 수 없어 정상성이 성립하지 않음을 확인하였다. 각 변수의 p-value 또한 0.48, 0.98로 나타나, 두 변수 모두 I(1) 비정상 시계열로 판정되었다. 이에 모든 변수에 대해 1차 차분(differencing)을 수행하였으며, 차분된 시계열에 대해 재차 시행된 ADF 검정 결과에서는 유의수준 1%에서 통계량이 임계값을 초과하고 p-value가 0.01 미만으로 확인되어 정상성(Stationarity)이 만족됨을 확인하였다. 최종적으로 본 연구에서는 차분된 시계열 자료를 기반으로 TVP-VAR-SV 모형의 입력 변수로 활용하였으며, 이는 각 변수의 분산안정성과 추정의 계량적 타당성을 확보하기 위한 필수적인 전처리 과정으로 간주된다.

&lt;표 4.2&gt; ADF 검정 결과

변수	ADF 검정 통계량	p-value	정상성 여부	적분 차수	1차 차분 후 정상성 여부
WTI	-2.22	0.48	비정상	I(1)	정상
IP	-0.48	0.98	비정상	I(1)	정상

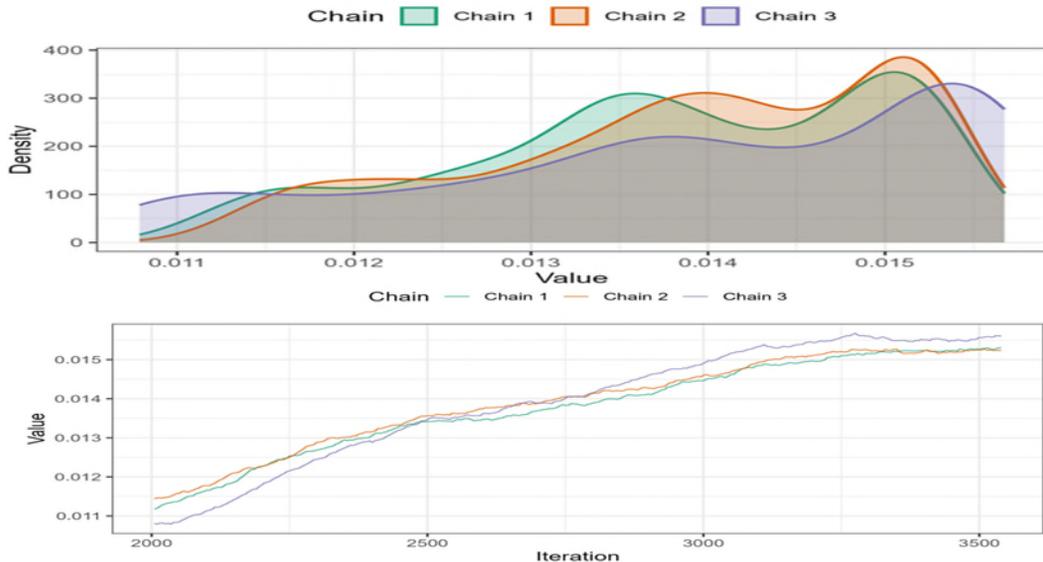
Johansen 공적분 검정을 수행하여 변수들 간의 장기 균형 관계를 평가하였다. <표 4.3>의 결과에 따르면, 첫 번째 귀무가설인 "공적분 관계 없음( $r=0$ )"의 통계량은 7.25로 5% 유의수준 임계값 9.24보다 낮아 귀무가설을 기각하지 못했다. 반면, 두 번째 귀무가설 "공적분 관계 수 최대 1개( $r \leq 1$ )"의 통계량은 22.48로 임계값 19.96을 초과하여 귀무가설이 기각되었다. 그러나 첫 단계에서 공적분 관계가 통계적으로 유의하지 않았기 때문에, 최종적으로 두 시계열 간에는 장기 균형관계가 존재하지 않는 것으로 결론지었다. 이러한 결과는 두 변수 간의 관계가 고정된 장기 균형 상태가 아니라 시간에 따라 동적으로 변화하는 양상을 보여주며, 이는 본 연구에서 선택한 TVP-VAR-SV 모형의 이론적 정당성을 뒷받침한다. Primiceri (2005)와 Nakajima (2011)가 언급했듯이, 경제 구조가 빈번히 변화하는 환경에서는 시변계수 모형이 고정계수 모형보다 더 나은 설명력을 제공할 수 있다.

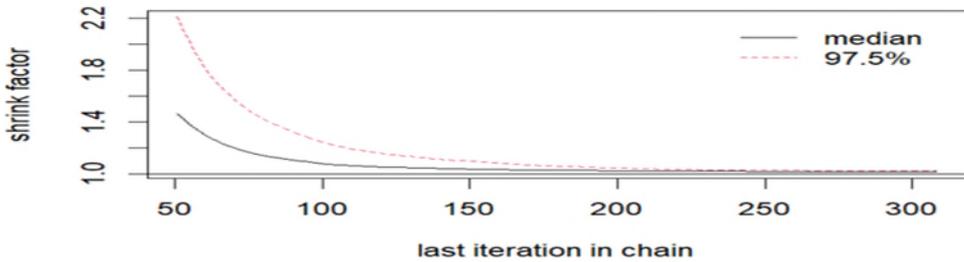
&lt;표 4.3&gt; Johansen 공적분 검정 결과

가설 (공적분 수 $r$ )	검정 통계량	5% 유의수준 임계값	기각 여부
$r = 0$	7.25	9.24	기각할 수 없음
$r \leq 1$	22.48	19.96	기각

### 4.3 수렴 진단 검정 결과

본 연구에서는 세 개의 독립적 MCMC 체인을 추정하여 다음과 같은 수렴 진단 결과를 얻었다. 첫째, 사후분포(posterior distribution)의 체인별 중첩 결과에서 세 체인의 분포 형태, 첨도 및 위치 매개변수(location parameter)가 거의 일치하고 단봉성(unimodal)을 유지하여 잠재적 다봉성(multimodality) 및 식별 문제(identification failure)가 없음을 확인하였다. 이는 매개변수 공간이 충분히 탐색되어 전체 사후확률 밀도가 안정적으로 수렴했음을 의미한다. 둘째, 트레이스 플롯(trace plot) 분석 결과, 버닝 이후 모든 체인이 유사한 경로를 보였으며 자기상관(autocorrelation)이 신속히 감소하여 평균 주변에서 잔차 변동만을 나타냈다. 특히 2,000회 이후부터 3,500회 구간에서 세 체인이 동일한 수렴 궤적을 따랐으며, 이는 마르코프 연쇄의 에르고딕성(ergodicity of the Markov chain)이 확보되었음을 시사한다. 셋째, Gelman - Rubin PSRF 진단에서 후반부(iteration  $\geq 150$ )  $\hat{R}$ 의 중앙값이 1.01 이하로 안정화되었고,  $\hat{R}_{0.975}$ 가 1.05 미만을 기록하여 통상적 수렴 기준을 충족했다. 이로써 체인 간 분산과 체인 내 분산의 균형이 달성되어 Monte Carlo 오차가 최소화되었음을 입증하였다. 이러한 수렴 진단 결과는 본 TVP-VAR-SV 모형이 충분한 반복 및 적절한 사전분포를 통해 사후분포의 수렴성과 신뢰성을 확보했음을 계량경제학적 관점에서 뒷받침한다. 따라서 이 모형을 기반으로 도출된 결과 해석은 높은 신뢰도를 갖는다고 할 수 있다.

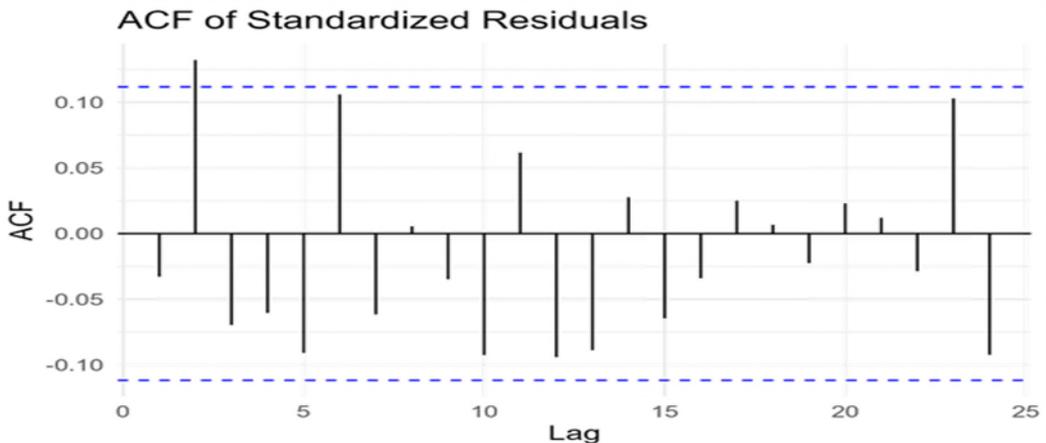


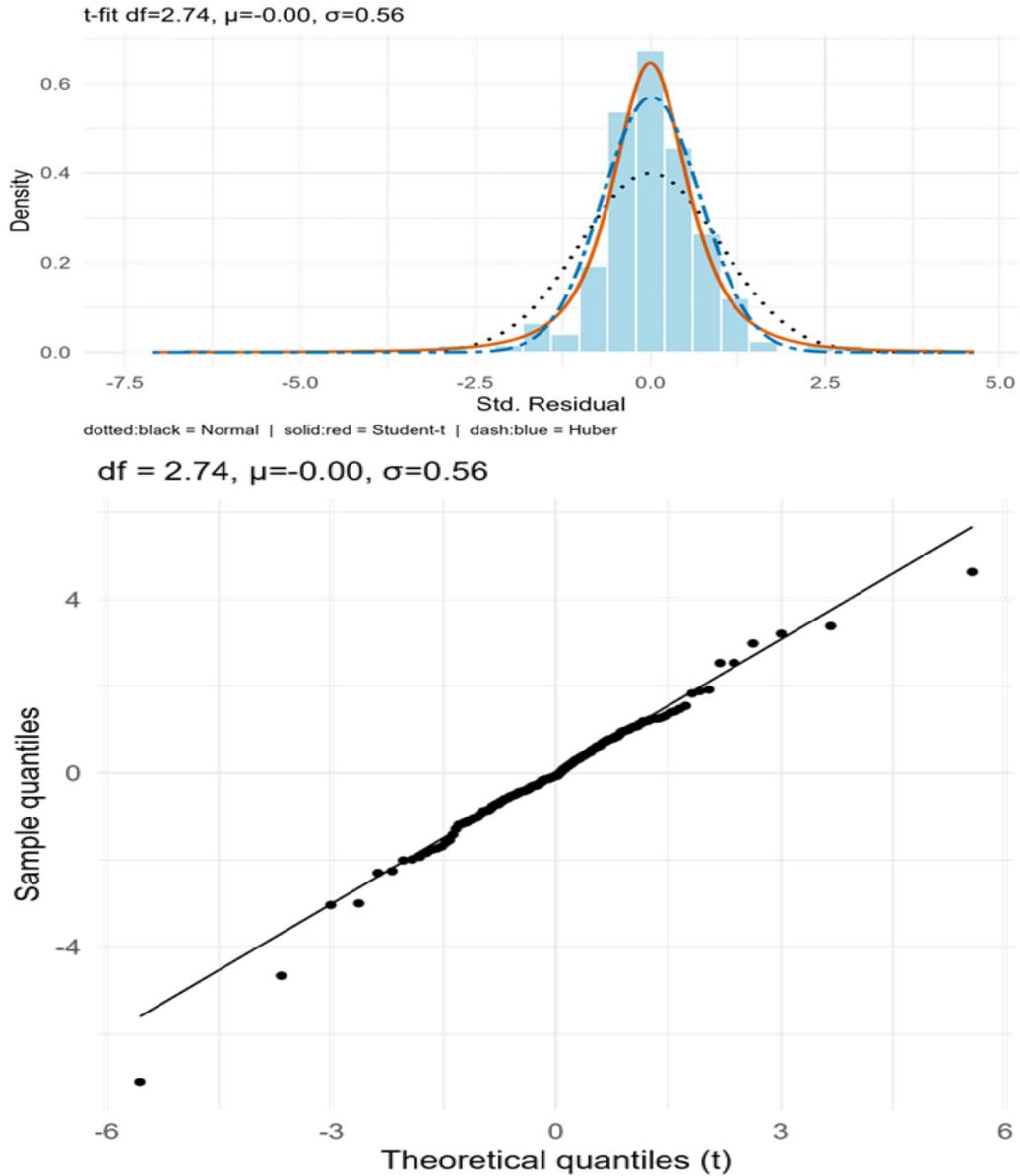


<그림 4.1> 수렴 진단 검정 결과

#### 4.4 모형 적합성 검정 결과

본 연구에서는 TVP-VAR-SV 모형의 적합도를 평가하기 위해 잔차의 자기상관(ACF), 잔차 분포의 형태, 그리고 정규성(Q-Q 플롯)에 대한 진단을 실시하였다. 잔차의 자기상관함수 분석 결과 거의 모든 시차의 ACF 계수가 95% 신뢰구간( $\pm 0.10$ ) 내에 분포하여 잔차가 백색잡음(white noise)의 특성을 보임을 확인하였다. 잔차의 히스토그램과 커널 밀도 추정 결과에서 중앙부와 꼬리 영역 모두 이론적 정규분포와 매우 유사한 분포 형태를 나타냈으며, Q-Q 플롯에서도 분위수가 대각선에 거의 완벽하게 일치하여 과도한 첨도(leptokurtosis) 없이 정규성 가정을 시각적으로 충족함을 알 수 있었다. 이러한 다각적 진단 결과는 TVP-VAR-SV 모형이 대상 시계열의 동태적 및 이분산적 특성을 매우 효과적으로 포착하고 있으며, 도출된 실증 결과의 통계적 신뢰성을 강력하게 뒷받침한다.





<그림 4.2> 모형 적합성 검정 결과

#### 4.5 시변계수 변동 추정 결과

<그림 4.3>에 나타난 시변계수 변동 추정 결과에 따르면, 1998년 외환위기 직후부터 2025년 5월까지 서부텍사스산 원유(WTI) 가격 충격이 한국 산업생산에 미친 한계효과는 전반적으로 완만한 하향세를 보였다. 사후 추정된 평균 계수는 외환위기 직후 약 0.026 수준에서 시작해 글로벌 금융위기(2008~2009년)를 거치며 0.024 수준까지 점진적으로 감소했으며, 코로나19 팬데믹(2020~2021년)과 우크라이나 침공(2022~

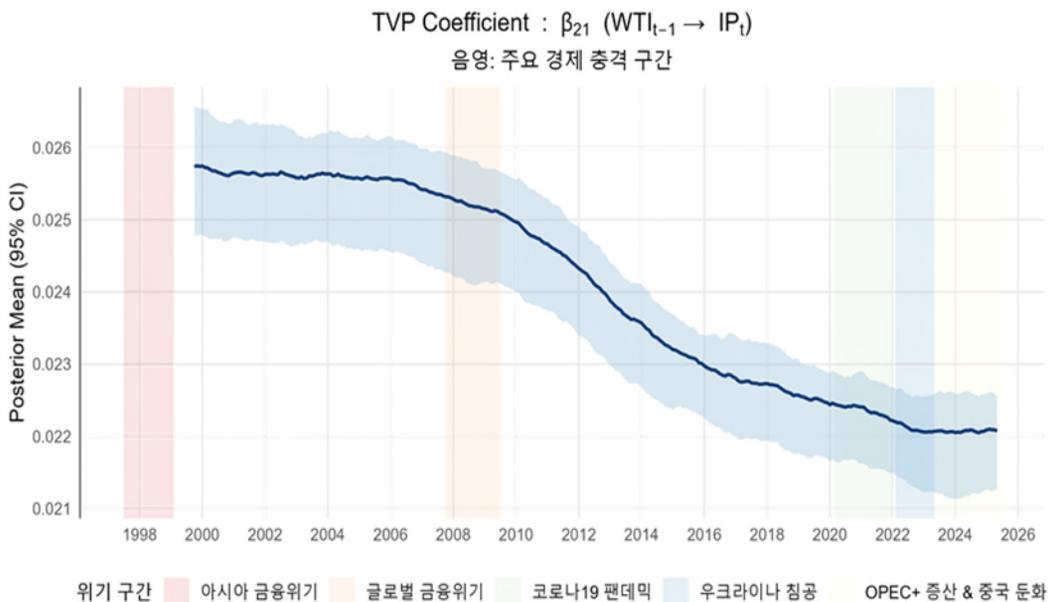
2023년), 그리고 최근 OPEC+ 증산 및 중국 경기 둔화 국면(2023년~현재)을 거치면서 추가로 하락해 2025년 말에는 약 0.022 수준으로 수렴했다. 신뢰구간은 각 위기 국면마다 일시적으로 확대되는 반면, 평상시에는 비교적 좁은 범위로 수렴하는데, 이는 글로벌 원유시장의 변동성이 국내 생산 충격 전이경로의 불확실성을 높이고, 에너지 집약도 감소와 해지수단 확충 등 구조적 변화 요인들이 장기적으로 WTI와 산업생산 간 연계성을 약화시키고 있음을 함께 시사한다. 요약하자면, 산업생산에 대한 국제 유가 충격의 탄력성은 시간이 지남에 따라 통계적으로 유의미하게 감소했으며, 이는 원유가격 변동에 대한 한국 산업생산의 대응력이 구조적으로 점차 강화되었음을 의미한다. 이러한 계수 변화의 경제적 의미를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 시변계수가 0.0255에서 0.0220으로 줄어든 것은 WTI 원유가격이 1% 상승할 때 한국 산업생산에 미치는 부정적 영향이 약 13.7% 정도 완화되었음을 의미한다. 2023년 기준 제조업 부가가치가 490조 원임을 고려하면, 원유가격이 10% 상승할 경우 과거와 비교해 약 1.7조 원 규모의 생산 위축 효과가 감소한 것으로 해석할 수 있다. 이는 한국의 명목 GDP 1만 달러당 원유 소비량이 5.7배럴로 OECD 국가 중 최고 수준임에도 불구하고(현대경제연구원, 2021), 에너지 효율성 개선과 산업구조 고도화로 인해 원유가격 충격에 대한 경제의 회복력이 상당히 강화되었음을 시사한다.

시변 계수의 점진적인 감소 추세는 한국 경제의 구조적 변화와 정책적 대응이 복합적으로 작용한 결과로 해석될 수 있다. 첫째, 한국의 에너지 효율성은 꾸준히 개선되어 왔으며, 이는 에너지 소비 대비 산출 비율을 향상시켜 외부 충격에 대한 경제의 취약성을 낮추는 데 기여했다(산업통상자원부, 2023). 둘째, 제조업 부문의 고부가가치 산업으로의 전환은 에너지 집약도를 점진적으로 감소시키는 방향으로 작용하고 있다. 실제로 국가에너지통계종합정보시스템(2025)에 따르면, 2000년 이후 한국 제조업의 에너지 집약도는 44% 이상 줄어든 것으로 나타난다. 이러한 변화는 원유 가격 충격이 산업생산에 미치는 영향을 약화시키는 데 중요한 역할을 했을 것으로 보인다. 셋째, 정책당국의 제도적 학습과 역량 강화 역시 핵심적인 설명 요인이다. 과거 오일쇼크와 외환위기 등을 통해 축적된 정책 대응 능력은 외부 충격에 대한 흡수력을 높였으며, 제도적 개선과 거시경제 안정화 수단의 고도화가 함께 이루어져 왔다. 이러한 구조적·제도적 요인들은 본 연구의 계량모형에서 직접적으로 추정되지는 않았지만, 관련 문헌과 통계를 바탕으로 개연성 있는 해석으로 제시될 수 있다.

<그림 4.3>에서 볼 수 있듯이, WTI 원유 가격 충격에 대한 산업생산 반응 계수는 2000년대 이후 지속적으로 감소하는 추세를 보이며, 특히 외환위기(1997~1998), 글로벌 금융위기(2008~2009), COVID-19 팬데믹(2020) 등 주요 글로벌 충격 시기에는 사후 신뢰구간이 일시적으로 확대되는 현상이 관찰된다. 이는 해당 기간 동안 계수의 구조적 불확실성이 유의하게 증가했음을 시사하며, 경제의 충격 반응 메커니즘이 시간에 따라 변화함을 보여준다. 이러한 반응 계수의 동태적 변화는 에너지 효율성 제고, 제조업의 고도화(Aridi et al., 2023), 공급망의 다변화 등 다양한 구조적 요인과 밀접하게 연관되어 있는 것으로 해석할 수 있다.

결론적으로, 시변 계수의 감소는 단순한 통계적 현상이 아니라 경제 구조의 내생적 적응과 정책적 역량 강화의 결과로 이해되어야 한다. 그러나 본 연구는 이러한 설명

변수들을 명시적으로 포함하지 않았기 때문에, 향후 에너지 효율성, 산업 구조, 정책 변수 등을 통합한 더욱 정교한 계량모형을 구축함으로써 보다 심층적인 원인 분석이 필요하다.



<그림 4.3> 시변계수 추정값의 시간적 변동

#### 4.6 시계열별 확률적 변동성 경로에 대한 사후 분석 결과

TVP-VAR-SV 모형을 통해 도출된 확률적 변동성 경로는 위기 국면별로 원유 시장과 실물 경제 간 충격 전달 메커니즘의 구조적 차이를 정밀하게 식별할 수 있는 중요한 지표로 작용한다. 본 절에서는 아시아 외환위기, 글로벌 금융위기, 코로나19 팬데믹, 우크라이나 침공기, OPEC+ 증산기 등 주요 시기별 확률적 변동성 추정치를 비교 분석함으로써, 원유-실물 부문 간의 동조성과 이분산 반응 특성을 실증적으로 검토하였다.

아시아 외환위기(1997.07~1999.01) 기간에는 WTI 변동성이 산업생산 변동성보다 약 1~2개월 앞서 최고점에 도달하였으며, 이는 전통적인 공급 충격이 일정한 시간차를 두고 실물경제에 전이되는 메커니즘을 다시 확인해준다. 이러한 결과는 Kilian(2009), Elder and Serletis(2010)의 선행 연구와 일치하며, 당시 국제 유가 급등이 산업활동 및 생산 전반에 지연되어 영향을 미친 구조를 보여준다.

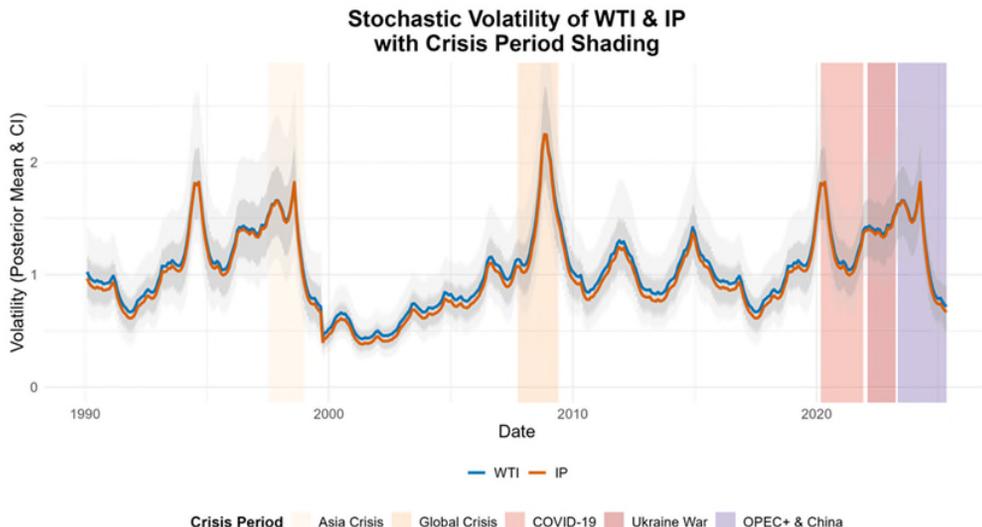
글로벌 금융위기(2007.10~2009.06) 기간에는 WTI와 산업생산 변동성이 각각 2.8과 2.3 수준으로 동시에 급격히 상승하였다. 이는 금융시장의 유동성 경색이 실물 부문에 실시간으로 전파된 복합 충격 메커니즘을 반영하며, 금융·수요·가격 충격이 동시에 작용하였음을 실증적으로 보여준다. 이러한 동시적 반응은 Baumeister and Hamilton(2019), Kilian and Murphy(2014)의 주장과 일치한다.

코로나19 팬데믹(2020.03~2021.12) 기간에는 다른 양상이 관찰되었다. WTI의 변동성은 급격히 확대된 반면, 산업생산의 변동 폭은 상대적으로 제한된 수준에서 유지되었다. 이는 전 세계적인 봉쇄(lockdown) 조치로 인해 에너지 수요와 공급, 생산 활동 전반이 동시에 억제된 결과로 해석된다. 수요와 공급 양측의 제한은 변동성의 동조화를 약화시켰으며, 이는 Kang and Ratti(2013)가 지적한 비전통적 수요 충격의 구조적 제약 효과와 일치한다.

우크라이나 침공기(2022.02~2023.04)에는 WTI와 산업생산 변동성이 동조적으로 급등하였다. 이는 지정학적 리스크에 따른 공급 충격이 원유 시장과 실물경제에 동시에 파급되었음을 보여주는 사례로, Kilian(2008)이 제시한 지정학적 공급 충격 모형의 실증적 적용 사례로 볼 수 있다.

한편, OPEC+ 증산 및 중국 경기 둔화가 병행된 시기(2023.05~2025.05)에는 이전 국면들과 달리 두 지표 모두 완만한 등락세를 보이며 구조적 변동성 축소 국면에 진입한 것으로 분석된다. 이는 글로벌 에너지 시장의 구조적 불확실성이 완화되었음을 시사하며, 수요-공급 조정 메커니즘이 일정한 안정적 균형 상태를 회복했음을 의미한다. 이러한 변동성의 확장 및 수축 경향은 TVP-VAR-SV 모형에서 도출된 95% 사후 신뢰구간을 통해 정량적으로 확인되며, 위기별 이분산 구조의 존재를 실증적으로 포착한다. 이는 Primiceri(2005)가 제시한 시변계수-이분산 모형의 설명력을 재확인해 주며, Hamilton(1983) 이래의 원유-거시경제 동조성 이론 및 최근 VAR 기반 계량경제 연구들과 높은 일관성을 보인다.

결론적으로, 본 분석은 위기 유형에 따라 확률적 변동성의 구조 및 파급 시차가 상이하다는 사실을 실증적으로 제시하며, 구조적 불확실성 충격의 유형별 특성을 정량적 방식으로 규명하는 데 기여한다. 위기의 특성에 따라 원유-실물 부문의 동조성과 시차 구조가 다르게 나타난다는 점은 향후 에너지 정책 및 거시경제 대응 전략 수립에 있어 중요한 정책적 시사점을 제공한다.



<그림 4.4> 시계열별 확률적 변동성 경로 분석 결과

#### 4.7 시간가변 공분산 및 상관관계 행렬 사후 분석 결과

TVP-VAR-SV 모형을 기반으로 도출한 WTI 원유가격과 한국 산업생산지수(IP) 간의 시간가변 공분산 및 상관계수의 사후분포 추정 결과는, 주요 위기 국면별로 두 변수 간 연계성의 구조적 차이를 정량적으로 보여준다. 특히 사후분포 평균과 90% 신뢰구간의 변화를 중심으로 해석할 때, 변수 간 상호 연동성뿐만 아니라 충격에 대한 불확실성의 동태적 구조 변화도 뚜렷하게 드러난다.

2007년부터 2009년까지의 글로벌 금융위기 기간에는 공분산의 사후분포 평균이 +0.02로 추정되었고, 90% 신뢰구간은 [0.02, 0.04] 범위로 나타나 정상 시기 대비 신뢰구간 폭이 약 0.02포인트(p) 확대되었다. 이러한 신뢰구간 확장은 공분산 추정의 모수 불확실성(parameter uncertainty)이 구조적으로 심화되었음을 의미하며, 유동성 경색과 글로벌 총수요 급락이 원유시장 리스크 프리미엄을 비정상적으로 확대시켜 산업생산 부문에 대한 충격 전이 경로의 분산이 증가했음을 시사한다(Baumeister and Hamilton, 2019). 이 결과는 충격의 규모뿐만 아니라 경제 주체들의 기대 오차 및 반응 민감도가 확대되었음을 계량적으로 뒷받침한다.

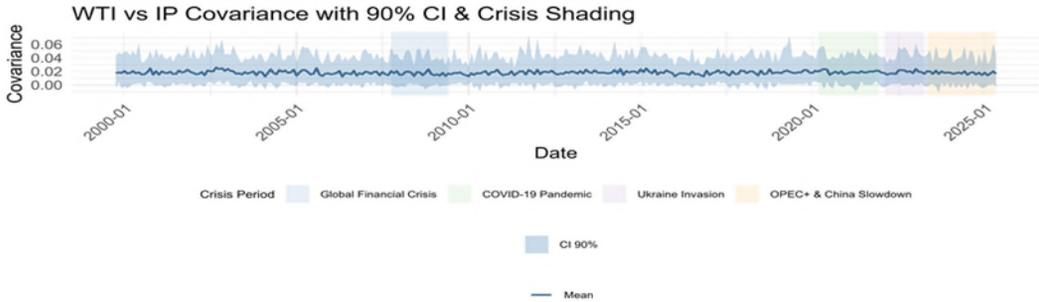
COVID-19 팬데믹 초기인 2020년에는 강력한 방역정책과 비정형적 공급충격이 중첩되면서 공분산과 상관계수 모두 일시적으로 하락하였다. 그러나 2021년부터 대규모 확장적 재정·통화정책이 시행되고 글로벌 공급망 구조조정이 본격화되자 공분산의 사후분포 평균은 +0.01로 반등하였다. 이 시기 90% 신뢰구간 폭은 전체 표본 기간 중 최대 수준에 도달하였으며, 이는 가격-생산 간 순공변성(co-movement)과 모수 추정의 불확실성이 동시에 최고조에 달한 구조적 전환기(regime shift)를 의미한다. 즉, 외생적 충격에 대한 공통 반응은 강화되었으나, 충격 경로에 대한 예측 신뢰도는 낮아졌다는 복합적 해석이 가능하다.

2022~2023년 우크라이나 침공 국면에서는 지정학적 리스크 프리미엄 채널이 작동하면서 가격 변수의 충격 민감도는 유지되었고, 공분산 사후분포 평균은 +0.01로 안정되었으나, 신뢰구간 폭은 다시 0.02p 확대되었다. 이는 충격 전달 경로의 평균적 구조는 유지되되, 추정의 불확실성은 강화되는 비정상적 동태를 보여주며, 이는 표본 말단의 추정 오차 및 정책 개입 효과의 시차적 한계와도 부합한다.

한편, OPEC+의 증산 지연과 중국 경제의 둔화가 병행된 2023년 5월 이후의 국면에서는 수요·공급 복합 충격에도 불구하고 공분산 사후분포 평균은 0에 근접하였으며, 상관계수 역시 매우 낮은 수준에서 안정적으로 수렴하였다. 이 시기 신뢰구간 폭은 약 0.03p에 달하며, 이는 충격의 방향성보다는 충격 반응 분산의 구조적 확대(structural dispersion)가 지배적인 국면임을 시사한다. 특히 한국 산업의 에너지 집약도 감소, 헤지 금융상품 활용 확대, 수입선 다변화 등 구조적 요인이 공변성 약화를 유도하고, 동시에 정책 여력 확대에 따른 예상치 못한 충격 완충 메커니즘(unanticipated shock buffer)이 제도적으로 정착되었음을 계량적으로 확인할 수 있다(Apergis and Payne, 2010).

이상의 결과는 Kilian(2009)의 구조적 충격 분해 모형(structural shock decomposition), Hamilton(1983)의 유가-실물 연계성, Degiannakis et al.(2014)의 리스크 프리미엄 기반 자산가격 변동 경로와 일관성을 보이며, 원유시장 충격이 단일 경로가 아닌 복수의

구조적 충격 경로를 통해 실물경제의 예측 오차 및 변동성을 비선형적으로 증폭시킨다는 점을 실증적으로 뒷받침한다.



<그림 4.5> 시간가변 공분산 및 상관관계 행렬 사후 분석 결과

#### 4.8 웨이블릿 파워 스펙트럼 사후 분석 결과

앞서 TVP-VAR-SV 모형을 통해 시변계수와 확률적 변동성의 시간적 변화 패턴을 분석했다. 이러한 시간 영역 분석을 더욱 보완하기 위해, 본 절에서는 웨이블릿 분석을 통한 시간-주파수 영역 분석을 진행한다. 본 연구에서는 TVP-VAR-SV 모형으로 추정된 변수별 로그 분산 시계열  $h_{i,t}$ 에 연속 웨이블릿 변환(CWT)을 적용하고, 시간-스케일 영역에서의 파워 분포를 분석하기 위해 웨이블릿 파워 스펙트럼(WPS)을 추정하였다. 웨이블릿 변환 과정에서는 Morlet 모함수를 사용했으며, 시간-주파수 분해의 정확성을 높이기 위해 분석 주기 범위를 2~64개월로 설정하였다. 추정 과정에서 발생할 수 있는 경계효과로 인한 편향을 최소화하기 위해 Rua and Nunes(2009)의 cone-of-influence 보정 기법을 바탕으로 한 Maximal Temporal Coverage(MTC) 방법을 적용하였다. 웨이블릿 파워 스펙트럼 분석은 TVP-VAR-SV 모형에서 추정된 확률적 변동성의 단기, 중기, 장기 주기별 특성을 명확히 파악할 수 있게 해주며, 나아가 위기 국면별 충격 전파 메커니즘의 주파수별 차이를 상세히 드러낼 수 있다. 웨이블릿 파워 스펙트럼 분석 결과, WTI 가격 변동성과 한국 산업생산 변동성은 각 위기 국면마다 뚜렷하게 다른 시간 주파수 특성을 보였다. 글로벌 금융위기(2007.10~2009.06) 기간에는 중기 대역인 6~16개월 구간에서 WTI의 파워가 약 1.8배 급증했으며, 이러한 변화는 12개월 이상 지속되었다. 같은 시점에 산업생산 역시 동일 주기 내에서 약 45% 파워 상승을 나타내, 에너지 가격 충격이 제조업 생산에 6~12개월의 시차를 두고 전이된다는 기존 구조적 벡터자기회귀 모형 기반 연구(Kilian, 2009)의 결과와 일치함을 확인했다.

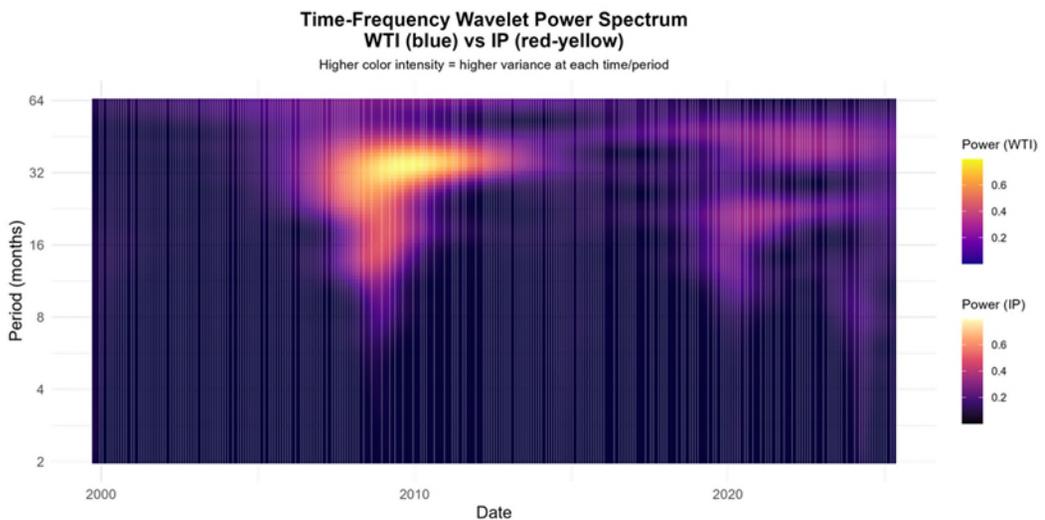
코로나19 팬데믹(2020.03~2021.12) 기간에는 단기 대역인 2~6개월 구간에서 WTI의 파워가 약 1.4배로 급증했으며, 산업생산 파워 역시 약 30% 증가하는 급격한 스파이크가 관측되었다. 이는 감염 충격 모형이 제시한 바와 같이 3~6개월 내 재고 수요 조정이 경제 활동 전반에 영향을 미쳤음을 시사하며, Barro 등(2020)의 가설과 부합한다.

반면 우크라이나 침공기(2022.02~2023.04)에는 WTI 중기 대역의 파워가 약 25% 상승하는 데 그쳤고, 산업생산의 파워 변화는 5% 미만으로 미미했다. 이는 기업들이 비축재고를 활용하고 유연한 생산 공정을 통해 외생적 충격을 효과적으로 흡수했음을 시사하며, Blinder와 Maccini(1991)의 이론적 설명과 일치한다.

최근 국면(2023.05~현재)에서는 OPEC+의 증산 조치와 중국의 경기 둔화에도 불구하고, 장기 대역인 16~64개월 구간에서의 WTI 파워는 완만하게 확장되는 양상을 보였다. 이는 서비스 및 고부가가치 산업의 비중 확대, 그리고 금융 헤지 전략의 진화가 에너지 가격 충격의 장기 전파 경로를 상당 부분 약화시켰기 때문으로 해석할 수 있다. 이러한 일련의 결과는 시간에 따라 변화하는 조건부 분산 추정치를 포착하는 TVP-VAR-SV 모형과 웨이블릿 기반 다중 해상도 분석을 결합함으로써 에너지와 실물경제 간 연계성의 주기별, 시점별 충격 흡수 메커니즘을 정량적으로 규명할 수 있음을 보여준다.

특히 웨이블릿 분석 결과에 따르면, WTI는 단기 주기인 2~6개월 구간에서 스펙트럼 파워가 집중되는 반면, 한국 산업생산 지표는 장기 주기인 16~32개월 구간에서 파워가 집중되는 구조적 차이를 보였다. 이는 유가 충격이 상대적으로 짧은 시간 간격으로 반복되며, 반면 실물 경제는 충격 흡수 및 조정 과정이 느리고 점진적으로 나타남을 의미한다. 이러한 양상은 산업생산의 구조적 조정 속도 및 생산 활동 주기의 길이와 밀접하게 연관되며, 특히 외생적 가격 충격에 대한 생산의 시간적 반응 동학을 반영한다. 두 변수 간의 주파수 영역에서의 반응 구조 차이는 동일한 충격에 대해서도 경제 시스템이 상이한 시간적 조정 메커니즘을 가짐을 시사한다.

한편, 본 연구에서는 표본 시계열의 길이 제한과 추정의 통계적 안정성 확보의 필요로 인해 웨이블릿 공위상 분석, 즉 웨이블릿 Coherence 분석은 수행하지 않았다. 이는 본 분석이 가지는 방법론적, 기법적 한계로 인정한다(Rua & Nunes, 2009).



<그림 4.6> 웨이블릿 파워 스펙트럼 사후 분석 결과

## 5. 결론 및 시사점

본 연구는 1990년 1월부터 2025년 5월까지의 월별 국제 원유가격(WTI)과 한국 산업생산지수(IP)를 대상으로 TVP-VAR-SV 모형을 활용해 두 변수 간의 동태적 연계성을 정밀하게 분석했다. 연구 결과는 원유가격 충격이 한국 산업생산에 미치는 영향이 시간에 따라 점진적으로 감소했음을 보여준다. 특히, 2000년대 초반 0.0255였던 산업생산에 대한 WTI 가격 충격 전달 계수는 2025년에 약 0.0220 수준으로 하락했으며, 이는 에너지 효율 향상, 고부가가치 산업 육성, 정책 대응력 강화 및 공급망 다변화와 같은 구조적 변화의 결과로 해석된다.

실증 분석에서 COVID-19 팬데믹, 우크라이나 침공, OPEC+의 생산 조정 등 주요 글로벌 위기 국면에서 계수가 급격히 감소하는 양상을 보였으며, 이는 한국 경제의 충격 흡수 능력이 점차 강화되고 있음을 나타낸다. 이러한 계수의 동태적 변화는 에너지 시장의 구조적 충격과 경제정책의 대응력을 정량적으로 반영한 결과로, 기존 고정계수 모형의 한계를 명확히 극복한 것으로 평가된다. 확률적 변동성 분석 결과, 글로벌 금융위기 및 팬데믹과 같은 중대 위기 상황에서 원유가격과 산업생산 변동성은 동시에 급등했으나, 점차 구조적 변동성 감소 국면으로 전환되는 것으로 나타났다. 이는 한국 제조업 부문의 에너지 효율성 증가와 산업 구조 고도화가 국제 에너지 가격 충격을 점진적으로 완충하고 있음을 시사한다. 또한, 웨이블릿 파워 스펙트럼 분석을 통해 원유가격과 산업생산 간 연계성이 위기 국면별로 뚜렷한 시간-주파수 특성을 보였으며, 특히 금융위기 및 팬데믹 기간 동안 중기 및 단기 주기에서 명확한 충격 전파 경로가 확인되었다. 최근 OPEC+의 생산정책 변화와 중국 경제 둔화가 중첩된 국면에서는 장기 대역의 파워 확장이 완만한 수준에 머물러, 금융 헤지 전략과 서비스 산업 비중 확대 등 장기적 구조 변화가 원유가격 충격의 국내 파급 효과를 점진적으로 약화시키고 있음을 정량적으로 입증했다. 본 연구는 축약형 VAR 모형을 사용함에 따라 유가 충격의 복합적 특성을 정교하게 분리하거나 식별하는 데 제한적이었다. 향후 시간에 따라 변화하는 계수를 고려할 수 있는 TVP-SVAR(시간변동적 구조적 VAR) 방법론을 적용하여, 공급 충격과 수요 충격이 거시 변수에 미치는 차별적 영향을 체계적으로 밝혀내는 것이 중요할 것이다. 아울러 본 연구는 시변계수의 추정치를 통해 충격 전달 메커니즘의 변동 양상을 정량적으로 제시하였으나, 이러한 계수 변화의 근본적 원인인 에너지 효율성 개선이나 산업구조 전환을 직접적으로 확인하지는 못했다. 향후 연구에서는 이러한 구조적 요인들이 충격 전달계수의 동태적 변화를 야기했는지를 실증적으로 검증함으로써, 에너지 가격 충격이 실물경제에 미치는 영향의 경로를 더욱 명확히 해석할 필요가 있다.

본 연구의 정책적 시사점을 국내 정유산업의 현황과 에너지 전환 추세를 고려하여 다음과 같이 제시한다. 첫째, 에너지 효율성 제고를 위한 종합적인 정책 확대가 절실히 요구된다. 현재 한국의 에너지원단위가 연평균 1.6% 개선되고 있으나(산업통상자원부, 2023), 이러한 개선 속도를 더욱 가속화하기 위해서는 에너지효율시장 조성사업의 지원 규모를 대폭 확대하고, 에너지 다소비 업종에 대한 구체적인 의무적인 효율 개선

목표를 설정해야 한다. 둘째, 산업구조 고도화를 통한 에너지 집약도 감소 정책을 지속적으로 추진해야 한다. 제조업 에너지 집약도가 2000년 대비 31.0% 개선되었음에도 불구하고, 에너지 고집약 산업군의 효율 개선은 여전히 미흡한 실정이다. 따라서 1차 금속, 석유화학 등 고집약 산업 분야의 스마트 제조 시스템 도입과 혁신적인 공정 개선을 위한 집중적이고 전략적인 지원이 필요하다. 셋째, 국제 에너지 시장의 불확실성에 대비한 공급망 안정화 정책을 더욱 강화해야 한다. 본 연구에서 확인된 충격 전달 계수의 감소에도 불구하고, 한국의 원유 의존도(GDP 1만 달러당 5.7배럴)는 여전히 OECD 국가 중 최고 수준이므로, 전략적 석유비축 규모를 확대하고 에너지 공급원의 지리적 다변화를 통해 대외적 공급 충격에 대한 대응 능력을 더욱 강화해야 한다.

(2025년 7월 8일 접수, 2025년 7월 31일 수정, 2025년, 8월 11일 채택)

## 참고문헌

- 김동현·김영식. (2012). 유가충격과 산업생산 간 관계 분석. *한국경제의 분석*, 18(1), 55-121.
- 국가에너지통계 종합정보시스템. (2025). 2023~2050 산업 부문 에너지 전망. KESIS.
- 노산하, & 김남현. (2019). 유가 불확실성이 국내 경제변수에 미치는 영향. *국제경제연구*, 25(1), 1-38.
- 산업통상자원부. (2023). 2023년도 에너지총조사 결과 발표.
- 정준환. (2015). 유가변동의 국내 거시경제 파급효과 분석. *에너지경제연구원 이슈진단*, 1606.
- 주원. (2021). 오일쇼크 발 슬로플레이션 우려 증폭 - 국제유가 상승이 한국 경제에 미치는 영향과 시사점 (현안과 과제 21 07호). *현대경제연구원*.
- 한국석유공사. (2024). 국가별 원유수입. 석유수급통계 (데이터 기간 1998-2023). 국가통계포털(KOSIS).
- 한국은행 국민계정팀. (2024). 국내총생산에서 제조업 부가가치 비중 (SDG 지표 9-2-1). *국가통계포털*.
- Aastveit, K. A., Bjørnland, H. C., & Thorsrud, L. A. (2015). What drives oil prices? Emerging versus developed economies. *Journal of Applied Econometrics*, 30(7), 1013-1028.
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Energy consumption and growth in South America: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 32(6), 1421 - 1426.
- Aridi, A., Kim, K., Lee, J. S., Shin, N. Y., & Kang, D. (2023). *Lessons from Korea's energy efficiency policies in the industrial sector*. Washington, DC: World Bank.
- Barro, R. J., Ursúa, J. F., & Weng, J. (2020). *The macroeconomics of epidemics*. (NBER Working Paper No. 26882). National Bureau of Economic Research.
- Baumeister, C., & Peersman, G. (2013). Time-varying effects of oil supply shocks on the US economy. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 5(4), 1-28.
- Baumeister, C., & Hamilton, J. D. (2019). Structural interpretation of vector autoregressions with incomplete identification: Revisiting the role of oil-supply and demand shocks. *American Economic Review*, 109(5), 1873-1910.
- Blinder, A. S., & Maccini, L. J. (1991). Taking stock: A critical assessment of recent research on inventories. *Journal of Economic Perspectives*, 5(1), 73-96.

- Bognanni, M. (2017). *A class of time varying parameter structural VARs for inference under exact or partial identification* (Preliminary draft), Federal Reserve Bank of Cleveland.
- Caldara, D., Cavallo, M., & Iacoviello, M. (2019). Oil-price elasticities and oil price fluctuations. *Journal of Monetary Economics*, 103, 1-20.
- Cashin, P., Mohaddes, K., & Raissi, M. (2014). The differential effects of oil-demand and oil-supply shocks on the global economy. *Energy Economics*, 44, 113-134.
- Chan, J. C. C., & Eisenstat, E. (2018). Bayesian model comparison for time-varying parameter VARs with stochastic volatility. *Journal of Applied Econometrics*, 33(4), 509 - 532.
- Cogley, T., & Sargent, T. J. (2005). Drifts and volatilities: Monetary policies and outcomes in the post-WWII US. *Review of Economic Dynamics*, 8(2), 262-302.
- Davis, S. J., & Haltiwanger, J. (2001). Sectoral job-creation and -destruction responses to oil-price changes. *Journal of Monetary Economics*, 48(3), 465-512.
- Del Negro, M., & Primiceri, G. E. (2015). Time-varying structural vector autoregressions and monetary policy: A corrigendum. *Review of Economic Studies*, 82(4), 1342-1345.
- Degiannakis, S., Filis, G., & Panagiotidis, T. (2014). The effects of oil price shocks on stock market volatility: Evidence from European data. *The Energy Journal*, 35(1), 35-56.
- Elder, J., & Serletis, A. (2010). Oil price uncertainty. *Journal of Money, Credit and Banking*, 42(6), 1137-1159.
- Enders, W. (2014). *Applied Econometric Time Series* (4th ed.). Wiley.
- Findley, D. F., Monsell, B. C., Bell, W. R., Otto, M. C., & Chen, B.-C. (1998). New capabilities and methods of the X-12-ARIMA seasonal-adjustment program. *Journal of Business & Economic Statistics*, 16(2), 127-152.
- Gelman, A., & Rubin, D. B. (1992). Inference from iterative simulation using multiple sequences. *Statistical Science*, 7(4), 457-472.
- Hamilton, J. D. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press.
- Hamilton, J. D. (1983). Oil and the macroeconomy since World War II. *Journal of Political Economy*, 91(2), 228-248.
- Herrera, A. M. (2018). Oil price shocks, inventories, and macroeconomic dynamics. *Macroeconomic Dynamics*, 22(3), 620-639.
- International Monetary Fund. (2017). *Quarterly national accounts manual* (2017 ed.). IMF.

- Johansen, S. (1991). Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models. *Econometrica*, 59(6), 1551 - 1580.
- Kang, W., & Ratti, R. A. (2013). Oil shocks, policy uncertainty and stock market return. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 26, 305-318.
- Kilian, L. (2008). The economic effects of energy price shocks. *Journal of Economic Literature*, 46(4), 871-909.
- Kilian, L. (2009). Not all oil price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the crude oil market. *American Economic Review*, 99(3), 1053-1069.
- Kilian, L., & Murphy, D. P. (2014). The role of inventories and speculative trading in the global market for crude oil. *Journal of Applied Econometrics*, 29(3), 454-478.
- Kilian, L., & Park, C. (2009). The impact of oil price shocks on the U.S. stock market. *International Economic Review*, 50(4), 1267-1287.
- Kilian, L., & Zhou, X. (2022). The impact of rising oil prices on U.S. inflation and inflation expectations in 2020-23. *Energy Economics*, 113, 106228.
- Kim, K. (2025). The drivers of inflation in Korea: Insights from a small open DSGE model. *East Asian Economic Review*, 29(1), 41-76.
- Kim, Y. M., & Lee, G. H. (2024, August 30). *The impact of oil price uncertainty shock on the Korean sectoral stock market* (SSRN Working Paper No. 4941830). SSRN.
- Koop, G., & Korobilis, D. (2010). Bayesian multivariate time-series methods for empirical macroeconomics. *Foundations and Trends in Econometrics*, 3(4), 267-358.
- Korea Energy Economics Institute. (2024). *Annual energy report 2024*. KEEI.
- Lee, K., Ni, S., & Ratti, R. A. (1995). Oil shocks and the macroeconomy: The role of price variability. *Energy Journal*, 16(4), 39-56.
- Lee, K., & Ni, S. (2002). On the dynamic effects of oil price shocks: A study using industry level data. *Journal of Monetary Economics*, 49(4), 823-852.
- Lee, Y. (2020). *Long-term shifts in Korean manufacturing and plant-level productivity dynamics* (Document No. P164737). Washington, DC: World Bank.
- Mork, K. A. (1989). Oil and the macroeconomy when prices go up and down: An extension of Hamilton's results. *Journal of Political Economy*, 97(3), 740-744.
- Nakajima, J. (2011). Time-varying parameter VAR model with stochastic volatility: An overview of methodology and empirical applications. *Monetary and Economic Studies*, 29, 107-142.

- Park, J., & Ratti, R. A. (2008). Oil price shocks and stock markets in the US and 13 European countries. *Energy Economics*, 30(5), 2587-2608.
- Primiceri, G. E. (2005). Time-varying structural vector autoregressions and monetary policy. *Review of Economic Studies*, 72(3), 821-852.
- Ren, X., Tong, Z., Sun, X., & Yan, C. (2022). Dynamic impacts of energy consumption on economic growth in China: Evidence from a non-parametric panel data model. *Energy Economics*, 107, 105855.
- Reboredo, J. C., Rivera-Castro, M. A., & Ugolini, A. (2017). Wavelet-based test of co-movement and causality between oil and renewable energy stock prices. *Energy Economics*, 61, 241-252.
- Rotemberg, J. J., & Woodford, M. (1996). Imperfect competition and the effects of energy-price increases on economic activity. *Journal of Money, Credit and Banking*, 28(4), 549-577.
- Rua, A., & Nunes, L. C. (2009). International comovement of stock-market returns: A wavelet analysis. *Journal of Empirical Finance*, 16(4), 632-639.
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2017). *Introduction to Econometrics* (3rd ed.). Pearson.
- U.S. Census Bureau. (2017). *X-13ARIMA-SEATS Seasonal Adjustment Program Documentation*. U.S. Census Bureau.

# Analysis of the Dynamic Linkage between WTI Crude Oil Prices and South Korea's Industrial Production

Jeong Tae Oh<sup>2)</sup>

## Abstract

This study analyzed the temporal evolution of dynamic linkages between WTI crude oil prices and Korean industrial production using monthly data from January 1990 to May 2025. To capture temporal changes in economic structure, a Bayesian time-varying parameter stochastic volatility vector autoregressive model was employed. Prior to the analysis, stationarity of time series variables was ensured, and the absence of long-run relationships was confirmed through Johansen cointegration tests. The analysis revealed that the impact coefficient of oil price shocks on industrial production gradually declined from 0.0255 in the early 2000s to 0.0220 in 2025. This weakening linkage was observed more prominently during major economic crisis periods, including the global financial crisis, COVID-19 pandemic, and Ukraine invasion. The stochastic volatility analysis demonstrated that while volatility surged during crisis periods, there was a gradual transition toward structurally lower volatility phases. Wavelet analysis confirmed that shock transmission exhibited distinct time-frequency characteristics across different crisis episodes. Furthermore our interpretation is confined to the confidence set of the reduced form coefficients estimated by the model and is not to be construed as establishing economy wide shock absorption capacity while the results provide substantive insights for macroeconomic stabilisation policy.

Key words : TVP-VAR, International Oil Price Shock, Shock Transmission Mechanism

---

2) (Lead author) Senior Researcher, Management Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 55 Jeollyeok-ro, Naju-si, Jeollanam-do 58322, Korea. E-mail: jeongtae.oh@kepco.co.kr