

글로벌 금속 가격과 환율 전가: 한국 자동차 및 트레일러 산업의 준장주기 동조와 선행성

오정태¹⁾

요약

본 연구는 한국 자동차 및 트레일러 산업의 비용 구조가 알루미늄 가격(달러 기준)과 원/달러 환율 변동에 어느 정도, 그리고 어떤 시기에 더 크게 영향을 받는지 월별 자료를 통해 평가하였다. 분석 결과, 해당 산업의 비용은 두 변수의 변동에 구조적으로 민감하게 반응하며, 그 영향의 강도와 시차는 경기 및 정책 환경 등 시장 조건에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났다. 이러한 민감도 증가는 수입 투입 비율이 높고, 환율 전가가 확대되며, 신용 및 유동성 여건이 악화되고, 글로벌 상품 가격 충격이 동시에 전이되는 데에서 기인한다. 준장주기 구간에서는 환율과 알루미늄 가격이 함께 움직이며, 환율이 일부 선행 신호를 제공하는 모습을 확인할 수 있다. 따라서 통화와 금속을 동시에 활용하는 이중 헤지 전략을 강화하는 것이 보다 합리적이며, 실무와 정책 측면에서는 지수 연동 조달, 공급선 다변화와 버퍼 재고 확보, 국면별 유동성 백스톱 마련, 그리고 계량 신호를 실제 대응으로 연결하는 조기 경보 및 대응 거버넌스의 구축이 비용 변동성을 흡수하는 데 효과적임을 본 연구는 제시한다.

주요용어 : TVP-VAR-SV, 알루미늄 가격, 환율 전가, 자동차 트레일러 생산지수

1. 서론

한국의 자동차·트레일러 산업은 녹색·디지털 전환의 가속화, 반도체 공급 제약, 에너지·원자재 가격 급등, 지정학적 불확실성이 중첩된 환경에서 대외가격(원자재·환율) 충격에 구조적으로 취약한 가치사슬을 형성하고 있다. OECD의 최근 정책연구는 이러한 전환이 기술, 조직, 거버넌스의 동시 재편을 수반하며, 산업 생태계 차원의 적응이 필요함을 강조한다(Dechezleprêtre 등, 2023). 특히 전기차의 확산과 경량화는 알루미늄 수요를 구조적으로 견인하고 있으며, 알루미늄의 차량 내 부품 적용 범위가 계속 확대되고 있다. 유럽과 북미를 대상으로 한 산업 보고서들은 차량당 알루미늄 함량이 향후 상당히 증가할 것으로 전망하며, 배터리 하우징과 e-드라이브 하우징 등 전기차 고유의 부품이 이러한 증가세를 주도할 것으로 분석하고 있다(Ducker Carlisle LLC, 2023; Ducker Holdings LLC, 2023). 제조업(자동차·트레일러) 측면에서, 완성차의 알루미늄 사용 비율은 이미 상당히 높아진 상태다. 북미 기준 2022년 평균 알루미늄 함량은 대당 501파운드(약 227kg), 전기차(BEV) 평균은 대당 885파운드(약 401kg)로 추정되며, 2030년에는 대당 556파운드까지 증가할 것으로 전망된다(Ducker Carlisle, 2023). 이처럼 부품, 차체, 배터리 하우징 등에 걸친 알루미늄 사용 확대는 조달 비용

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

변동이 자동차·트레일러 생산지수에 영향을 미칠 수 있는 구조적 경로를 강화한다(Ducker Carlisle, 2023).

이러한 조달 구조는 자동차·트레일러 생산의 직접적인 한계비용 변동을 초래한다. 산업연관표를 기준으로 자동차·트레일러 제조업은 비철금속(알루미늄 포함) 및 금속가공제품에 대한 중간투입 의존도가 높으며, 해당 중간재의 수입유발계수를 통해 환율과 원자재 가격 변동의 비용 경로가 뚜렷하게 작동한다. 한국의 최신 기준년(2020) 산업연관표 공표자료는 전산업의 중간투입률이 하락하는 추세 속에서도 제조업의 수입중간재 비용 민감도가 여전히 중요하다고 분석하며, 자동차 관련 산업이 생산유발 및 부가가치유발계수 측면에서 상위권에 속함을 시사한다(KDI/EIEC, 2024). 따라서 알루미늄 수입단가(국제가격×환율)의 변동은 완성차 차체·새시, 전동화 부품(배터리·e-드라이브 하우징 등) 라인의 원가 상승을 통해 생산탄력성, 가격전가 전략, 재고조달(헤징·선매입) 등 미시적 의사결정에 영향을 미친다(Dechezleprêtre 등, 2023; Ducker Carlisle LLC, 2023; Ducker Holdings LLC, 2023). 자동차·트레일러 제조업은 여전히 국내 수출, 부가가치, 고용의 핵심 축을 담당하고 있다. 최근 분기 통계에 따르면, 자동차 수출은 전체 수출의 약 11%를 차지하며 외화 획득에 중요한 역할을 수행했다(KITA, 2024). 생산 측면에서도 2024년 국내 자동차 총생산은 약 413만 대로 세계 7위 수준을 기록하며, 글로벌 수요와 관세 환경의 변화에도 불구하고 견고한 위상을 유지했다(KITA, 2025). 부가가치 구조를 살펴보면, 과거 데이터인 하나 제조업 내 자동차산업의 부가가치 비중이 두 자릿수를 차지했다는 점은 산업연쇄를 통한 GDP 기여도의 역사적 중요성을 보여준다(예: 2016년 제조업 부가가치 중 자동차산업 비중 약 11.2%) (KAMA, 2018).

거시적 관점에서 금속 가격 충격은 물가와 산출에 유의미한 상방 압력을 행사할 수 있다. 개방경제에서 환율은 수입투입물가와 생산자물가를 경유하는 비용 경로로 작동하며, 원자재 가격과 결합될 경우 전이 경로가 더욱 복잡해질 수 있다. 국내 실증 연구들은 환율의 전가율이 경제 국면과 시점에 따라 상이하게 나타남을 보고하고 있으며(이근영, 2009), 국제 연구들은 환율이 원자재 가격 예측에 중요한 기여를 할 수 있음을 제시한다(Chen, Rogoff, & Rossi, 2010). 팬데믹 이후 글로벌 원자재가격 급등기의 국내 파급 영향은 물가, 산업활동, 교역조건 측면에서 면밀한 점검이 요구된다(한국은행, 2021).

통관 통계를 기준으로 볼 때, 한국의 알루미늄 조달은 규모와 가격 측면 모두에서 높은 노출도를 보인다. 2024년 HS 76 알루미늄 및 그 제품의 수입액은 약 87.5억 달러에 달한다(OEC, 2025a). 원재료 범주인 HS 7601 알루미늄 원괴만 따로 보아도 약 40.6억 달러에 이른다(OEC, 2025b). 공급 측면에서 2023년 호주발 비합금 원괴 HS 760110의 대한국 수출 물량은 약 47.4만 톤이고 금액은 약 10.9억 달러다(WITS, 2023). 이 데이터를 바탕으로 계산된 암시적 단가는 톤당 약 2,300달러이며, 최근 런던 금속거래소(London Metal Exchange, LME) 현물 월평균 가격은 대체로 톤당 2,400에서 2,700달러 범위에 머물렀다. 2024년 하반기와 2025년 상반기의 평균은 약 2,500에서 2,600달러 수준이었다(Westmetall/LME, 2024 - 2025). 이러한 가격 흐름이 환율 변동과 결합되면 국내 수입단가의 변동폭은 더욱 커질 수 있다(Westmetall/LME, 2024 - 2025).

2018년 3월 8일, 미국은 1962년 무역확장법 232조에 근거하여 알루미늄 수입에 10%의 추가 관세를 부과했다(대통령 포고문 9704호). 이 조치 이후 2018년 5월 알루미늄 가격은 7년 만에 최고치를 기록했으며, 특히 미국 내 거래에서는 LME 현물 가격에 추가되는 '미드웨스트 프리미엄(Midwest Premium, MWP)'이 상승하면서 미국 내 가격(프리미엄 포함)과 글로벌(LME) 가격 간의 격차가 확대되었다(USITC, 2023). 다만, 같은 시기에 발표된 러시아 Rusal에 대한 제재(2018년 4월)도 이러한 변화에 영향을 미쳤음을 함께 고려해야 한다(USITC, 2023; US Proclamation 9704; USITC, 2023).

가격이 환율에 미치는 영향 경로에서, 교역조건 충격과 위험회피 심리의 변화가 원/달러 환율 변동성을 유발하며, 수입 가격에 환율 전가(pass-through)가 상당히 발생한다는 다수의 국제 실증 연구 결과가 존재한다(Campa & Goldberg, 2005 등). 따라서 한국과 같이 알루미늄 순수입 의존도가 높은 경제에서는 관세와 프리미엄의 변화 및 환율 변동이 결합될 경우, 수입 단가 상승이 국내 생산비용 증가로 이어질 가능성이 높다(Campa & Goldberg, 2005).

종합해보면, 자동차·트레일러 제조업은 수출, 고용, 부가가치의 세 가지 축을 통해 거시경제 순환의 진폭을 조절하는 전이 채널로 기능하며, 알루미늄 가격과 환율 충격의 복합적 변동성이 생산, 가격, 교역에 비선형적으로 영향을 미칠 수 있다(Chen, Rogoff, & Rossi, 2010; 한국은행, 2021). 요컨대, 한국의 자동차·트레일러 산업은 알루미늄(원재료)과 환율(가격지표)을 매개로 글로벌 충격의 영향을 받으며, 이는 비용구조, 가격 전가, 산출조정 등 다양한 경로로 나타난다. EV 전환과 경량화로 알루미늄의 중요성이 높아지는 상황에서, 알루미늄 수입량과 단가의 변동, 그리고 환율 간 상호작용을 분석하는 동태계량 프레임워크는 정책 및 전략 수립에 필수적인 분석 도구가 될 것이다(OEC, 2025a, 2025b; WITS, 2023; KDI/IEEC, 2024; KITA, 2024, 2025; KAMA, 2018; Westmetall/LME, 2024 - 2025). 특히 본 연구의 표본 기간인 2001년 1월부터 2025년 6월까지의 팬데믹 이후의 고물가·고금리 상황, 미국과 EU의 친환경 산업정책, 글로벌 공급망 재편, 전기차 판매의 가속화 등 최근 주요 변화를 모두 포괄한다. 이를 통해 현 시점에서 알루미늄 및 전기차 시장 환경을 실질적으로 반영하는 분석틀을 제시한다. 그러나 기존 연구들은 주로 석유 등 에너지 가격 충격에 초점을 맞추거나 제조업 전반의 평균적 반응을 보고하는 경향이 있어, 비연료 금속(알루미늄) 가격과 환율 충격의 결합 효과가 자동차·트레일러 산업 수준에서 시간에 따라 어떻게 변화하는지에 대한 구체적이고 시간에 따른 가변적인 증거는 제한적인 상황이다.

본 연구는 기존 연구의 미흡한 부분을 보완하기 위해, 한국의 자동차 및 트레일러 산업을 대상으로 알루미늄 가격과 환율 충격의 동태적 전이 경로를 TVP-VAR-SV(시간가변 모수와 확률변동성을 갖는 VAR) 모형으로 심층 분석한다. 이러한 접근법은 위기와 평시 간 전환에서의 계수 변동성과 오차항의 시변 분산-공분산(확률변동성)을 통합적으로 모형화하고 추정하며, 여기에 구조식별을 접목함으로써 시간가변 IRF와 FEVD를 도출한다. 나아가 웨이블릿 파워/코히어런스(WPS/WTC)를 통해 시간-주파수 영역의 동태를 추가로 분석한다. 이를 통해 금속 가격과 환율의 공동 변동이 물가, 실물 경제, 산업 구조에 미치는 영향의 상태 의존적 특성을 정량적으로 평가한다(Kinda, Pizzinelli, van der Ghote, & Weber, 2024; Ponomareva, Sheen, & Wang, 2024).

첫째, 본 연구는 알루미늄과 환율의 '결합 충격'을 한국 자동차 및 트레일러 산업의 세부 단위에서 계량적으로 분석함으로써, 기존 에너지 중심의 충격 연구를 비연료 금속 영역으로 확장한다. 둘째, TVP-VAR-SV 모형을 활용하여 시간에 따라 변화하는 충격반응함수(IRF)와 예측오차 분산분해(FEVD)를 제시하고, 이를 통해 위기와 평시 간 전환, 그리고 오차항의 시간에 따라 변하는 분산-공분산 구조를 함께 모형화하고 추정함으로써 금속가격과 환율의 공동 변동이 실물 및 가격 변수에 미치는 상태 의존적 전이 강도와 지연 구조를 정량적으로 분석한다. 더불어 웨이블릿 파워 및 코히어런스(WPS/WTC) 분석을 추가적인 보완 방법으로 수행하여 시간-주파수 영역의 동태적 관계를 심층적으로 검증하여, 금속 가격과 환율의 공동 변동이 실물 및 가격 변수에 미치는 상태 의존적 전이 강도와 지연 구조를 정량화한다(Kinda 등, 2024; Ponomareva 등, 2024). 셋째, 개방경제의 비용 경로에서 환율, 원자재, 산업활동 간의 비선형적 전이 가능성을 국내외 근거와 연계한다. 구체적으로, 환율 전가의 국면별 이질성(이근영, 2009)과 환율의 원자재 가격 예측 기여도(Chen 등, 2010)를 종합적으로 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존 연구들의 이론적 배경을 비판적 관점에서 검토하고 그 한계를 면밀히 분석한다. 3장에서는 TVP-VAR-SV 모형의 이론적 구조와 추정 방법을 세부적으로 설명한다. 4장에서는 실증분석 결과를 상세히 제시하며, 5장에서는 연구의 핵심 결론, 정책적 함의, 그리고 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 선행연구 검토

원자재 가격과 환율 변동이 자동차 생산에 미치는 영향을 이해하려면, 우선 중간 투입재, 환율, 한계비용, 가격결정, 생산조정으로 이어지는 경제학적 경로를 체계적으로 정리해야 한다. 예를 들어, 알루미늄 등 비연료 금속 가격이 오르면 부품, 차체, 샤시 등과 같은 중간투입재 비용이 상승하며, 이는 결국 제조업체의 한계비용을 높인다. 환율이 상승해 원화 가치가 약세를 보일 경우에도, 달러 기준의 원자재 가격이 국내 통화로 환산될 때 비용이 늘어나 비슷한 경로로 한계비용이 증가한다. 이러한 비용 충격이 발생하면, 기업은 가격과 이윤을 조정(가격 전가율, 가변 마크업 등)하게 되며, 수출·내수 비중이나 계약 구조에 따라 판매량, 생산량, 설비 가동률 변화 등 다양한 방식으로 실물 부문에 영향을 미친다(Campa & Goldberg, 2005; Gopinath 외, 2010).

따라서 본 연구에서는 알루미늄 가격과 환율을 외생적인 비용 충격으로, 자동차와 트레일러 생산을 비용 및 수요 조건에 반응하는 내생 변수로 해석하는 비용 채널(cost-channel) 이론에 근거해 VAR 충격을 식별하였다.

2.1 원자재-에너지 가격 충격과 인플레이션 전이: 국제·국내 논의

유럽중앙은행은 최근 연구에서 에너지 가격 충격이 유로지역 인플레이션에 미치는 동태적 경로를 체계적으로 분석했다. 이 연구는 직접 비용 경로, 기대 경로, 환율 경로의 상호작용을 면밀히 검토하며, 충격의 규모와 지속성, 물가 국면에 따라 가격 전가

및 전이 강도가 달라질 수 있음을 밝혔다(ECB, 2024). 세계은행의 2025년 4월 「Commodity Markets Outlook」 보고서는 2022~2023년 급등 후에도 금속 및 에너지 가격의 높은 변동성이 계속되고 있다고 분석하면서, 전기차와 송전망 부품에 대한 수요가 알루미늄을 포함한 금속 시장의 구조적 버팀목 역할을 하고 있음을 강조하고 있다(World Bank, 2025). 이러한 국제적 연구 결과는 원자재 가격 충격이 최종 물가와 실물 활동에 비대칭적이고 비선형적으로 영향을 미칠 수 있다는 최근 국내 분석 틀과 일맥상통한다(ECB, 2024; World Bank, 2025; 한국은행, 2024; KDI, 2024). 특히 국내 거시경제 상황에서는 정책, 수요, 공급 측면의 제약이 복합적으로 작용할 경우 원자재와 환율의 결합 파급 효과가 더욱 강화되어 가격 전가 강도가 높아질 수 있다. 이에 따라 국내 주요 연구기관들은 에너지뿐만 아니라 금속과 중간투입재까지 포괄하는 가격 전가 동향을 지속적으로 모니터링해야 한다고 제안하고 있다.

2.2 환율 전가와 정책·무역 환경

환율 변동이 기업의 가격 결정, 마진 조정, 원가 전가에 미치는 영향은 산업 구조와 거시 경제 환경에 따라 다양하게 나타난다. 최근 BIS의 워킹 페이퍼는 스위스 기업들의 미시 데이터를 분석하여 환율 변동의 가격 전가가 완전하지 않다는 점을 밝혀냈으며, 기업들이 가격과 수익성을 조정하는 방식이 해당 기업의 수출 전략과 산업 구조에 따라 다양하게 나타난다고 보고하고 있다(BIS, 2025). 영란은행의 워킹페이퍼는 관세와 보복조치가 환율에 미치는 영향을 정량적 분석을 통해 규명하고, 정책 충격의 정보 효과와 글로벌 가치사슬 경로를 통해 무역정책과 환율 간의 밀접한 상호작용을 조명하고 있다(Bank of England, 2025). 이러한 국제적 연구 결과는 한국과 같은 소규모 개방 경제에서 알루미늄(수입 중간재), 환율, 완성차 원가, 가격 및 생산 간의 관계가 경제 국면과 정책 환경에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. 또한 IMF(2016)는 환율 전가의 불완전성과 경기·정책 상황에 따른 전가 차이를 이론적, 실증적 측면에서 종합적으로 정리했다. OECD 산업용 원자재 수출제한 데이터베이스에 따르면, 2009~2023년 동안 전 세계 수출제한 조치의 누적 규모가 약 5배로 확대되었으며, 특히 2023년에 그 증가세가 더욱 가속화되었다. 이는 가격과 공급의 불확실성이 구조적으로 높아졌음을 의미하며, 금속류(알루미늄 포함)의 조달비용과 납품 기간, 재고 정책에 상당한 영향을 미칠 수 있다(OECD, 2025).

2.3 알루미늄 수요·공급의 구조적 전환: 차량 경량화와 순환경제

국제알루미늄협회(IAI)의 최근 보고서는 중국 승용차 산업을 중심으로 차량 내 알루미늄 사용 범위가 차체, 샤시, 배터리 하우징, e-드라이브 하우징 등으로 점차 확대되고 있음을 밝혔다(International Aluminium Institute, 2024). European Aluminium의 2024년 연구에 따르면, 1차 알루미늄과 재활용 알루미늄의 전과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기반 제품환경발자국(Product Environmental Footprint, PEF)이 완성차 제조업체의 탈탄소 전략에서 핵심적인 역할을 한다는 점을 명확히 하고 있다(European Aluminium, 2024). 이러한 산업 및 정책 보고서들은 알루미늄 가격과 지역·

제품 프리미엄, 환율 변동이 완성차 부품 원가(특히 전동화 관련 부품)에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 구조적 배경을 제공한다. OECD 보고서는 기본금속·자동차·화학 등 고배출·중간투입집약 산업이 특정 권역에 편중되어 있음을 확인하고, 이에 따라 전환 비용, 고용충격, 그리고 전력·수소·CCS·물류 등 인프라 수요가 지역별로 크게 달라질 수 있음을 지적한다. 이는 국내 자동차 및 트레일러 클러스터의 원가와 공급망 탄력성을 평가할 때 지역 맞춤형(place-based) 관점이 필수적임을 시사한다(OECD, 2023).

2.4 한국 거시·정책 맥락: 환율·물가·대외요인의 결합

2022년부터 2024년까지 지속되는 고물가, 고금리, 그리고 공급망 불안 속에서 원/달러 환율은 대외 포트폴리오 흐름, 한국과 미국 간의 통화정책 차이(정책금리 스프레드), 그리고 주요 실물 및 정책 변수들의 복합적인 상호작용에 의해 결정되었다. 특히 제조업의 경우, 수입 중간재에 대한 의존도가 높아 비용 전가 경로의 영향이 더욱 뚜렷하게 드러났다(한국은행, 2024; KDI, 2024; 기획재정부, 2023). 이러한 배경을 고려할 때, 환율이 반영된 국제 가격을 통해 알루미늄과 같은 비철금속의 수입단가가 자동차 및 트레일러 산업의 생산지수와 가격 전략에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 분석하기 위한 정책적 근거를 도출할 수 있다.

2.5 방법론적 함의 및 평가와 연구 공백

기존 연구들은 에너지 가격, 환율 전가, 정책 및 무역 충격, 공급망 제약, 산업·지역 간 이질성이 물가와 실물경제에 상태에 따라 다르게 영향을 미친다는 점을 공통적으로 밝혀내고 있다(ECB 2024; World Bank 2025; 한국은행 2024; KDI 2024). 그러나 대부분의 실증분석은 국가 전체 또는 주요 산업 집계 수준에서 에너지 가격에만 초점을 맞추고 있으며, 비연료 금속, 특히 알루미늄의 경량화와 부품화 경로, 그리고 환율·정책·공급망 제약이 복합적으로 작용하는 영향을 자동차·트레일러 산업 단위에서 직접 계량적으로 검증한 사례는 드물다. 이에 본 연구는 알루미늄 가격(국제 시장)과 원/달러 환율의 ‘결합 충격’을 TVP-VAR-SV 모형으로 식별하고, 국면별 충격 반응 함수(IRF), 예측 오차 분산 분해(FEVD), 웨이블릿 파워 및 코히어런스 분석을 통합적으로 적용했다. 이를 통해 한국 자동차·트레일러 산업의 비용 구조가 국제 원자재 가격과 환율 변동 충격에 어느 시점에서, 얼마나 민감하게 반응하는지를 상태에 따라 분석하였다. 이러한 분석을 바탕으로, 기존의 에너지 및 거시경제 수준의 연구에서 다루지 못했던 산업별 비용 구조와 충격 전이 강도의 차이를 정량적으로 밝힌 점이 본 연구의 주요 차별화 포인트라 할 수 있다. 더욱이 2022~2025년 사이 급격히 강화된 정책·무역 환경(수출제한 급증, 관세·보복정책 등)으로 인해 전가·전이의 표준 탄력치를 고정계수로 가정하는 기존 모형은 심각한 편향을 초래할 수 있어, 상태의존성, 국면 전환, 구조 변화를 반영하는 새로운 식별 전략의 필요성이 더욱 커졌다. 그 결과를 바탕으로, 이러한 분석이 한국 자동차 및 트레일러 산업의 조달, 생산, 가격 전략에 미치는 시사점을 도출함으로써, 기존 연구와 비교해 정책 및 실무적 측면에서 차별화된 통찰을 제공했다.

3. 데이터의 특성 및 전처리

본 연구에서는 2001년 1월부터 2025년 6월까지의 월별 데이터를 활용하였다. 분석에 사용한 변수는 국제 알루미늄 가격(FRED 현물, 달러 기준), 원/달러 환율(한국은행 ECOS 월평균), 그리고 국내 자동차·트레일러 생산지수(ECOS)로 구성하였다. 세 변수 모두 로그 변환한 후, X-13ARIMA-SEATS 방법을 통해 계절성과 달력 효과를 제거하였다. ADF 단위근 검정과 Johansen 공적분 검정 결과, 변수 간에서 공적분 관계가 식별되지 않았으며, TVP-VAR-SV 모형의 안정적 추정을 위해 1차 차분 시계열을 사용하는 것이 타당한 것으로 나타났다. 이후 충격 반응 함수와 예측 오차 분산 분해 분석은 이러한 전처리 과정을 거친 시계열 데이터를 바탕으로 수행하였다.

종합적으로 볼 때 TVP-VAR-SV 모형을 도입한 근거는 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 글로벌 금융위기, 중국 감산기, 팬데믹 등 주요 국면이 전환될 때마다 알루미늄 가격, 환율, 자동차 및 트레일러 생산 간의 상관 구조와 충격 반응이 크게 달라졌다는 점이 선행 연구와 기술 통계 분석을 통해 여러 차례 확인되었다. 둘째, 이처럼 구조적 변화가 뚜렷한 상황에서는 계수를 고정하고 분산을 정태적으로 가정하는 기존 VAR 모형으로는 변화의 흐름을 충분히 반영하기 어렵다. 국면별 민감도의 변화나 분산 기여도의 재분배를 면밀히 파악하려면, 시간에 따라 계수와 분산이 변동할 수 있는 모형이 필요하다. 셋째, 금속가격과 환율 자료에서는 조건부 이분산성과 변동성 군집 현상이 자주 나타난다. 이 점을 고려하면, 확률적 변동성(SV)이 결합된 VAR 모형이 구조적 충격의 분산 변동을 더욱 현실적으로 반영할 수 있다. 넷째, TVP-VAR-SV 모형을 활용하면 각 시점별 충격반응함수(IRF)와 예측오차분산분해(FEVD)를 통해 위기 국면과 평시 국면에서 환율과 알루미늄 가격 채널의 기여도를 정량적으로 비교할 수 있다. 또한, 이후에 수행하는 웨이블릿 파워와 코히어런스 분석은 시간 영역에서 확인된 결과를 단기, 중기, 장기 주파수별로 분해하여, 환율 변동이 비용 구조에 미치는 선행 신호 구간을 추가적으로 검증할 수 있는 도구로 작동한다. 끝으로, 1차 차분을 통한 정상성 검증, 공적분 관계 부재, 그리고 계절 및 달력 효과 조정 등 사전 작업은 TVP-VAR-SV 모형의 식별성, 추정 안정성, 해석 가능성을 실질적으로 높여준다. 이러한 점에서 본 모형 채택은 충분히 타당하다고 판단할 수 있다.

4. 분석 방법

4.1 분석 방법론 개요

본 연구의 실증 전략은 세 단계로 구성된다. 첫째, X-13ARIMA-SEATS 기법을 활용해 월별 지표의 계절성과 달력효과를 제거함으로써, 원가 및 환율 충격의 구조적 변동성을 보다 명확하게 추출할 수 있도록 자료를 전처리하였다. 둘째, TVP-VAR-SV 모형을 도입하여 글로벌 금융위기나 팬데믹과 같은 주요 국면 전환 시기마다 비용 구조의 민감도가 시간에 따라 어떻게 달라지는지 검증하고자 하였다. 이 과정을 통해

알루미늄 가격, 환율, 자동차 및 트레일러 생산 간의 결합 충격을 식별하고, 각 국면 별로 IRF와 FEVD를 추정하였다. 셋째, 웨이블릿 파워 및 코히어런스 분석을 적용해, TVP-VAR-SV 분석에서 얻은 시간영역 결과를 단기, 중기, 장기 등 다양한 주파수 대역별로 분해하였다. 이를 통해 환율이 비용 구조 변화에 선행 신호를 제공하는 특정 구간을 추가로 파악할 수 있었다.

4.2 X-13ARIMA-SEATS

본 연구는 월별 시계열에 X-13ARIMA-SEATS를 적용한다. 먼저 회귀항이 포함된 ARIMA 오차로 달력·휴일·이상치 효과를 제거한 후, 모형기반 신호추출(SEATS)로 추세-순환(T_t)·계절(S_t)·불규칙(I_t) 성분을 분해한다. 변환은 $y_t^* = g(y_t)$ 로 둔다.

$$\Phi(B^{12})\phi(B)\nabla_{12}^D \nabla^d (y_t^* - X_t\beta) = \Theta(B^{12})\theta(B)a_t, \quad a_t \sim i.i.d. N(0, \sigma^2) \quad (4.1)$$

여기서 B 는 후방이동연산자, $\nabla = 1 - B$, $\nabla_{12} = 1 - B^{12}$, $\phi, \Phi, \theta, \Theta$ 는 비계절 및 계절 AR/MA 다항식이며, 회귀항 X_t 의 구성은 다음과 같다.

$$D_{j,t} = N_{j,t} - \frac{N_t}{7} (j = 1, \dots, 6), \quad X_t^{TD} = (D_{1,t}, \dots, D_{6,t}), \quad (4.2)$$

$$L_t^{LOM} = N_t - \overline{N} \quad \text{or} \quad L_t^{LY} = 1[t \text{가 윤년 2월}] - \overline{1[2월]}, \quad (4.3)$$

$$X_t^H = \sum_{\tau \in H} h_\tau(t; \ell), \quad (4.4)$$

$$O_t^{AO} = 1[t = \tau], \quad O_t^{LS} = 1[t \geq \tau], \quad O_t^{TC} = \delta^{t-\tau} 1[t \geq \tau], \quad 0 < \delta < 1$$

SEATS 분해 및 추정과 직교 분해하에서 성분 $Z_t \in \{T, S, I\}$ 의 Wiener-Kolmogorov 최적 필터와 계절 조정은 다음과 같다.

$$y_t^* = T_t + S_t + I_t, \quad (4.5)$$

$$H_Z(e^{-i\omega}) = \frac{f_Z(\omega)}{f_Y(\omega)}, \quad \hat{Z}_t = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \psi_{Z,j} y_{t-j}^*, \quad (4.6)$$

$$SA_t^* = y_t^* - \hat{S}_t, \quad SA_t = \exp(SA_t^*) \quad (4.7)$$

4.3 TVP-VAR-SV 추정

본 연구에서는 시간에 따라 변화하는 계수와 확률적 변동성을 반영할 수 있는 TVP-VAR-SV 모형을 선택했으며, 관측 방정식은 다음과 같이 구성된다.

$$Y_t = c_t + \sum_{i=1}^p A_{i,t} Y_{t-i} + u_t, u_t = B_t^{-1} H_t^{1/2} \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim N(0, I_K) \quad (4.8)$$

여기서 B_t 는 하삼각 형태의 동시적 충격 전이행렬을 나타내며, $H_t = \text{diag}(\exp(h_{1t}), \dots, \exp(h_{Kt}))$ 는 t 시점의 대각 분산행렬을 의미한다. 결과적으로 t 시점의 오차공분산은 $\Sigma_t = B_t^{-1} H_t B_t^{-1'}$ 로 표현된다. 계수와 구조, 그리고 변동성은 모두 무작위 보행(랜덤워크) 패턴으로 발전한다.

$$\text{vec}(A_t) = \text{vec}(A_{t-1}) + \eta_t^A, c_t = c_{t-1} + \eta_t^c, \eta_t^A \sim N(0, Q), \eta_t^c \sim N(0, Q_c) \quad (4.9)$$

여기서 Q, Q_c 는 계수 변동의 범위를 결정하는 공분산 행렬이며, 사전축소(shrinkage)의 강도는 τ 파라미터에 의해 조절된다.

$$b_t = b_{t-1} + \eta_t^b, \eta_t^b \sim N(0, W) \quad (4.10)$$

$$h_t = h_{t-1} + \eta_t^h, \eta_t^h \sim N(0, S) \quad (4.11)$$

여기서 b_t 는 B_t 의 자유요소들을 열벡터 형태로 정리한 것이고, W 는 해당 벡터의 공분산 행렬을 나타낸다. 또한, $H_t = \text{diag}(\exp(h_t))$ 가 시점별 이분산을 반영한다. 베이지안 계량모형의 학문적 신뢰성을 확보하기 위해서는 연구자가 사용한 사전분포와 모형 구조를 투명하고 명확하게 공개하는 것이 매우 중요하다. 본 연구는 이러한 원칙을 엄격히 준수하여 다음과 같은 구체적인 설정을 바탕으로 추정을 진행하였다.

첫째, 계수 상태의 혁신 공분산 스케일 조정계수를 0.0399로 조정했다. 이로 인해 충격반응함수(IRF)의 다양성이 증가하고, 국면 전환 구간에서 동태적 변화를 더욱 명확하게 포착할 수 있게 되었다. 둘째, 로그분산 상태의 혁신 공분산 스케일 조정계수를 0.0045로 설정했다. 그 결과 조건부 분산은 높은 지속성과 점진적인 변화 패턴을 보이며, 신뢰구간의 시점별 진폭 변동도 상대적으로 미미하다. 셋째, 동시적 구조(B_t)의 자유요소 혁신 공분산 스케일 조정계수를 0.0098로 설정했다. 이를 통해 동시적 충격 전이행렬 B_t 의 변화가 시점별 즉시효과의 유의미한 차이를 야기할 수 있으나, 구조의 급격한 변동 위험은 제한적이기 때문에 재귀식별(하삼각) 방식에서 정책 및 무역 국면 변화기의 점진적 전이경로를 효과적으로 포착할 수 있다. 또한, 베이지안 추정의 수렴성과 분산의 안정적 추정을 확보하기 위해 서로 독립적인 3개 마르코프 체인으로 총 80,000회의 MCMC 반복을 수행했다. 초기 20,000회는 사전 영향을 제거하기 위해 소각

(burn-in) 처리했으며, 표본 간 자기상관을 완화하고 유효 표본수를 높이기 위해 추출 간격(thinning)을 10으로 설정했다.

4.4 Gelman-Rubin PSRF 검정

본 연구에서는 여러 개의 독립적인 마르코프 연쇄를 서로 다른 초깃값에서 충분히 오래 시뮬레이션한 다음, 각각의 연쇄 안에서의 분산과 연쇄들 사이의 분산을 비교했다. 이렇게 해서, 사후 시뮬레이션을 더 많이 할 때 분산이 얼마나 더 줄어들 수 있는지를 정량적으로 살펴보고자 했다. 이를 위해 TVP-VAR-SV 모형의 MCMC 수렴성을 진단할 때 Gelman-Rubin PSRF를 사용했다. 이때 체인의 개수를 $m \geq 2$ 두고, 각 체인의 유효 반복 횟수를 n 이라고 하자. 스칼라 모수 θ 에 대해 j 번째 체인에서 얻은 표본평균과 표본분산은 다음과 같이 정의한다.

$$\bar{\theta}_{\cdot j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_{ij}, s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\theta_{ij} - \bar{\theta}_{\cdot j})^2 \quad (4.12)$$

$$W = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2, B = \frac{n}{m-1} \sum_{j=1}^m (\bar{\theta}_{\cdot j} - \bar{\theta}_{\cdot\cdot})^2, \bar{\theta}_{\cdot\cdot} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{\theta}_{\cdot j} \quad (4.13)$$

사후 한계분산의 표본 추정값과 PSRF의 점추정치는 다음과 같다.

$$\hat{V} = \frac{n-1}{n} W + \frac{1}{n} B \quad (4.14)$$

$$\hat{R} = \sqrt{\frac{\hat{V}}{W}} = \sqrt{\frac{n-1}{n} + \frac{1}{n} \frac{B}{W}} \quad (4.15)$$

$\hat{R} \rightarrow 1$ 이면 ‘추가 시뮬레이션을 해도 분산이 더 축소될 여지가 거의 없다.’라는 것을 의미하기 때문에 $\hat{R} < 1.1$ 를 수렴했다고 보고, 실무적으로 이를 수렴 기준으로 채택한다.

4.5 Effective Sample Size 검정

다중체인 MCMC 표본의 자기상관을 정량적으로 평가하기 위해, 본 연구에서는 매 개변수와 시점별 유효표본수(effective sample size, ESS)를 산출하였다. 체인 길이를 N , 시차 k 에서의 자기상관을 ρ_k 라고 할 때, 표본평균의 적분자기상관시간에 따른 분산 팽창(variance inflation due to integrated autocorrelation time)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\tau_{int} = 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \rho_k \quad (4.16)$$

따라서 단일 체인의 유효 표본 수는 아래와 같이 산출된다.

$$ESS = \frac{N}{\tau_{int}} = \frac{N}{1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \rho_k} \quad (4.17)$$

ESS가 클수록 동일한 길이의 독립 표본이 가진 정보량에 더 가까워진다는 뜻이다. 여러 개의 체인 $m = 1, \dots, M$ 을 사용하고, 각 체인에서 사용한 표본의 길이가 N_m 일 때, 총 표본 수 $N_{tot} = \sum_{m=1}^M N_m$ 에 대한 ESS는 아래와 같이 근사할 수 있다.

$$ESS \approx \frac{N_{tot}}{\tau_{int}} \quad (4.18)$$

실증 추정에서는 $\sum_{k \geq 1} \rho_k$ 값을 계산할 때, HAC 방식의 장기분산을 추정할 때 사용되는 지연창(커널) 함수로부터 $\hat{f}(0) = \hat{\gamma}_0 + 2 \sum_{k=1}^K \omega_k \hat{\gamma}_k$ 값을 도출한 뒤, 이를 $\widehat{\tau_{int}} = \hat{f}(0) / \hat{\sigma}^2$ 로 변환하여 적용한다. 진단 해석의 표준화를 위해 두 가지 판정 기준선을 적용한다. 기본 기준은 $ESS \geq 100$ 이며, 엄격한 기준은 $ESS \geq 400$ 이다. 이를 바탕으로 각 매개 변수와 시점별 항목이 기본적인 수렴 조건과 더 엄격한 수렴 조건을 각각 충족하는지를 구분할 수 있다.

4.6 시간가변 충격반응함수

본 연구에서는 TVP-VAR-SV 추정 결과를 바탕으로 시변 충격반응함수를 도출했다. 시간에 따라 변화하는 p차 VAR 모형의 축약형은 다음과 같이 표현된다.

$$y_t = B_{0,t} + \sum_{i=1}^p B_{i,t} y_{t-i} + u_t, \quad u_t \sim N(0, \Sigma_t) \quad (4.19)$$

$$e_t \sim N(0, I), \quad u_t = H_t e_t, \quad \Sigma_t = H_t H_t^\top \quad (4.20)$$

특정 시점 t 에서 충격이 발생할 경우, 충격반응함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$IRF_{k \leftarrow j}(t, h) = \frac{\partial y_{k,t+h}}{\partial e_{j,t}} \quad (4.21)$$

모형 객체에서 유효 추정 길이 T_{fit} 을 산출하여 전체 데이터의 말단부에 위치한 동일 길이(T_{fit})의 후행 구간과 정합한다. 이후 각 시점 $t = 1, \dots, T_{fit}$ 에 대해 표본(draw)별로 충격반응함수를 산출하고, 이어서 다중 마르코프 체인의 모든 표본을 통합하여 날짜별 사후평균과 분위수를 계산한다. 불확실성은 95% 신뢰구간(2.5~97.5 백분위)과 68% 신뢰구간(16~84 백분위)으로 나타내며, 기준선(0)과 함께 표시한다. 또한 보조 지표인 부호 사후확률(SPP)과 누적 IRF는 다음과 같이 정의된다.

$$p_h^{(+)} = \Pr\{IRF(h) > 0 | data\} \in [0, 1], \quad p_h^{(-)} = 1 - p_h^{(+)} \quad (4.22)$$

$$C^{(H)} = \sum_{h=1}^H IRF(h), \hat{m}^{(C)} = \mathbb{E}[C^{(H)} | data] \text{ with } [q_{0.16}^{(C)}, q_{0.84}^{(C)}] [q_{0.025}^{(C)}, q_{0.975}^{(C)}] \quad (4.23)$$

부호 사후확률은 기준선 0.5를 방향성의 중립적 기준점으로 간주하며, $p_h^{(+)} \geq 0.9$ 또는 ≤ 0.1 구간을 강한 방향성을 나타내는 관행적 임계값으로 설정한다. 더불어 기본 IRF 패널의 신뢰구간이 0을 기준으로 상하로 충분히 분포하는 영역과 SPP의 높고 낮은 구간이 일치하는지를 시각적으로 확인하여 해석의 일관성을 검증한다. 누적 IRF가 H 의 증가에 따라 $C^{(H)}$ 가 평탄화되면, 이는 충격이 점차 소멸되고 안정화되는 것으로 볼 수 있다. 반면, $C^{(H)}$ 가 지속적으로 증가하거나 감소하는 경우, 이는 장기적인 누적 효과가 존재할 가능성을 나타낸다. 구체적으로 $C^{(H)} > 0$ 이 지속되면 순증가 효과로, $C^{(H)} < 0$ 이 지속되면 순감소 효과로 해석할 수 있다.

4.7 시간가변 예측오차 분산분해

TVP-VAR의 전이구조를 시점 t 에서 국소적 시간불변(local-constant) 근사로 가정 하면, 국소적 벡터 이동평균(VMA)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_t - \mu_t = \sum_{h=0}^{\infty} \Psi_{t,h} u_{t-h}, \Psi_{t,0} = I_K, \Psi_{t,h} = \sum_{\ell=1}^p A_{\ell,t} \Psi_{t,h-\ell} (h \geq 1) \quad (4.24)$$

또한, 구조충격 ε_t 에 대한 직교화 충격반응함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\Theta_{t,h} \equiv \Psi_{t,h} C_t, C_t := B_t^{-1} H_t^{1/2} \quad (4.25)$$

$$\theta_{ij,t}(h) = e_i^\top \Theta_{t,h} e_j = e_i^\top \Psi_{t,h} C_t e_j \quad (4.26)$$

시간가변 예측오차 분산분해(FEVD)는 변수 i 의 H 기 앞 예측오차의 조건부 분산에서 구조충격 j 가 차지하는 설명력을 직교화 충격반응함수의 제곱합을 통해 측정한다.

$$\phi_{i \leftarrow j,t}(H) = \frac{\sum_{h=1}^H \theta_{ij,t}(h)^2}{\sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H \theta_{ik,t}(h)^2}, 0 \leq \phi_{i \leftarrow j,t}(H) \leq 1, \sum_{j=1}^K \phi_{i \leftarrow j,t}(H) = 1 \quad (4.27)$$

4.8 웨이블릿 파워 스펙트럼

주어진 시계열 $x(t)$ 와 모 웨이블릿(mother wavelet) $\psi_0(\cdot)$ 가 있을 때, 스케일 $s > 0$ 와 시점 τ 에서의 연속 웨이블릿 변환(CWT)은 다음과 같이 표현된다.

$$W_x(s, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt, \psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi_0\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (4.28)$$

정규화 $1/\sqrt{s}$ 는 L^2 -정규화에 따른 에너지 보존을 보장하며, ψ_0 은 허용성 (admissibility) $\int \psi_0(t) dt = 0$ 과 유한한 다음의 허용상수를 만족해야 한다.

$$C_\psi \equiv \int_0^\infty \frac{|\Psi_0(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (4.29)$$

웨이블릿 파워 스펙트럼(WPS)은 시간-주파수 평면에서 신호의 국소적·시간가변적 분산 기여(에너지)를 나타내며, 이산 표본 $\{x_n\}_{n=0}^{N-1}$, 관측 간격 Δt 에 대해서는 다음과 같이 정의된다.

$$P_x(s, \tau) \equiv |W_x(s, \tau)|^2 \quad (4.30)$$

$$W_x(s, \tau_n) \approx \sqrt{\frac{\Delta t}{s}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot \psi_0^* \left(\frac{(n' - n)\Delta t}{s} \right), \tau_n = n\Delta t \quad (4.31)$$

실증분석에서는 복소 Morlet 웨이블릿이 주로 사용된다. 중심 각주파수 ω_0 는 웨이블릿의 대표 진동수를 뜻하며, 스케일 s 는 등가 푸리에 주기 λ 와 일대일로 대응한다.

$$\lambda(s) = \frac{4\pi s}{\omega_0 + \sqrt{2 + \omega_0^2}} (Morlet) \Rightarrow \lambda \approx 1.03s \text{ if } \omega_0 = 6 \quad (4.32)$$

스케일별 파워에 존재하는 체계적인 편향을 줄이고 시계열 간 비교 가능성을 향상시키기 위해 분산을 정규화(variance normalization; 단위분산 표준화)했으며, 표준화된 파워는 다음과 같다.

$$\widetilde{P}_x(s, \tau) = \frac{|W_x(s, \tau)|^2}{\sigma_x^2}, \sigma_x^2 = Var(x) \quad (4.33)$$

4.9 웨이블릿 코히어런스

두 시계열 $x(t)$ 와 $y(t)$ 의 교차 웨이블릿 스펙트럼(XWT)은 다음과 같이 정의된다.

$$W_{xy}(\tau, s) = W_x(\tau, s) W_y^*(\tau, s) \quad (4.34)$$

$|W_{xy}(\tau, s)|$ 의 크기는 시간-주기별 국소 공분산 강도(교차 파워)를, 복소각 $\arg\{W_{xy}(\tau, s)\}$ 는 두 신호의 국소 위상차를 담는다. XWT는 주파수 영역의 공분산 구조를 시간 축에서 국소화하는 기법으로, 이후 설명할 코히어런스의 분자(평활된 교차

스펙트럼)를 나타낸다. 웨이블릿 코히어런스는 시간-주기별 정규화된 상관관계수형 지표로 해석되며, 시간 및 스케일 차원의 국소 평활(smoothing) 연산자 $S(\cdot)$ 를 도입해 다음과 같이 정의된다.

$$R_{xy}^2(\tau, s) = \frac{|S(s^{-1}W_{xy}(\tau, s))|^2}{S(s^{-1}|W_x(\tau, s)|^2)S(s^{-1}|W_y(\tau, s)|^2)}, \quad 0 \leq R_{xy}^2(\tau, s) \leq 1 \quad (4.35)$$

결국 R_{xy}^2 는 "평활된 교차 파워"를 "평활된 자기 파워의 기하평균"으로 나누어 정규화한 값이기 때문에, 그 값이 1에 가까울수록 해당 시점과 주기에서 두 시계열이 강하게 동조(co-movement)한다고 볼 수 있다. WTC의 방향성(선행-후행)은 평활된 교차 스펙트럼의 위상을 통해 결정되며, 국소 위상차는 다음과 같다.

$$\phi_{xy}(\tau, s) = \text{atan2}(\text{Im}\{S(s^{-1}W_{xy}(\tau, s))\}, \text{Re}\{S(s^{-1}W_{xy}(\tau, s))\}) \quad (4.36)$$

$\phi_{xy} \approx 0^\circ$ 일 때는 동상(in-phase), $\phi_{xy} \approx 180^\circ$ 일 때는 역상(anti-phase)이다. 또한, $\phi_{xy} \approx +90^\circ$ 부근은 첫째 변수가 둘째 변수에 위상상 선행함을 $\phi_{xy} \approx -90^\circ$ 부근은 둘째 변수가 선행함을 나타낸다. 스케일-주기 변환에서는 Morlet 웨이블릿의 중심 각주파수 ω_0 를 활용한 근사 관계를 사용하며, 표본 길이 N 을 고려해 스케일이 과도하게 확장되지 않도록, 최대 스케일 지수 J_1 는 아래와 같이 정해진다.

$$\lambda(s) \approx \frac{4\pi s}{\omega_0 + \sqrt{2 + \omega_0^2}} \quad (4.37)$$

$$J_1 = \left\lfloor \frac{\log_2(N dt / s_0)}{dj} \right\rfloor \quad (4.38)$$

5. 실증분석 결과

5.1 기초통계량

본 연구에서는 2001년 1월부터 2025년 6월까지 월별 국제 알루미늄 가격, 원/달러 환율, 자동차·트레일러 생산지수를 주요 변수로 활용하였다. 수준(Level) 통계에 따르면, 각 변수의 평균과 표준편차는 알루미늄 2,024.01(449.39), 환율 1,158.90(120.91), 자동차·트레일러 생산 98.73(24.19)으로 집계되었다. 최솟값과 최댓값은 각각 알루미늄 1,283.53~3,498.37, 환율 914.81~1,457.92, 자동차·트레일러 생산 37.73~143.20의 범위를 보였다. 범위 대 평균 비율은 알루미늄 1.09, 자동차·트레일러 생산 1.07, 환율 0.47로 나타났으며, 실물 지표와 원자재 가격은 환율에 비해 변동폭이 더 넓은 경향을 보인다.

변동계수를 살펴보면 자동차·트레일러 생산이 24.50%로 가장 높았고, 알루미늄이 22.20%, 환율은 10.43%로 비교적 낮게 나타났다. 이러한 결과는 실물 부문이 상대적으로 변동성이 크고, 외환 변수가 이에 비해 안정적인 편임을 시사한다. 또한, 가격이나 환율에 비해 생산지표가 경기순환이나 공급망 충격 등 외부 변화에 더욱 민감하게 반응할 수 있음을 보여준다.

분포의 형태를 보다 강건한 지표로 살펴보면, 중앙값과 사분위수에 기반한 상대사분위범위는 자동차·트레일러 생산이 0.372, 알루미늄이 0.338, 환율이 0.118로 나타난다. 이 값들은 표준편차에 비해 이상치의 영향을 덜 받는 산포 척도(scale measure)에서도 동일한 순서로 변동성이 크다는 점을 보여준다. 왜도의 경우, 알루미늄은 0.241, 환율은 0.106, 자동차·트레일러 생산은 -0.218로 나타나는데, 알루미늄과 환율은 약한 우측왜도(꼬리가 오른쪽으로 길다), 자동차·트레일러 생산은 약한 좌측 왜도를 보인다. 평균과 중앙값의 표준화 차이 역시 알루미늄 0.17, 환율 0.10, 자동차·트레일러 생산 -0.16으로, 왜도의 방향과 일치하는 결과를 보인다. 이처럼 완만한 왜도와 두터운 꼬리 등 비정규적 특성, 그리고 변수별로 다른 정도의 변동성은 시점에 따라 분산이 달라지는 이분산성이 존재할 가능성을 뒷받침한다.

요약하자면, 실물지표와 원자재 가격의 상대적 변동성이 환율보다 더 크게 나타난다. 강건성 분석 결과 역시 같은 결론을 뒷받침한다. 또한 각 변수별로 왜도의 방향이나 꼬리의 두께가 서로 다르게 관찰된다. 이러한 기술통계 결과는 경기 사이클, 정책 환경, 공급망 충격의 전개 방식에 따라 충격이 전이되는 강도와 방향이 달라질 수 있음을 시사한다. 즉, 현상은 상태에 따라 달라지는 동학적 특성을 보일 수 있음을 의미한다. 실증 분석에서는 시간에 따라 계수가 변하는 모델과 확률적 변동성 모형(TVP - VAR - SV)을 활용해 변동성과 비대칭적 반응을 동시에 식별하고 추정하는 접근이 적절하다.

<표 5.1> 기초통계량

변수	관측치 수	평균값	표준편차	최솟값	제1사분위수	중앙값	제3사분위수	최댓값
알루미늄 가격	294	2,024.01	449.39	1,283.53	1,697.72	1,947.25	2,355.62	3,498.37
원/달러 환율	294	1,158.90	120.91	914.81	1,086.19	1,146.47	1,221.07	1,457.92
자동차· 트레일러 생산지수	294	98.73	24.19	37.73	79.30	102.54	117.48	143.20

5.2 ADF 및 Johansen 검정

본 연구에서는 TVP-VAR-SV 추정에 앞서 시계열 변수의 적분 차수와 장기 균형의 존재 여부를 미리 점검하였다. 먼저, ADF 단위근 검정 결과를 보면, 수준에서는 알루미늄 가격(-3.0141, $p=0.1488$), 원/달러 환율(-2.9078, $p=0.1936$), 자동차 및 트레일러 생산(-2.4502, $p=0.3865$) 모두 5% 유의수준에서 단위근 존재에 대한 귀무가설을 기각하지 못했다. 즉, 세 변수는 모두 $I(1)$ 특성을 보였으나, 1차 차분(로그 차분) 후에는 정상성($I(0)$)이 확인되었다. 이러한 결과는 수준 회귀에서 허위 회귀 문제가 발생할 수

있음을 보여주며, 충격 반응 함수 해석이 퍼센트포인트 단위의 준탄력도(semi-elasticity)로 명확하게 이루어질 수 있음을 시사한다.

장기공동추세의 존재 여부는 Johansen 공적분 검정을 통해 확인하였다. 분석 결과, Trace와 Maximum-Eigenvalue 통계량이 모두 각 임계값에 미치지 못해 공적분 관계가 존재하지 않는 것으로 일관되게 나타났다. 구체적으로, Trace 검정에서는 $r=0$ 가설의 통계량이 28.7620으로 5% 임계값인 34.91에 못 미쳤고, $r \leq 1$ 과 $r \leq 2$ 의 통계량도 각각 10.9592(5% 임계값 19.96), 2.1846(5% 임계값 9.24)로 각각 기준에 도달하지 못했다. Maximum-Eigenvalue 검정 역시 $r=0$ 에서 17.8027(5% 임계값 22.00), $r \leq 1$ 에서 8.7747(5% 임계값 15.67), $r \leq 2$ 에서 2.1846(5% 임계값 9.24)로 모두 임계값 이하의 결과를 보였다. 이러한 검정 결과를 종합하면, 표본 기간 동안 세 변수 간에는 안정적인 장기균형, 즉 공적분 벡터가 존재하지 않는 것으로 판단된다.

종합하면, 앞서 언급한 세 변수를 활용한 TVP-VAR-SV 모형 추정은 표본 기간 중 구조 변화와 변동성 군집을 효과적으로 반영한다. 이 과정에서 불필요한 장기 제약을 배제해 추정의 강건성을 높였으며, 충격의 단기 전이와 상태에 따라 달라지는 감도의 재조정도 보다 명확하게 식별하고 해석할 수 있도록 하였다.

<표 5.2> ADF 검정 결과

변수	ADF 검정 통계량	p-value	정상성 여부	적분 차수	1차 차분 후 정상성 여부
알루미늄 가격	-3.01	0.15	비정상	I(1)	정상
원/달러 환율	-2.91	0.19	비정상	I(1)	정상
자동차트레일러 생산지수	-2.45	0.39	비정상	I(1)	정상

<표 5.3> Johansen 공적분 검정 결과(Trace)

가설 (공적분 수 r)	검정 통계량	5% 유의수준 임계값	기각 여부
$r = 0$	28.76	34.91	기각할 수 없음
$r \leq 1$	10.96	19.96	기각할 수 없음
$r \leq 2$	2.18	9.24	기각할 수 없음

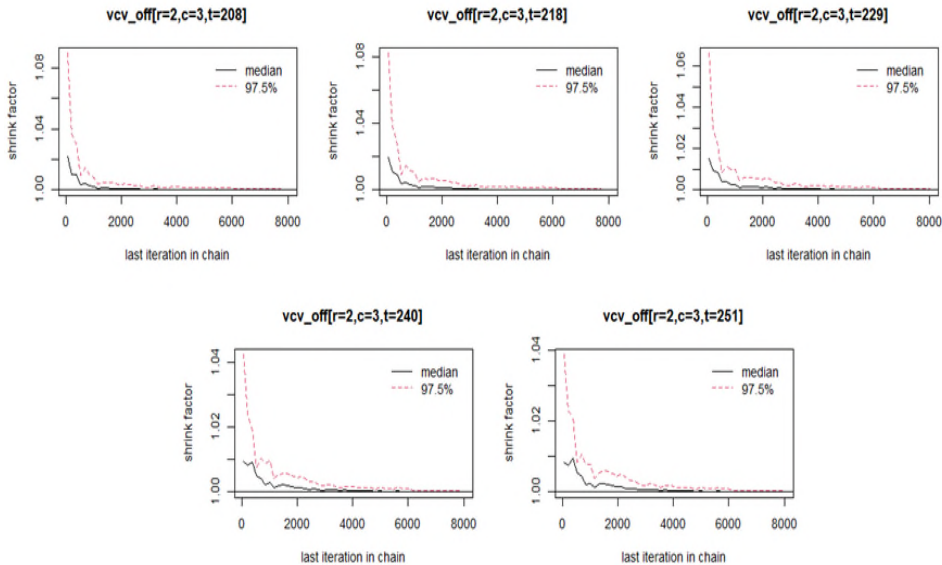
<표 5.4> Johansen 공적분 검정 결과(Maximum-Eigenvalue)

가설 (공적분 수 r)	검정 통계량	5% 유의수준 임계값	기각 여부
$r = 0$	17.80	22.00	기각할 수 없음
$r \leq 1$	8.77	15.67	기각할 수 없음
$r \leq 2$	2.18	9.24	기각할 수 없음

5.3 수렴 진단 검정 결과

본 연구에서는 TVP-VAR-SV 추정 과정에서 마르코프 연쇄의 수렴성과 표본 효율성을 Gelman-Rubin PSRF와 ESS 지표를 통해 함께 검증하였다. 실증 결과, PSRF 플롯의 점추정값과 97.5% 상한선은 반복 횟수가 늘어날수록 점진적으로 1에 가까워졌으며, 최종 구간에서는 1.10 기준선 이내에서 안정적으로 수렴함을 확인할 수 있었다. 이어서 ESS 진단 결과를 보면, ‘낮은 값 상위 30개’ 항목 기준의 ESS 막대그래프가 기본 기준과 권고선을 모두 100% 충족하였다. 이는 변동성이나 시변 공분산처럼 혼합이 까다로운 파라미터 블록에서도 혼합 병목이 발생하지 않았음을 의미한다. 또한 PSRF가 공분산 구조까지 반영해 전체적인 수렴성을 평가한다는 점과 일치한다. 결론적으로 PSRF 지표는 수렴성을, ESS 기준은 추정값의 정밀도를 각각 신뢰할 수 있음을 시사한다. 이러한 정량적 근거는 IRF, FEVD 등 사후 분석 결과에서 신뢰구간 해석이나 국면별 동태 비교(어느 충격이 어느 시기에 주요하게 작용하는지)에 대한 판단을 더욱 통계적으로 정밀하게 수행할 수 있게 해주며, 결과의 정책적 해석에도 기초 자료가 된다.

<그림 5.1> PSRF 검정 결과



5.4 시간가변 충격반응함수(Impulse Response Function, IRF)

본 절에서는 충격반응함수 결과와 보조 패널에 제시된 부호 사후확률 및 누적 IRF를 바탕으로, 각 주요 변수 간 충격에 대한 반응의 방향, 크기, 지속성, 그리고 국면별 변화 양상을 종합적으로 분석하였다. 이에 따라 변수별로 나타나는 반응의 주요 특징을 정리하고, 국면에 따라 충격 효과가 어떻게 달라지는지 구체적으로 살펴보았다.

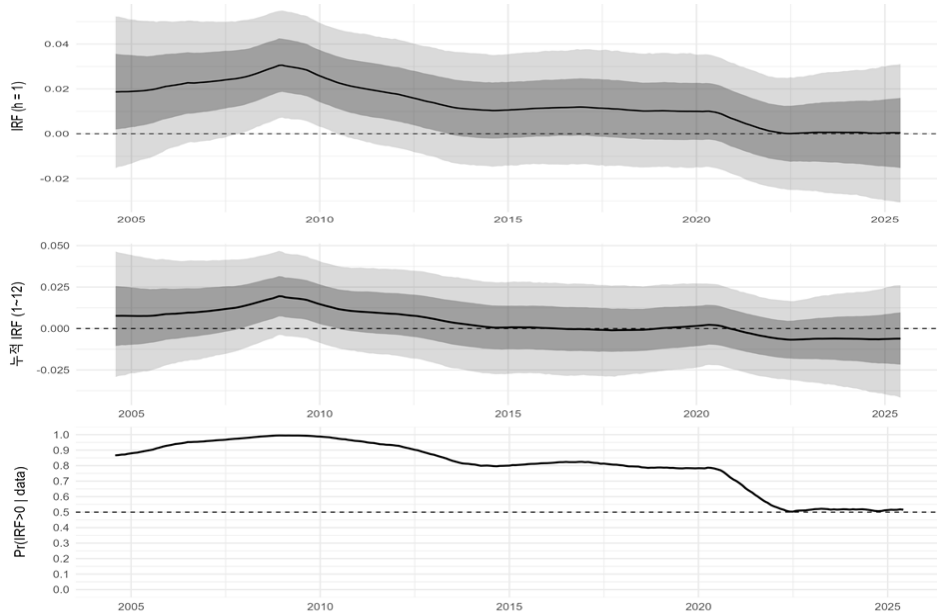
그림 5-2를 보면, 2000년대 초반 표본 초기에는 단기적으로 명확한 양(+)의 반응이 관측되며, IRF의 부호 사후확률 역시 0.5를 상회하는 등 일관된 흐름을 보인다. 반면,

글로벌 금융위기 이후부터는 반응의 크기와 신뢰도가 점차 약화되었고, 팬데믹 전후에는 부호 사후확률이 오랜 기간 0.5 수준에 머무르며 불확실성이 두드러진다. 1~12개월 누적효과도 초기에는 정(+)의 효과가 축적되다가, 시간이 흐를수록 점차 0에 가까워지는 경향이 뚜렷하다. 이와 같은 변화는 공급과 수요의 공행 경로가 점차 비용 요인에 의해 상쇄되는 방향으로 체제가 전환되고 있음을 시사한다. 표본 초기에는 알루미늄 가격과 환율 상승이 수출 채널의 확장이나 재고 조정 등을 통해 생산을 일시적으로 끌어올리는 긍정적인 공행 효과가 있었다. 그러나 시간이 지나면서 수입 투입재 비중이 늘어나고, 가변 마크업 조정 등으로 환율과 원가 간의 연계 영향이 강화되면서, 점차 원가 상승이 수요 확대 효과를 넘어서는 상황이 나타나게 됐다. 이러한 변화가 나타날 경우, 비용 충격에 대한 생산의 순반응은 0에 수렴하거나 음(-)의 구간이 확대된다. 이는 IRF 분석에서 관측되는 누적효과가 0에 근접하거나 음(-)의 영역에 지속적으로 머무르는 패턴과도 일치한다. 이러한 해석은 환율 패스스루와 비용 인상 인플레이션에 관한 기존 연구(Campa & Goldberg, 2005; Gopinath, Itskhoki, & Rigobon, 2010; Amiti, Itskhoki, & Konings, 2014) 결과와도 맥을 같이 한다.

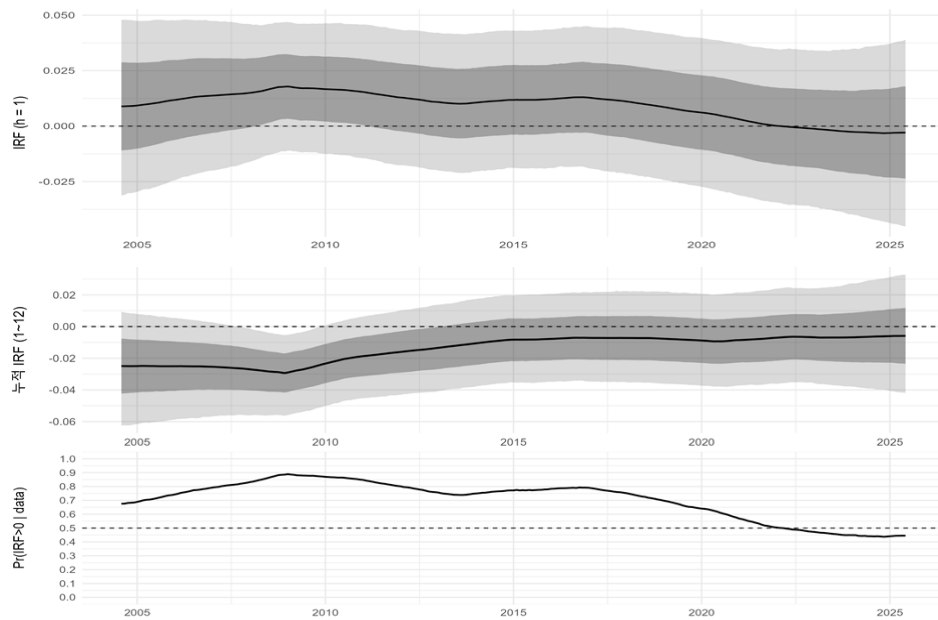
그림 5-3에서 표본 초기에는 미약한 정(+)의 반응이 나타났으나, 2010년대 후반부터 이러한 경향이 뚜렷하게 약화되었다. 2020년대에는 단기적으로 0 또는 음(-)의 구간이 확대되는 모습이 뚜렷하게 나타난다. 이 시기에는 IRF의 부호 사후확률이 0.5 이하로 유지되는 기간이 길어지고, 누적 IRF 역시 음(-) 영역에 머무는 빈도가 높아진다. 이는 원화 약세로 인해 수입 부품과 원자재 비용이 상승하면서, 이러한 비용 증가 효과가 수출 채널을 통한 순효과를 초과함을 시사한다. 특히 2022~2023년 환율 변동성이 급격히 확대된 이후, 음(-) 누적 효과가 더욱 강하게 나타났다. 이러한 현상은 산업과 국가 차원에서 환율 패스스루가 수입물가로 유의미하게 전가되는 동시에, 대형 수출·수입기업의 총체적 패스스루는 낮게 나타남을 보여준다. 이는 또한 가변 마크업 이론의 주요 내용과 일치한다(Campa & Goldberg, 2005; Amiti et al., 2014).

그림 5-4는 전체 표본에서 단기 및 누적 IRF가 일관되게 음(-)의 값을 나타냈으며, 부호 사후확률 역시 꾸준히 0.5 미만을 기록했다. 후기로 갈수록 이에 일부 상승세가 보이지만, 여전히 기준치를 넘지는 않았다. 세부적으로 살펴보면, 글로벌 금융위기 국면에서는 음(-)의 효과가 더욱 뚜렷해졌고, 2016~2017년 중국 감산기에는 금융 부문의 하방 압력이 일부 상쇄되어 효과가 점차 완화되는 감쇠적 수렴(damped convergence) 양상이 관찰됐다. 2018~2019년에는 무역 불확실성이 커지면서 음(-) 효과가 다시 강화되었으며, 2020~2021년 급락 이후의 재개 국면에서는 누적 하방 효과가 다소 완화됐다. 2022~2023년에는 공급 측의 상방 요인과 금융 요인의 하방 압력이 함께 작용하면서 약한 음(-)의 수렴이 나타났고, 2025년 6월 말에도 부호가 역전되지 않은 채 강도가 완만하게 약화되는 부호의 일관성이 유지됐다. 이러한 결과는 달러 인보이싱 체제에서 달러 강세(원화 약세)가 달러 기준 금속 가격에 하방 압력을 미친다는 거시 및 무역 미시적 근거, 그리고 2000년대 중반 이후 원자재 시장이 금융화되면서 원자재와 달러 간 동조성이 높아졌다는 기존 관찰 결과와도 일치한다(Gopinath et al., 2010; Akram, 2009; Tang & Xiong, 2012).

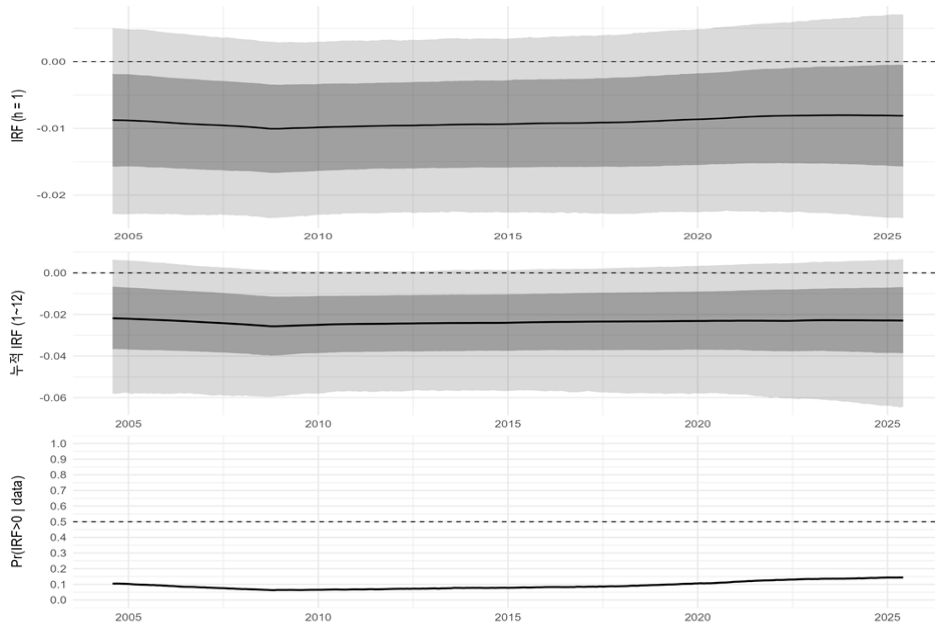
<그림 5.2> 시간가변 충격반응함수(알루미늄 가격 → 자동차·트레일러 생산)



<그림 5.3> 시간가변 충격반응함수(원/달러 환율 → 자동차·트레일러 생산)



<그림 5.4> 시간가변 충격반응함수(원/달러 환율 → 알루미늄 가격)



5.5 시간가변 예측오차 분산분해

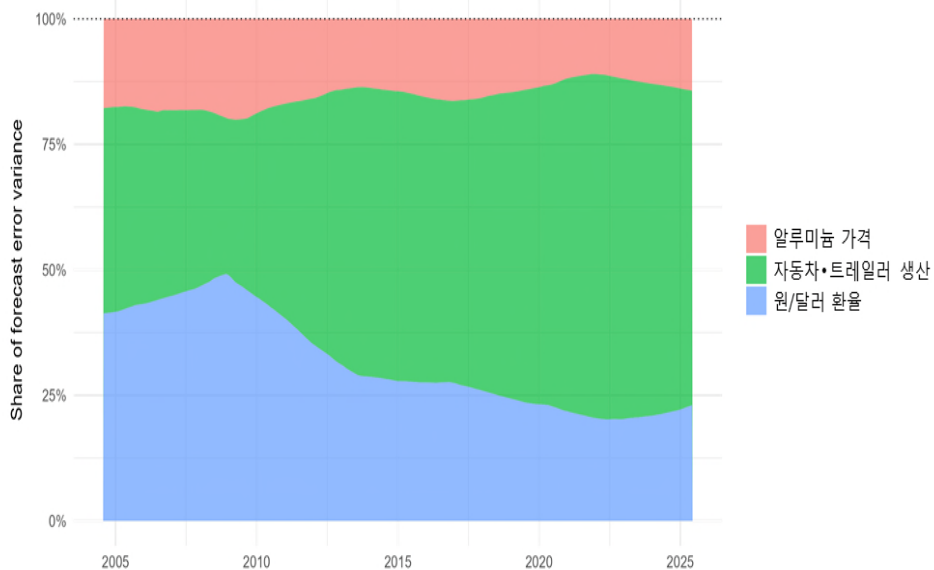
TVP-VAR-SV 모형 추정 후 분산분해 사후분석을 실시한 결과, 전체 표본 평균 기준으로 자동차 및 트레일러 생산의 자기충격 기여도가 52.8%로 가장 높게 나타났다. 이어 환율이 31.8%, 알루미늄이 15.4% 순으로 분석되었다. 이는 평상시 재고, 가동률, 수요 믹스 조정 등과 같은 내생적 운영 방안이 외생적 비용이나 환율 변화에 비해 상대적으로 더 큰 영향을 미친다는 점을 시사한다. 구조적 추세를 살펴보면, 2004~2007년 초반기에는 환율이 43.7%, 자기충격이 38.3%, 알루미늄이 18.0%로 분해되었으나, 최근인 2024~2025년에는 환율이 21.8%로 크게 낮아진 반면, 자기충격은 64.6%로 증가했고, 알루미늄은 13.6%로 소폭 감소하였다. 이와 같은 변화는 장기적으로 환율에 대한 민감도가 21.9%p 감소한 반면, 생산 및 공급망 측면에서의 내생화가 26.3%p 증가했음을 보여준다.

국면별로 비교해보면 일관된 패턴이 드러난다. 글로벌 금융위기(2008~2009) 기간에는 환율 채널의 비중이 평균 47.4%까지 상승했으며, 자기충격은 33.3%, 알루미늄은 19.3%로 각각 낮아졌다. 특히 2008년 12월에는 환율 채널이 49.2%로 극대치를 기록했고, 자기충격은 31.1%로 최저점을 보이면서, 외생적인 금융 충격 상황에서 비용·환율 중심의 경로가 우위를 보였다. 팬데믹 봉쇄기(2020년 3월~8월)에는 자기충격이 63.9%로 크게 높아졌으며, 환율은 22.9%, 알루미늄은 13.1%로 조사되어 내생적 조정 주도가 더욱 뚜렷하게 나타났다. 2021년 반도체 병목기에도 자기충격이 67.5%, 환율 21.2%, 알루미늄 11.4%로 비슷한 구조가 지속되었다. 2022~2023년 원자재 가격 급등기에는 자기충격이 67.7%, 환율 20.4%, 알루미늄 11.9%로, 자기충격의 우위가 더욱 확고해졌다.

한편, 알루미늄 채널의 극값은 2009년 4월에 최대 20.1%, 2021년 12월에 최소 11.0%로 나타났다. 이러한 시계열 및 국면별 특성은 수입함량 및 환율-원가 간 패스트루 구조의 하락, 재고 관리, 생산 라인 유연성, 조달선 다변화 등 운영상 헤지 수단의 축적이 복합적으로 작용해, 환율 및 원자재 충격의 한계효과를 낮춘 것으로 해석할 수 있다. 다만, 스트레스가 심화된 시기에는 조달선 다변화, 환헤지의 보편화, 가격 인덱싱 등과 같은 메커니즘이 일시적으로 약화되면서, 환율 비중이 일시적으로 확대되는 현상이 관찰된다.

FEVD - IRF의 수리적 매핑 관점에서 분해비중의 재배분은 전이탄력(IRF)의 변화, 충격분산(SV)의 변화, 그리고 동시식별행렬의 시계열적인 변동이 복합적으로 작용한 결과로 볼 수 있다. 팬데믹과 반도체 병목 구간에서 자기 분해비중이 확대된 것은 IRF 제곱합의 상승이나 자기충격 분산의 증가로 설명할 수 있다. 한편, 환율 약세 국면에서는 환율 충격이 상방으로 더 크게 나타나는 상대의존적 볼록성(convexity)이 관찰되었는데, 이는 글로벌 금융위기 당시 환율이 극댓값을 기록했던 현상과도 일치한다.

<그림 5.5> 시간가변 예측오차 분산분해



5.6 웨이블릿 파워 스펙트럼

웨이블릿 파워 스펙트럼(WPS) 분석 결과, 위기·정책·공급 충격의 성격에 따라 알루미늄 가격, 원/달러 환율, 자동차 및 트레일러 생산지수의 주파수별 에너지 집중도가 서로 다르게 재배치되는 것으로 나타났다. 이러한 양상은 변동성의 동조화와 전파 경로 활성화로 실증적으로 확인할 수 있다.

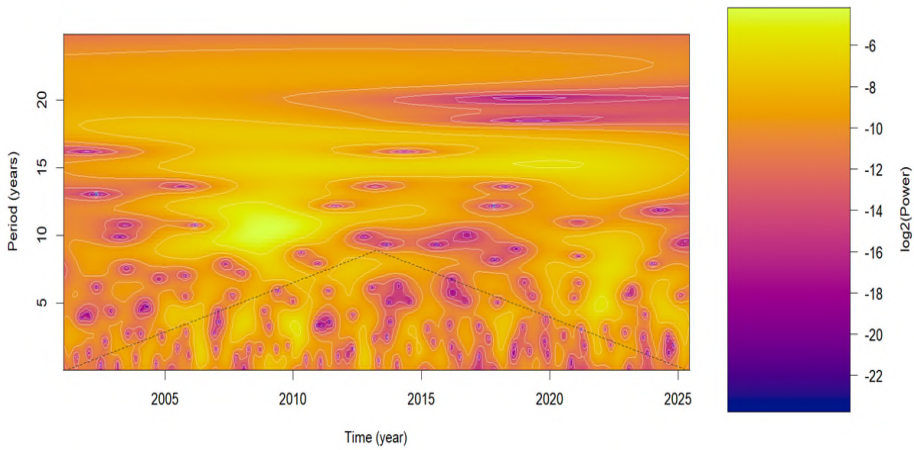
2008~2009년 글로벌 금융위기 당시 알루미늄 가격은 1~5년 대역에서 스펙트럼 파워 집중이 크게 확대되었고, 환율은 주로 고주파(단주기) 에너지 쪽에서 두드러진 집중 현상을 보였다. 생산지수 역시 2~4년 대역의 에너지가 강화되어, 가격과 환율의 고주파 충격이 생산 변동성의 단주기화로 이어진 것으로 풀이된다. 이는 불확실성 증

격에 대한 선행 연구(Bloom, 2009)와도 일치한다. 2016~2017년 중국의 공급 규제 기간에는 가격에서 중주기(약 3~6년) 고파위가 부분적으로 부각되었고, 생산지수는 2~4년 경계에서 산발적으로 고파위가 나타났다. 반면, 환율 신호는 저·중주파에서 상대적으로 약하게 분포했다. 이러한 결과는 공급정책 충격이 가격의 수준 변동과 중주기 재균형을 유발하는 한편, 실물 지표는 단·중기를 혼합한 방식으로 조정되었음을 시사한다. 이는 시장 간 변동성 연계 및 주파수별 연결성에 대한 기존 해석과도 부합한다(Baruník & Křehlík, 2018; Diebold & Yilmaz, 2012). 2020~2021년 팬데믹 시기에는 2020년 1분기에 고주파 에너지가 급등했고, 2021년 경제 재개 국면에서는 가격 에너지가 중주기로 재집중되는 양상을 보였다. 환율 역시 고주파 급등을 겪었으나, 대규모 유동성 공급으로 인해 비교적 빠르게 안정세를 찾았다. 생산지수의 경우 2020~22년 동안 2~4년 대역에서 고파위가 연속적으로 관측되었다. 이는 코로나19 충격기에 불확실성이 급증하며 실물 경기가 위축된 양상과 일치한다(Bloom, 2009). 2022~2023년 러시아 제재와 원자재 가격 급등기에는 가격에서 단·중기 복합적인 고파위가, 환율에서 고주파 재강화 현상이, 생산지수에서 고주파 에너지 증가가 동시에 포착됐다. 이 시기에는 공동변동성의 동조화 역시 한층 강화된 것으로 나타났다. 이러한 주파수별 연결성 증가는 Diebold & Yilmaz(2012), Baruník & Křehlík(2018)의 스피로버 지수 해석과 맥락을 같이 한다.

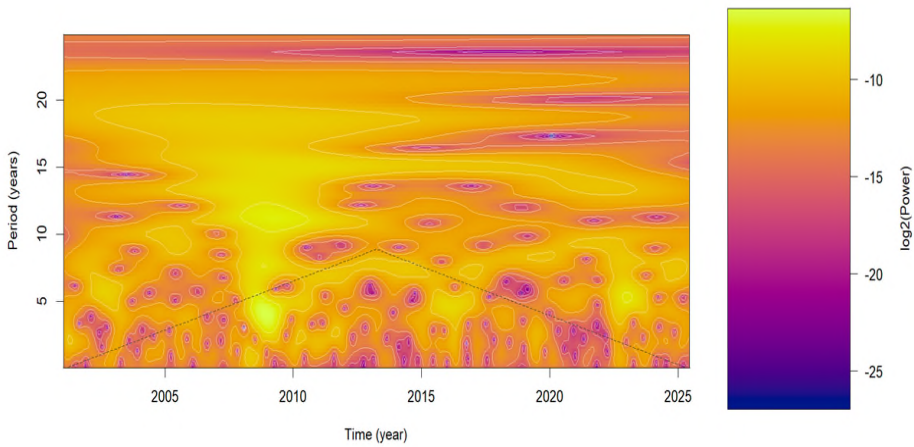
한편, 2002~2004년 GM-대우 인수, 2009년 2월 GM 파산보호 등 산업 이벤트 구간에서는 가격과 환율의 신호가 장주기·저강도로만 간헐적으로 나타났으며, 생산지수는 중주기에서 국지적으로 신호가 관찰되었다. 이처럼 위기 구간에서 고주파 변동성이 크게 확대되는 양상은, 불확실성 충격이 총수요와 총공급 경로를 통해 실물 활동을 빠르게 수축시키는 메커니즘과도 일치한다(Bloom, 2009).

비대칭성과 전파 채널 관점에서 볼 때, 가격이 상승하는 국면에서는 고주파 에너지가 비교적 크게 나타나는 반면, 하락 국면에서는 중기 재균형이 더 오래 지속되어 가격의 하방 경직성 및 메뉴 비용의 존재를 시사한다. 원화가 절하될 때는 고주파 에너지가 빠르게 증폭되지만, 절상 시에는 변화가 완만하게 진행된다. 이러한 상황에서 가격과 환율의 고주파 충격은 비용 채널, 현금흐름 및 대차대조표 채널, 크레딧·금융 가속기 채널 등을 통해 주문, 재고, 가동률에 신속한 조정을 유도하며, 이로 인해 생산 변동성의 단주기화가 발생한다. 정책적·공급적 제약이 존재할 경우, 가격의 수준 변동과 재균형 과정이 중주기 에너지로 이동하게 되고, 복합 충격이 발생하는 시기에는 이 두 가지 경로가 서로 중첩된다. 이러한 전이 메커니즘은 환율 패스스루(Campa & Goldberg, 2005; Goldberg & Campa, 2010), 대차대조표 및 크레딧 채널(Bernanke & Gertler, 1995), 금융가속기(Bernanke, Gertler, & Gilchrist, 1999; Kiyotaki & Moore, 1997) 등 기존 연구 결과로도 폭넓게 뒷받침되고 있다.

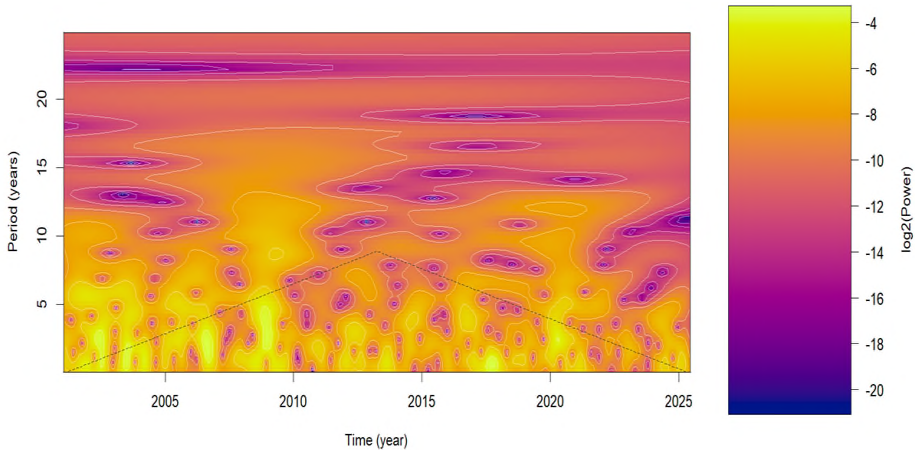
<그림 5.6> 웨이블릿 파워 스펙트럼(알루미늄 가격)



<그림 5.7> 웨이블릿 파워 스펙트럼(원/달러 환율)



<그림 5.8> 웨이블릿 파워 스펙트럼(자동차·트레일러 생산)



5.7 웨이블릿 코히어런스

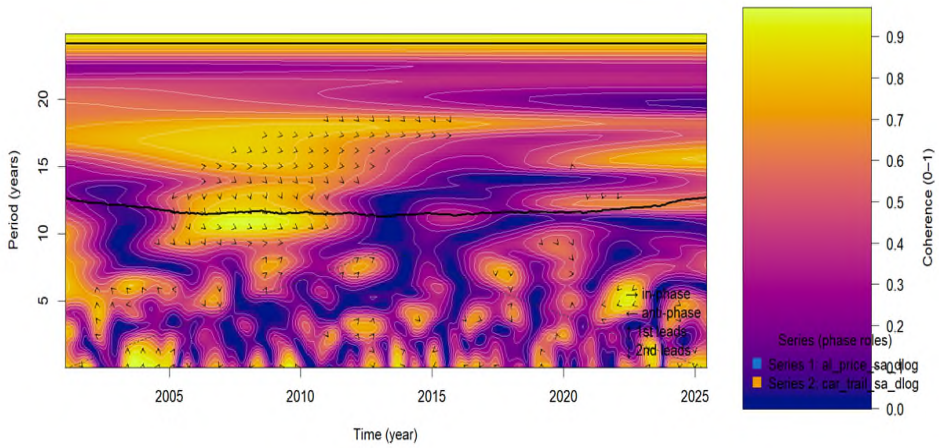
다음은 시간-주파수 영역에서의 결속도(coherence)와 위상(phase)을 웨이블릿 코히어런스 사후 분석을 통해 해석한 결과이다.

2008~2009년 글로벌 금융위기 구간에서는 장기와 준장기 대역에서 동위상 현상이 지속적으로 나타났으며, 글로벌 금융여건 충격이 실물경제에 동행적으로 미친 영향이 더욱 커졌음을 시사한다(Rey, 2013/2015). 2016~2017년 중국의 감산 및 정책 변화 시기에 준장기(약 4~12년) 대역의 코히어런스가 크게 확대되었으며, 환율과 자동차 및 트레일러 생산이 동위상으로 결합하고 환율이 생산보다 약간 앞서 움직이는 현상이 반복적으로 확인되었다. 이는 글로벌 수요와 달러 사이클 같은 공통 요인 아래에서 환율 변동이 실물 조정의 선행 지표로 작용했음을 시사한다. 이러한 결과는 글로벌 금융 사이클 및 달러 금융여건과의 동조화 메커니즘과도 일치한다(Rey, 2013/2015). 2020년 3월 팬데믹 발생 전후로는 단기(고주파) 대역에서 코히어런스가 급격히 증가하여, 공급망 충격과 정책 불확실성 등 복수 요인이 동시에 작용하며 빠른 공동 변동을 이끌었다. 특히 환율과 생산의 관계에서는 환율의 단기 선행성이 뚜렷하게 나타나, 환율이 조기경보 지표로 활용될 가능성이 높아 보인다. 이는 불확실성 충격이 실물경제의 활동과 변동성을 급격히 변화시키는 대표적 사례와도 일맥상통한다(Bloom, 2009; Baker, Bloom, & Davis, 2020).

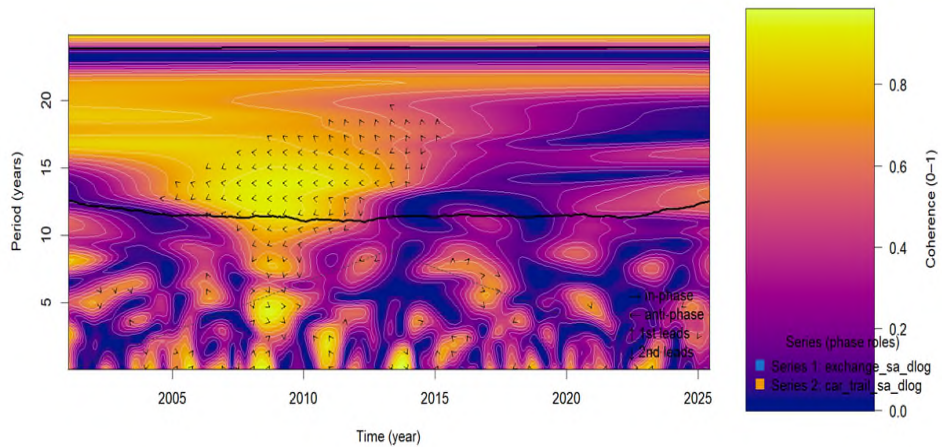
변수쌍별 주파수 - 위상은 다음과 같이 해석될 수 있다. 환율과 생산의 경우, 약 4~12년의 준장기 대역에서 높은 코히어런스가 넓게 분포하며, 환율이 다소 선행하는 구조가 반복적으로 관찰된다. 알루미늄 가격과 생산에서는 장기 대역에서 두 변수의 동위상이 주로 나타난다. 다만, 경기 국면에 따라 선행과 후행 관계가 교차하며 달라진다. 특히 수요가 확대되는 국면에서는 생산이 가격에 앞서 움직이는, 흔히 재고 - 발주 사이클로 불리는 현상이 나타난다. 반면, 비용이 급등하는 시기에는 가격 변동이 생산 조정에 제약을 주는 이른바 ‘불완전 전가’ 현상이 드러난다(Campa & Goldberg, 2005; Goldberg & Knetter, 1997). 환율과 알루미늄 가격의 관계에서는 2005~2016년 장기 대역에서 동위상과 함께 환율이 다소 선행하는 양상이 나타났으며, 이는 달러 사이클이 금속의 원화 환산가격 변동폭을 확대했음을 시사한다. 팬데믹 이후에는 일부 구간에서 동행적 수렴이 두드러지는데, 이는 글로벌 공통 요인의 동시적 충격이 강화된 결과로 해석할 수 있다. 이러한 양상은 기존 환율 - 원자재 가격 상호작용과 예측가능성에 관한 연구들과도 일치한다(Akram, 2009; Chen, Rogoff, & Rossi, 2010).

요약하자면, 웨이블릿 코히어런스 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 위기나 정책 전환기마다 주파수별 결속 구조가 새롭게 형성된다. 둘째, 환율은 생산에 대해 단기와 준장기 구간에서 약하게 선행 신호를 제공한다. 셋째, 가격과 실물 지표 간 선행과 후행 관계가 국면에 따라 달라지며, 이는 전가 정도와 재고조정 메커니즘과 밀접하게 연결된다. 이러한 분석 결과를 통해 환율 및 원자재 가격 충격이 실물 경제에 미치는 영향을 시간과 주파수 차원에서 보다 명확하게 파악할 수 있다.

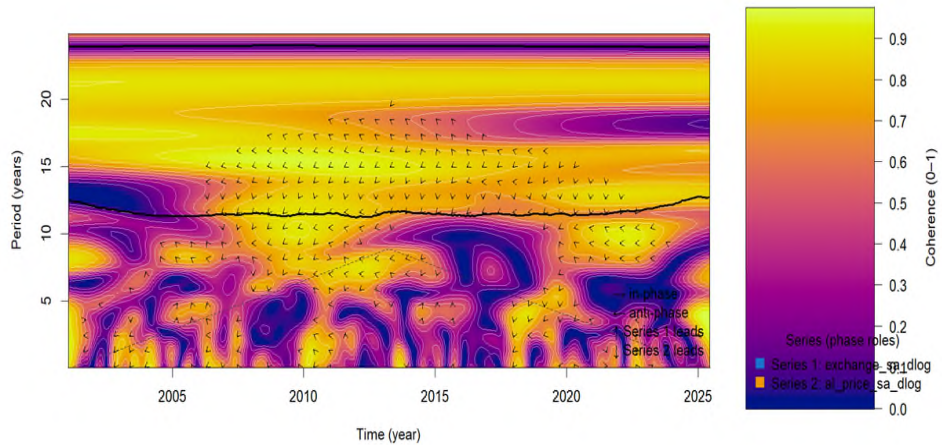
<그림 5.9> 웨이블릿 코히어런스(알루미늄 가격 vs 자동차·트레일러 생산)



<그림 5.10> 웨이블릿 코히어런스(원/달러 환율 vs 자동차·트레일러 생산)



<그림 5.11> 웨이블릿 코히어런스(원/달러 환율 vs 알루미늄 가격)



6. 결론 및 시사점

본 절에서는 사후 분석 결과를 종합적으로 해석하고, 이를 바탕으로 시사점을 제시한다. 표본 전체에서 환율이 알루미늄 가격에 미치는 단기 및 누적 영향은 대체로 음(-)의 방향으로 나타난다. 특히 위기 시에는 환율 효과의 절댓값이 커지면서, 달러 인보이싱과 증거금 제약에 의해 가격 하락 요인이 강화됨을 알 수 있다. 시변적 변동성이 크게 증가하거나 구조 행렬이 재조정되는 경우, 충격 반응이 단기적으로 국면에 따라 일시적으로 확대될 수 있다. 단기 충격이 시간이 지나면서 완화되는지 여부는 누적 충격 반응 경로를 통해 점검하였다.

이처럼 환율 효과의 부호와 크기는, 세계 원자재 시장에서 달러가 지배통화인 상황을 반영한다. 실제로 환율이 원자재의 달러 표시 가격에 역방향으로 작용한다는 국제 가격 체계와 환율 패스스루 관련 기존 연구들의 결과와도 부합한다(Gopinath, 2015; Gopinath, Itskhoki, & Rigobon, 2010). 한편, 알루미늄 가격이 자동차 및 트레일러 생산에 미치는 영향은 2010년 전후에는 단기적으로 소폭의 양(+)의 효과와 누적 영향을 보였으나, 팬데믹 이후에는 누적 반응이 0에 수렴하였다. 동시에 부호의 사후 확률이 0.5 근처에서 장기간 머물면서 가격 변동의 방향성에 대한 불확실성이 커진 양상을 보였다. 이는 비용 충격이 상방으로 전달되는 경직성과 불확실성 급증이 실물 경제에 부정적 영향을 미친다는 기존 이론과 맥락을 같이한다(Goldberg & Campa, 2010; Bloom, 2009).

환율이 생산에 미치는 영향은 2010년대 후반부터 단기적, 누적적으로 모두 부정적인 효과가 더욱 두드러지게 나타난다. 이 과정에서 비용 증가와 불확실성 요인이 수출채널을 통한 이익 효과보다 더 크게 작용하고 있으며, 이에 따라 환율 상승이 자동차·트레일러 생산을 억제하는 비용 채널의 영향이 뚜렷하게 강화된 것으로 해석할 수 있다. 예측우차분산분해 결과를 보면, 정상적인 시기에는 자기충격의 영향력이 상대적으로 크지만, 글로벌 금융위기나 팬데믹 등 불확실성이 극대화된 상황에서는 환율과 알루미늄 등 외부 요인의 기여도가 급격하게 상승한다. 특히 글로벌 금융위기 구간에서는 환율이 전체 분산 설명력의 약 49.2%를 차지해, 이 시기의 상태의존적 민감도를 보여주는 정량적 기준점으로 작용한다. 이러한 기여도의 변화는 충격반응의 제곱합, 시계열적으로 변하는 변동성, 구조행렬의 재배열 등이 복합적으로 영향을 미친 결과로 볼 수 있으며, IRF에서 나타나는 음(-)의 누적 효과가 강화되는 양상과도 일치한다. 위기 국면에서는 비용과 불확실성의 영향이 더욱 커지고, 이러한 경로는 거시적 불확실성이 실물 경기를 위축시키는 메커니즘과도 부합한다(Lütkepohl, 2005; Bloom, 2009).

충격반응, 분산분해, 웨이블릿 기반 분석 간의 교차 일관성을 살펴본 결과, 단주기 대역에서는 파워와 코히어런스가 동시에 증가하는 경향이 나타났다. 이는 FEVD에서 확인된 단기 분산기여도가 특정 시점에 단기 공행성, 즉 공동 변동성의 강화와 맞물려 있다는 점을 보여준다. 또한 환율과 생산의 코히어런스는 준장주기 대역에서 동상 관계를 보이며, 환율이 생산에 비해 일부 시점에서 선행하는 패턴이 반복적으로 관찰되었다. 다시 말해, 환율 급변이 우선 발생한 뒤 일정한 시차를 두고 생산 조정이 뒤따르는 구조가 IRF의 시간가변 반응, FEVD의 국면별 기여도 변화, 웨이블릿 코히어런

스의 위상 분석에서 모두 일관되게 나타난다. 이처럼 동일한 사건에서 충격반응의 정점, 단주기 코히어런스의 급격한 상승, 그리고 단기 분산기여도의 확대가 동시에 관찰될 경우 이를 동시 전이로 판단하고, 이러한 기준을 통해 분석 결과의 강건성을 확보하였다. 이러한 해석은 분산분해 및 웨이블릿 분석의 위상 해석, 그리고 경제학 분야에서 확립된 국면·주파수 동조 해석 원칙에 근거한 것이다(Lütkepohl, 2005; Grinsted, Moore, & Jevrejeva, 2004; Aguiar-Conraria & Soares, 2014; Rua, 2010).

국면별 파급 강도의 증가는 수입투입비율과 환율 전가율의 상승, 그리고 신용 및 유동성 제약 강화로 인한 완충 기능의 약화, 마지막으로 글로벌 상품가격 충격의 동시 전이로 설명할 수 있다. 미시와 거시를 연결하는 작동 경로를 살펴보면, 환율 급변이 원화 기준 비용을 높이고, 이로 인해 현금흐름과 담보 제약이 심화되어 생산 및 투자 속도가 둔화된다. 또한, 금속 가격 급등은 상향 경직적 전가를 유발해 수요 탄력성은 낮아지고, 수익성 압박으로 생산이 줄어드는 경로로 요약할 수 있다. 정책과 실무 측면에서 환율과 알루미늄 가격이 준장주기 구간에서 동조 현상을 나타낸다. 특히 환율이 일부 선행 신호를 보여줄 때에는, 통화와 금속을 동시에 활용한 이중 헤지 전략을 강화하는 것이 효과적이다. 한편, 자기충격이 급등할 경우 라인 가동률과 납기 지표의 경보 임계값을 상향 조정하는 것도 합리적이다. 더불어, 웨이블릿 코히어런스 기반 조기경보 활용은 경제학 분야에서 확립된 절차를 반영해 설계되어, 본 해석의 정책 번역 정당성을 추가로 보장한다. 결과적으로 본 연구의 정책적·실무적 시사점과 그 내재적 논리구조는 일관되게 유지됨을 알 수 있다.

본 연구의 사후 분석 결과를 통해 확인된 가장 중요한 사실은, 한국 자동차와 트레일러 산업의 비용 구조가 알루미늄 가격(미국 달러 기준)과 원/달러 환율의 변동에 본질적으로 크게 영향을 받는다는 점이다. 특히 시장 상황에 따라 이러한 영향의 크기와 시차가 뚜렷하게 달라지는 것으로 나타났다. 또한 알루미늄은 자동차·트레일러뿐만 아니라 전기·전자, 건설, 송전망 등 여러 제조업 분야에서 중간재로 널리 사용되기 때문에, 알루미늄 가격이나 환율 충격이 다른 산업의 비용 구조를 거쳐 간접적으로 자동차·트레일러 산업에까지 영향을 미칠 가능성도 배제할 수 없다. 이번 연구는 자동차 및 트레일러 산업에 한정하여 단일 산업 차원의 분석만을 수행했기 때문에, 이러한 산업 간 전이 효과를 직접 계량적으로 다루지는 못했다. 앞으로는 산업연관표나 다부문 TVP-VAR-SV 모델과 같은 방법론을 적용해 알루미늄과 환율 충격의 산업 간 파급 경로를 보다 체계적이고 정량적으로 분석할 필요가 있다.

이를 바탕으로 정책적 시사점은 하나의 전략적 축으로 통합할 필요가 있다. 본 연구 결과는 조달, 재무, 생산, 가격 전략을 각각의 개별 기능으로 볼 것이 아니라, 통합된 리스크 관리 체계로 함께 설계해야 한다는 점을 보여준다.

첫째, 조달과 재무를 결합한 이중 헤지와 가격지수 연동 조달체계를 통해 비용 충격에 선제적으로 대응하는 방안을 모색해야 한다. TVP-VAR-SV 및 웨이블릿 분석 결과를 보면, 위기 국면에서는 알루미늄 가격과 환율이 단기 및 중기 비용 변동성뿐만 아니라 생산 변동성에도 미치는 영향이 크게 확대된다. 이에 따라 원자재와 환율의 포지션을 함께 고려하는 이중 헤지 원칙과, LME 가격 및 프리미엄에 연동된 표준화된 조달계약을 적극적으로 활용해 비용 충격을 효과적으로 완화할 필요가 있다. 특히 환

율이 생산에 대한 선행 신호가 약한 구간에서는 코히어런스 신호를 빠르게 가격 결정과 헤지 커버리지 조정에 반영해 리드타임을 확보하는 것이 중요하다.

둘째, 제도 변화와 전동화·경량화 추세에 맞춰 조달 경로를 다각화하고 국내 알루미늄 집약 역량을 한층 강화해야 한다. 관세, 제재, 프리미엄 등 여러 제도적 요인으로 인해 실제 구매 단가가 LME와 차이를 보일 수 있으며, 2018년 232조 관세와 그 당시의 제재로 프리미엄 격차가 크게 벌어졌던 경험은 산지, 등급, 프리미엄(지역, 창고) 등 다양한 요소에서 조달을 분산하고, 운영 재고와 완충 재고를 모두 충분히 확보해야 함을 보여준다. 또한 북미 BEV 기준 차량 한 대당 알루미늄 사용량이 약 401kg에 달하는 등 전동화와 경량화가 빠르게 진행되는 상황에서, 구조·압출·가공·재활용 등 생산 전 과정을 결합한 국내 생산기반의 질적 강화는 비용 변동성이 큰 환경에서도 기업의 수익성을 지키는 데 중요한 역할을 한다.

셋째로, 국면 전환기에 외부에서 발생하는 충격의 분산 기여가 커지는 점을 고려해, 유동성 백스톱과 행동 중심의 거버넌스 체계를 정비할 필요가 있다. 전환기에는 자생적인 리스크의 비중이 줄고, 환율이나 알루미늄 가격 같은 외부 요인의 단기 영향력이 커지기 때문에, 운전자금, 재고담보, 마진콜 등 주요 항목에 대한 안정장치와 수출채널 내 환율 변동에 대응할 수 있는 보호장치를 포함한 유동성 지원 체계를 마련해야 한다. 아울러 IRF의 정점, 코히어런스 급등, 단기 분산 기여 확대와 같은 모델의 신호를 종합적으로 활용해 위험 등급을 체계적으로 분류하고, 등급이 상향될 경우 자금 조달, 헤지 전략, 재고 및 생산 조정이 자동으로 실행될 수 있도록 조기 경보 및 대응체계를 상시 운영해야 한다. 이를 통해 계량적 신호가 실제 의사결정과 행동으로 자연스럽게 이어질 수 있도록 하는 것이 중요하다. 이처럼 비용 방어, 조달 방식의 다변화와 역량 강화, 그리고 유동성 및 거버넌스 체계를 유기적으로 결합하면, 국제 정세 변화에 따른 외부 충격에도 상태에 따라 유연하게 대응할 수 있다. 그 결과, 국내 자동차 및 트레일러 산업의 경쟁력 향상과 거시적 안정성 강화, 두 가지 목표를 동시에 달성할 수 있을 것이다.

(2025년 10월 22일 접수, 2025년 11월 25일 수정, 2025년 12월 3일 채택)

참고문헌

- 기획재정부. (2024, 4월 8일). “아세안+3 거시경제조사기구(AMRO) 2024년 지역경제 전망(AREO)” 보고서 발표 [보도자료].
- 산업연구원(KIET). (2024). “2024년 하반기 경제·산업 전망” (KIET 경제·산업 전망 2024-01(1)). 산업연구원.
- 이근영. (2009). “수입 및 국내물가에 대한 환율전가효과”. 『경제학연구』, 57(4), 39 - 71.
- 이서진, & 유종민. (2023). “국제원자재 가격의 국내 인플레이션 전이 효과: 비대칭성과 2차 효과 분석”. 『산업연구』, 7(2), 30 - 59.
- 이승호. (2024). “우리나라의 해외증권투자 현황과 외환시장에 대한 영향 분석” (이슈 보고서 24-15). 자본시장연구원.
- 한국개발연구원(KDI). (2024). “2024년 상반기 경제전망”. 한국개발연구원.
- 한국은행. (2021, 6월 10일). “국제원자재가격 상승배경 및 국내경제에 대한 파급영향 점검” (이슈노트 2021-12호).
- 한국은행. (2023, 4월 19일). “원/달러 환율 변동성과 변화율의 국제비교”. 한국은행.
- Aguiar-Conraria, L., & Soares, M. J. (2011). “Business cycle synchronization and the Euro area: A wavelet analysis”. *Journal of Macroeconomics*, 33(3), 477 - 489.
- Aguiar-Conraria, L., & Soares, M. J. (2013). “The continuous wavelet transform: Moving Beyond Uni-And Bivariate Analysis”. *Journal of Economic Surveys*, 28(2), 344 - 375.
- Akram, Q. F. (2009). “Commodity prices, interest rates and the dollar”. *Energy Economics*, 31(6), 838 - 851.
- Amiti, M., Itskhoki, O., & Konings, J. (2014). “Importers, exporters, and exchange rate disconnect”. *American Economic Review*, 104(7), 1942 - 1978.
- Nookhwun, N., Pattararangrong, J., & Rungcharoenkitkul, P. (2025, May). *Exchange rate effects on firm performance: A NICER approach (BIS Working Papers No. 1266)*. Bank for International Settlements.
- Bañbura, M., Bobeica, E., & Martínez Hernández, C. (2024, March 19). “Shocked to the core: A new model to understand euro area inflation (ECB Research Bulletin No. 117)”. European Central Bank.
- Baker, S. R., Bloom, N., & Davis, S. J. (2020). “COVID-induced economic uncertainty (NBER Working Paper No. 26983)”. National Bureau of Economic Research.
- Baruník, J., & Křehlík, T. (2018). “Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and Systemic Risk”. *Journal of Financial Econometrics*, 16(2), 271 - 296.
- Baumeister, C., & Peersman, G. (2013). “Time-varying effects of oil supply shocks on the US Economy”. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 5(4), 1 - 28.

- Bernanke, B. S., & Gertler, M. (1995). "Inside the black box: The credit channel of monetary policy transmission". *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 27 - 48.
- Bernanke, B. S., Gertler, M., & Gilchrist, S. (1999). "The financial accelerator in a quantitative business cycle framework". In J. B. Taylor & M. Woodford (Eds.), *Handbook of Macroeconomics (Vol. 1C, pp. 1341 - 1393)*. Elsevier.
- Bloom, N. (2009). "The impact of uncertainty shocks". *Econometrica*, 77(3), 623 - 685.
- Brooks, S. P., & Gelman, A. (1998). "General methods for monitoring convergence of iterative simulations". *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 7(4), 434 - 455.
- Campa, J. M., & Goldberg, L. S. (2002). "Exchange rate pass-through into import prices (NBER Working Paper No. 8934)". National Bureau of Economic Research.
- Campa, J. M., & Goldberg, L. S. (2005). "Exchange rate pass-through into import prices". *Review of Economics and Statistics*, 87(4), 679 - 690.
- Carrière-Swallow, Y., Gruss, B., Magud, N., & Valencia, F. (2016). "Monetary policy credibility and exchange rate pass-through (IMF Working Paper WP/16/240)". International Monetary Fund.
- Chen, Y.-C., Rogoff, K., & Rossi, B. (2010). "Can exchange rates forecast commodity prices?" *Quarterly Journal of Economics*, 125(3), 1145 - 1194.
- CM Group. (2021). "Assessment of aluminium usage in China's automobile industry 2016 - 2030" (Report for the International Aluminium Institute).
- Cogley, T., & Sargent, T. J. (2005). "Drifts and volatilities: Monetary policies and outcomes in the post-WWII U.S." *Review of Economic Dynamics*, 8(2), 262 - 302.
- Dechezleprêtre, A., Diaz, L., Fadic, M., & Lalanne, G. (2023). "How the green and digital transitions are reshaping the automotive ecosystem (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers No. 144)". OECD Publishing.
- Devereux, M. B., Lu, R., Shi, K., & Xu, J. (2025, March). *A model of global currency pricing (NBER Working Paper No. 33540)*. National Bureau of Economic Research.
- Del Negro, M., & Primiceri, G. E. (2015). "Time-varying structural vector autoregressions and monetary policy: A corrigendum". *The Review of Economic Studies*, 82(4), 1342 - 1345.
- Del Negro, M., & Primiceri, G. (2013). "Time-varying structural VARs and monetary policy: A corrigendum (FRBNY Staff Report No. 619)". Federal Reserve Bank of New York.

- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2012). "Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers". *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57 - 66.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). "Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root". *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427 - 431.
- Ducker Carlisle LLC. (2023, April). "Aluminum content in passenger vehicles (Europe): Assessment 2022 and outlook 2026, 2030" [Public summary].
- Ducker Holdings LLC. (2023, April). *ATG 2022 North American light vehicle aluminum content and outlook summary: Public summary report*. Aluminum Association, Aluminum Transportation Group.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). "Co-integration and error correction". *Econometrica*, 55(2), 251 - 276.
- European Aluminium. (2025). "Environmental profile report 2024 (Version 2.0, July 2025)". European Aluminium.
- López, L., Odendahl, F., Párraga, S., & Silgado-Gómez, E. (2024). *The pass-through to inflation of gas price shocks (ECB Working Paper No. 2968)*. European Central Bank.
- 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.
- Geyer, C. J. (1992). "Practical Markov chain Monte Carlo". *Statistical Science*, 7(4), 473 - 483.
- Goldberg, L. S., & Campa, J. M. (2010). The sensitivity of the CPI to exchange rates: Distribution margins, imported inputs, and trade exposure. *The Review of Economics and Statistics*, 92(2), 392 - 407.
- Goldberg, P. K., & Knetter, M. M. (1997). "Goods prices and exchange rates: What have we learned?" *Journal of Economic Literature*, 35(3), 1243 - 1272.
- Gopinath, G. (2015). "The international price system (NBER Working Paper No. 21646)". National Bureau of Economic Research.
- Gopinath, G., Itskhoki, O., & Rigobon, R. (2010). "Currency choice and exchange-rate pass-through". *American Economic Review*, 100(1), 304 - 336.
- Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). "Application of the cross-wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series". *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, 561 - 566.
- Hamilton, J. D. (1994). "Time series analysis". Princeton University Press.
- International Aluminium Institute. (2019, February). *Assessment of aluminium usage in China's automobile industry, 2016 - 2030: Executive summary*.

- International Energy Agency. (2023). Aluminium.
- Johansen, S. (1988). "Statistical analysis of cointegration vectors". *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2 - 3), 231 - 254.
- Johansen, S. (1991). "Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models". *Econometrica*, 59(6), 1551 - 1580.
- KDI Economic Information & Education Center. (2024). "2020 input - output tables: Key results (Korea)".
- Kilian, L. (2009). "Not all oil price shocks are alike". *American Economic Review*, 99(3), 1053 - 1069.
- Kilian, L., & Murphy, D. P. (2012). "Why agnostic sign restrictions are not enough: Understanding the dynamics of oil market VAR models". *Journal of the European Economic Association*, 10(5), 1166 - 1188.
- Kilian, L., & Murphy, D. P. (2013). "The role of inventories and speculative trading in the global market for crude oil". *Journal of Applied Econometrics*, 29(3), 454 - 478.
- Kim, S., Shephard, N., & Chib, S. (1998). "Stochastic volatility". *The Review of Economic Studies*, 65(3), 361 - 393.
- Kiyotaki, N., & Moore, J. (1997). "Credit cycles". *Journal of Political Economy*, 105(2), 211 - 248.
- Koop, G., & Korobilis, D. (2010). "Bayesian multivariate time series methods for empirical macroeconomics". *Foundations and Trends in Econometrics*, 3(4), 267 - 358.
- Korea Automobile Manufacturers Association. (2018). "Automobile industry statistics yearbook 2018".
- Korea International Trade Association. (2024). "Quarterly export shares by item: Automobiles".
- Korea International Trade Association. (2025). "Global automobile production and Korea's rank (2024)".
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). "Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root". *Journal of Econometrics*, 54(1 - 3), 159 - 178.
- Link, W. A., & Eaton, M. J. (2012). "On thinning of chains in MCMC". *Methods in Ecology and Evolution*, 3(1), 112 - 115.
- Lütkepohl, H. (2005). "New introduction to multiple time series analysis". Springer.
- OECD. (2023). "Regional industrial transitions to climate neutrality (OECD Regional Development Studies)". OECD Publishing.
- OECD. (2025, May). "OECD inventory of export restrictions on industrial raw materials: Export restrictions amid growing market and policy tensions". OECD Publishing.

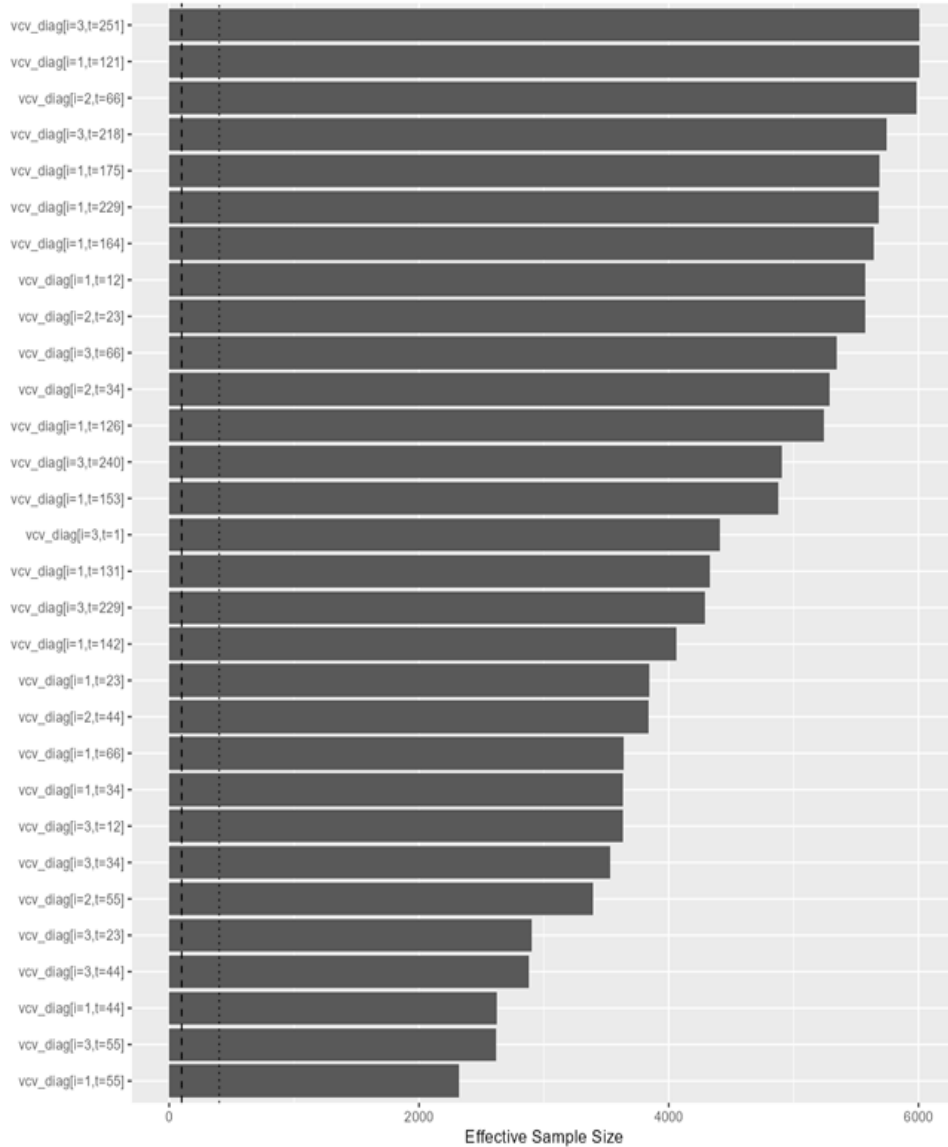
- The Observatory of Economic Complexity. (2025a). “Korea—Imports of aluminium and articles thereof (HS 76)”, 2024.
- The Observatory of Economic Complexity. (2025b). “Korea—Imports of unwrought aluminium (HS 7601)”, 2024.
- Ostry, J. D., Lloyd, S., & Corsetti, G. (2025). *Trading blows: The exchange rate response to tariffs and retaliations (Bank of England Staff Working Paper No. 1139)*. Bank of England.
- Ponomareva, N., Sheen, J., & Wang, B. Z. (2024). “Metal and energy price uncertainties and the global economy”. *Journal of International Money and Finance*, 143, 103044.
- Primiceri, G. E. (2005). “Time-varying structural vector autoregressions and monetary policy”. *The Review of Economic Studies*, 72(3), 821 - 852.
- Rey, H. (2015). *“Dilemma not trilemma: The global financial cycle and monetary policy independence (NBER Working Paper No. 21162)”*. National Bureau of Economic Research.
- Said, S. E., & Dickey, D. A. (1984). “Testing for unit roots in autoregressive-moving average models of unknown order”. *Biometrika*, 71(3), 599 - 607.
- Schwert, G. W. (1989). “Tests for unit roots: A Monte Carlo investigation”. *Journal of Business & Economic Statistics*, 7(2), 147 - 159.
- Sims, C. A. (1980). “Macroeconomics and reality”. *Econometrica*, 48(1), 1 - 48.
- Sims, C. A., & Zha, T. (1999). “Error bands for impulse responses”. *Econometrica*, 67(5), 1113 - 1155.
- Tang, K., & Xiong, W. (2012). “Index investment and the financialization of commodities”. *Financial Analysts Journal*, 68(6), 54 - 74.
- Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). “A practical guide to wavelet analysis”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61 - 78.
- U.S. Census Bureau. (2016). “X-13ARIMA-SEATS reference manual”. U.S. Census Bureau.
- United States International Trade Commission. (2023, March). “Economic impact of Section 232 and 301 tariffs on U.S. industries (Pub. 5405)”.
- Westmetall. (2024 - 2025). “LME aluminium cash seller & settlement prices (monthly averages)”.
- White House. (2018, March 8). “Proclamation 9704—Adjusting imports of aluminum into the United States”.
- World Bank. (2024, October). “Commodity markets outlook: What’s changed with commodity prices?” World Bank.
- World Bank. (2025, April). “Commodity markets outlook (April 2025)”. World Bank.
- World Integrated Trade Solution. (2023). “Trade statistics for HS 760110 (unwrought aluminium, not alloyed): Australia → Republic of Korea”, 2023. World Bank.

[부록]

ESS 검토

ESS (낮은 값 상위 30개)

통과율: ESS≥100 100.0% | ESS≥400 100.0%



Global Metal Prices and Exchange-Rate Pass-Through: Quasi-Long-Cycle Co-Movement and Lead-Lag Patterns in Korea's Automotive and Trailer Industry

Jeong Tae Oh²⁾

Abstract

This study assesses, using monthly data, the extent to which—and when the effects are strongest—the cost structure of Korea's automotive and trailer industry is affected by movements in the US-dollar-denominated price of aluminium and the won-US dollar exchange rate. The analysis shows that industry costs are structurally sensitive to fluctuations in both variables, with the intensity and timing of the effects varying markedly with market conditions, including the business cycle and the policy environment. The heightened sensitivity reflects a high import content of inputs, stronger exchange-rate pass-through, deteriorating credit and liquidity conditions, and the concurrent transmission of global commodity-price shocks. At medium-to-long (quasi-long-cycle) frequencies, aluminium prices and the exchange rate co-move, with the latter providing a partial leading signal. These findings imply that strengthening a dual-hedging strategy—managing currency and metal exposures in tandem—is the more rational course. On the operational and policy fronts, index-linked procurement; diversification of supply sources with buffer inventories; regime-contingent liquidity backstops; and early-warning and response governance that ties quantitative signals to concrete actions are effective in absorbing cost volatility.

Key words : TVP-VAR-SV, Aluminium price, Exchange-rate pass-through, Automotive and trailer production index

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