

조건부 상호 정보량 개념을 활용한 Baltic Dry Index 기반 국면 조건 하의 국제 금융 시장 간의 상호 정보 전이에 대한 연구

구지회^{1,*}, 이 찬^{1,*}, 이채민^{1,*}, 장준필^{1,*}, 최인수^{2,†}

¹ 경희대학교 산업경영공학과 학부생

² 동덕여자대학교 경영융합학부 조교수

*공동 제 1 저자 / †교신저자

jh.koo@khu.ac.kr, chan112500@khu.ac.kr, chaemin@khu.ac.kr, jang17107@khu.ac.kr, ischoi@dongduk.ac.kr

Information Transmission Between International Financial Markets Across Baltic Dry Index–Conditioned Regimes Using Conditional Mutual Information.

Jihoe Koo^{1,*}, Chan Lee^{1,*}, Chaemin Lee^{1,*}, Junpil Jang^{1,*}, Insu Choi^{2,†}

¹Dept. of Industrial and Management Systems Engineering, Kyung Hee University

²Division of Business Administration, Dongduk Women's University

요 약

본 연구는 Baltic Dry Index(BDI)를 중심으로 주요 해운-원자재 지표 데이터를 수집하고, 이를 기반으로 로그 수익률 변환 및 Gaussian Mixture Model(GMM) 기반의 국면 분류를 수행하는 것을 목표로 한다. 특히, 해운경기의 변동성을 반영하는 BDI를 활용하여 경기 사이클을 구분하고, 이를 정량적으로 분석함으로써 시장 구조 및 패턴을 이해하는 데 기여하고자 하였다.

1. 서론

해상운임지수(Baltic Dry Index, BDI)는 세계 원자재 물동량과 글로벌 경기의 변동을 반영하는 대표 지표이다. 기존 연구는 BDI와 글로벌 금융시장 간 관계를 Granger 인과성 검정이나 상관분석으로 접근했으나, 이러한 선형적 접근은 금융 네트워크의 비선형성과 경기 국면 변화를 충분히 반영하지 못한다. 이에 본 연구는 2001년 이후 BDI 변동과 주요 국가들의 주식시장 지수 사이의 동태적 인과관계를 실증적으로 규명하고자 한다. 이를 위해 전통적인 Granger 인과성 검정(GC)과 함께 정보이론 기반의 전이 엔트로피(Transfer Entropy, TE) 및 조건부 전이 엔트로피(Conditional Transfer Entropy, CTE)를 적용하여, 비선형적·비정상적 특성을 갖는 금융 시계열 데이터에 적합한 분석틀을 마련하였다.

2. 데이터

연구 데이터는 2001년부터 2025년 상반기까지의 일별 BDI와 미국, 중국을 비롯한 주요 주가지수로 구성되었다(〈표 1〉 참조). 모든 데이터는 로그 수익률로 변환하여 정상성을 확보하였다. BDI의 변동성은 가우시안 혼합 모형(Gaussian Mixture Model, GMM)을 이용하여 고국면과 저국면으로 분류하였다. 이러한 국면 분류는 글로벌 경기의 확장·수축 국면과 밀접하게 연동된 패턴을 반영한다.

Granger 인과성 검정은 전통적인 자기회귀 모형 기반의 예측 가능성을 토대로 수행되었다. 귀무가설은 “과거의 BDI가 주가지수의 예측력에 기여하지 않는다”라는 형태로 설정되었다. 그러나 Granger 검정은 선형 관계에 한정되므로 비선형성과 조건부 효과를 반영하기 위해 전이 엔트로피와 조건부 전이 엔트로피가 추가적으로 활용되었다. 전이 엔트로피는 확률 분포의 조건부 엔트로피 차이를 통해 한 시계열에서 다른 시계열로의 정보 흐름을 포착하는 방법으로 정의되며, 다음과 같은 형태로 나타난다 [1].

$$TE_{X \rightarrow Y} = \sum p(y_{t+1}, y_t^{(k)}, x_t^{(l)}) \log \frac{p(y_{t+1} | y_t^{(k)}, x_t^{(l)})}{p(y_{t+1} | y_t^{(k)})}.$$

여기서 $x_t^{(l)}$ 와 $y_t^{(k)}$ 는 각각 시계열 X 와 Y 의 과거 정보를 나타낸다. 조건부 전이 엔트로피는 특정 제 3의 변수 Z 의 영향을 통제한 상태에서 순수한 정보 흐름을 측정하기 위해 확장된 방식으로 정의되며, 그 식은 다음과 같다 [2].

$$CTE_{X \rightarrow Y | Z} = \sum p(y_{t+1}, y_t^{(k)}, x_t^{(l)}, z_t^{(m)}) \log \frac{p(y_{t+1} | y_t^{(k)}, x_t^{(l)}, z_t^{(m)})}{p(y_{t+1} | y_t^{(k)}, z_t^{(m)})}.$$

여기서 $z_t^{(m)}$ 는 제 3 의 변수의 과거 이력을 의미한다. TE 와 CTE 는 비모수적 부트스트랩 [3] 을 통해 유의수준을 산출하여 통계적 타당성을 확보하였다.

3. 분석 결과

누적 윈도우 기반 GMM 분석 결과, 각 전이 방법에 따른 국면 전환 횟수는 CTE 가 25 회로 가장 많았고, GC 는 18 회, TE 는 3 회로 상대적으로 적게 나타났다(<그림 B2>). 이는 세 가지 방법론이 금융 네트워크의 동적 변화를 포착하는 민감도에서 차이를 보임을 의미한다. GC 는 전통적인 선형적 전이 흐름을 비교적 잘 반영했으나, 실물 충격에 따른 구조적 재편의 세밀한 패턴을 충분히 잡아내지 못했다. TE 는 정보 흐름을 포착하는 데 있어 유용하지만, 국면 전환 횟수가 적다는 점은 경기 상황 변화에 대한 민감도가 상대적으로 낮음을 시사한다. 반면 CTE 는 TE 가 설명하지 못하는 부분까지 추가적으로 반영하면서 금융 네트워크의 재편 과정을 보다 정교하게 드러내는 것으로 나타났다. 방법론 간 연관성 비교 결과의 경우, GC-TE, GC-CTE 간 부분적 일관성이 관찰된 반면, TE-CTE 간에는 뚜렷한 차이가 나타나 CTE 가 TE 가 설명하지 못한 정보 전이를 추가적으로 포착함을 확인하였다.

국면별 네트워크 밀도는 경기 확장기(고국면)에 연결성과 강도가 강화되고, 경기 수축기(저국면)에는 특정 시장 중심으로 집중되는 양상을 보였다. 이는 확장기에는 국가 간 정보 전이가 활발한 반면, 수축기에는 위험 회피로 주요 시장 의존도가 심화되는 구조적 특성을 시사한다.

기존 연구의 한계를 보완하기 위해 적용한 TE 와 CTE 의 시계열적 변화에서는, TE 보다 CTE 에서 정보 전이 강도의 변동폭이 더욱 뚜렷하게 나타났다. 특히 Yule's Q 및 ϕ 계수 기반 히트맵에서 CTE 의 전이 계수가 전반적으로 양(+)의 방향으로 높게 유지되며(CTE 평균 0.42 vs TE 의 0.18), 이는 BDI 를 통제함으로써 금융시장 간의 순수한 정보 흐름이 강화됨을 시사한다.

또한, 코로나 19 팬데믹기 비교 분석에서도 CTE 기반 네트워크가 TE 보다 높은 간선(edge) 밀도를 유지했으며, 유의성 검정 이후에도 잔존 간선 수가 많아 조건부 분석의 설명력을 뒷받침하였다.

4. 논의 및 결론

본 연구는 BDI 를 경기 사이클의 대리변수로 활용하여 금융시장 간 정보 전이와 네트워크 구조 변화를 분석하였다. 누적 윈도우 기반 GMM 분석 결과, 국면 전환 횟수는 CTE(25 회)가 가장 많아 실물 경기 변동에 민감하게 반응하며, 금융 네트워크의 정보 전이 패턴을 효과적으로 포착하는 것으로 나타났다. 초기에 설정한 귀무가설은 선형 지표(GC)와 부트스트랩 기반의 통계적 유의성 분석을 통해 대부분의 기간에서 기각되었다. 이는 BDI 가 단순한 경기 대리지표를 넘어, 금융시장 간 정보 전이에 실질적으로 기여함을 의미한다.

또한, CTE 가 TE 나 GC 보다 더 높은 민감도와 구조적 일관성을 보였다는 점은, 금융 네트워크의 비선형적 조건부 인과 구조가 실물 경제의 국면 변동에 따라 강화됨을 보여준다.

국면별 네트워크 밀도 비교에서는 경기 확장기(고국면)에 연결성과

중심성이 강화된 반면, 경기 수축기(저국면)에는 일부 주요 시장으로 집중되는 양상이 나타났다. 코로나 19 팬데믹기 분석에서도 CTE 네트워크가 TE 보다 높은 간선 밀도를 보이며, 유의성 검정 이후에도 더 많은 간선이 잔존하였다.

종합하면, 금융 네트워크는 실물 경기 상황에 따라 동태적으로 재편되며, 선형 지표(GC)만으로는 설명되지 않는 비선형적 조건부 전이가 존재한다. 특히 CTE 는 금융-실물 연계성을 보다 명확히 드러내며, 글로벌 금융 불안정성 분석과 투자 전략 수립 시 실물경제 조건을 고려해야 함을 시사한다.

참고문헌

- [1] Schreiber, T., *Measuring information transfer*, Physical Review Letters, Vol. 85, No. 2, pp. 461-464, 2000.
- [2] Frenzel, S., Pompe, B., *Partial mutual information for coupling analysis of multivariate time series*, Physical Review Letters, Vol. 99, No. 20, pp. 204101-1-204101-4, 2007.
- [3] Dimpfl, T., Peter, F. J., *Using transfer entropy to measure information flows between financial markets*, Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, Vol. 17, No. 1, pp. 85-102, 2013.

부록

A. 표

표 A1. EU 를 제외한 G20 국가의 대표 주가지수

국가명	대표 주가 지수
China	SSE Composite
Japan	Nikkei 225
United Kingdom	FTSE 100
France	CAC 40
Germany	DAX 40
Canada	S&P TSX Composite
Australia	S&P ASX 200
Brazil	Ibovespa
Mexico	IPC
Russia	Moex
Saudi Arabia	TASI
Turkey	BIST100
South Africa	FTSE JSE TOP 40
Indonesia	Jakarta Stock Exchange Composite
United States	S&P 500
South Korea	KOSPI
Italy	FTSE MIB
India	Nifty 50
Argentina	S&P Merval

B. 그림

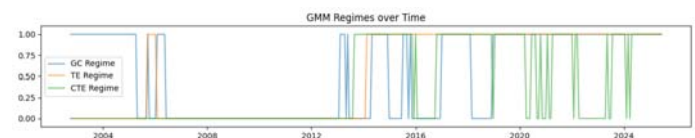


그림 B1. 누적 윈도우 기반 GMM을 활용한 전이 방법별 시점별 국면 변화