

오차교정모형을 활용한 일간 벌크선 해상운임 분석과 예측*

고병욱**

Analysis and Forecasting of Daily Bulk Shipping Freight Rates Using Error Correction Models

Ko, Byoung-Wook

Abstract

This study analyzes the dynamic characteristics of daily freight rates of dry bulk and tanker shipping markets and their forecasting accuracy by using the error correction models. In order to calculate the error terms from the co-integrated time series, this study uses the common stochastic trend model (CSTM model) and vector error correction model (VECM model). First, the error correction model using the error term from the CSTM model yields more appropriate results of adjustment speed coefficient than one using the error term from the VECM model. Furthermore, according to the adjusted determination coefficients ($adjR^2$), the error correction model of CSTM-model error term shows more model fitness than that of VECM-model error term. Second, according to the criteria of mean absolute error (MAE) and mean absolute scaled error (MASE) which measure the forecasting accuracy, the results show that the error correction model with CSTM-model error term produces more accurate forecasts than that of VECM-model error term in the 12 cases among the total 15 cases. This study proposes the analysis and forecast tasks 1) using both of the CSTM-model and VECM-model error terms at the same time and 2) incorporating additional data of commodity and energy markets, and 3) differentiating the adjustment speed coefficients based the sign of the error term as the future research topics.

Key words: Error Correction Model, Co-integration, Common Stochastic Trend Model, Vector Error Correction Model, Dry Bulk Ship, Tanker

▷ 논문접수: 2023. 06. 06. ▷ 심사완료: 2023. 06. 28. ▷ 게재확정: 2023. 06. 30.

* 『이 논문은 고병욱 외(2020)의 공통 확률적 추세 모형을 이용한 분석 내용을 보완·수정한 것임』

** 한국해양수산개발원 연구위원, 제1저자, valiance@kmi.re.kr

I. 서론

글로벌 경제는 무역의 성장을 통해 비약적 발전을 지속해 오고 있다. 이러한 국제무역의 약 80%(물리적 톤 단위 기준)가 해운을 통해 수송되고 있다(UNCTAD, 2017). 클락슨(Clarksons)의 집계에 따르면, 2021년 국제 해상 물동량은 약 120억 톤에 이르고, 이를 운송하는 선박은 약 21억 DWT에 달한다. 이 중에서 본 논문에서 분석하는 건화물선(dry bulk ship)은 약 54억 톤의 화물을 약 12,000척(9.1억 DWT)의 선박이 운송하고, 유조선(wet bulk ship 또는 tanker)은 29억 톤의 석유 등의 유류화물을 약 16,000척(6.7억 DWT)의 선박이 운송하고 있다.

이 같은 벌크선 해운시장에서는 크게 장기 운송계약과 단기 운송계약을 통해 운송계약을 체결하고 있다. 장기 운송계약은 CoA(Contract of Affreightment) 계약과 같이 일정기간 동안 미리 약정된 화물을 운송하지만 선박이 특정되지 않는 계약과, 이와 달리 선박이 특정되는 전용선 계약 등으로 구분할 수 있다. 그러나 단기 운송계약은 그때그때 운송 수요가 발생하면 한 번의 운항서비스를 계약하는 방식으로 수행된다. 따라서 단기 운송계약은 시장의 수요와 공급 상황에 따라 해상운임이 변동할 수 있는 가격변동위험을 지니게 된다.

이러한 가격변동위험을 헤지(hedge, 회피)하고자 해운시장에서는 운임 파생상품을 만들어 활용하고 있다. 예를 들어, 건화물선 해운시장에서는 BDI(Baltic Dry Index)를 산정하고, 이를 기반으로 운임선물거래를 1985년부터 해오고 있다.¹⁾ 이러한 가격변동위험에 대응하기 위한 운임지수 산정 과정에서 월요일부터 금요일까지 매일 세부 항로별 운임지표가 볼틱해운거래소(Baltic Exchange)를 통해 발표되고 있다.

이러한 벌크선 시장에서 일일 운임지표의 동태적

특성을 이해하는 것은 합리적인 용선 전략을 수립하는데 중요한 의미를 가진다. 선사는 수익을 극대화하기 위한 선박 배치, 거래시점 등의 결정에 도움을 받을 수 있고, 화주는 역으로 해상운송비의 최소화를 위해 선박 섭외, 거래시점 등의 결정에 도움을 받을 수 있다. 이 같은 배경에서 해운시장 연구자들은 다양한 방법론을 활용해 일일 해상운임의 동태적 특성을 분석하고, 이러한 방법론에 입각해 운임 예측을 시도해 오고 있다. 본 논문은 이 같은 연구 흐름 속에서 공통 확률적 추세 모형(common stochastic trend model, CSTM 모형)과 벡터오차교정모형(Vector Error Correction Model, VECM 모형)을 활용해 오차(error)를 계산하고, 이를 오차교정모형에 반영해 분석을 수행한다. 이러한 분석을 통해 CSTM 모형이 장기 균형에서 이탈이라는 측면에서 VECM 모형보다 경제 이론적 적합성이 높고, 나아가 예측 정확성도 높이는 것을 확인한다.

본 논문은 크게 5개 장으로 구성된다. 2장에서는 간략히 선행연구를 검토하고, 3장에서는 사용된 데이터와 모형을 간략히 설명한다. 4장에서는 연구모형의 추정 결과, 예측 정확도와 그에 대한 해석을 제시한다. 5장에서는 연구 내용을 요약하고, 미래 연구과제를 제안한다.

II. 선행연구 검토

1. 계량경제학의 일반적 선행연구

본 연구에서 활용하는 공적분된 변수(co-integrated variables)에 대한 매우 광범위한 연구가 있어 왔다. Sims(1980)가 거시경제 분석에 있어 식별 가정이 많지 않은 VAR 모형을 사용할 것을 제안한 이후, Granger(1981)에 의해 처음으로 VECM 모형이 제시되면서 후속 연구가 이어졌다. Engle and Granger(1987)는 잔차기반 검정법(residual-based

1) 1985년에 발표된 운임지수는 원래 BFI(Baltic Freight Index)였으나, 1999년부터 BDI로 개편되었다.

test)을 통해 공적분 관계를 분석하는 방법을 제안했고, 이후 Johansen(1995)은 완전정보 최우 추정법(full-information maximum likelihood test)을 제안했다. 본 논문에서는 공적분 검정에 Johansen(1995)이 제안한 방법을 활용했다.

한편, Watson(1994)에 따르면, 공적분된 변수에 대한 표현, 즉 모형은 다음과 같이 크게 4가지가 활용이 가능하다: 1) VECM 모형, 2) 이동평균모형, 3) 공통 확률적 추세 모형, 4) 삼각행렬. 본 논문에서는 앞서 언급한 VECM 모형과 함께 공통 확률적 추세 모형을 활용한다. 이러한 공통 확률적 추세 모형은 통상적으로 상태 공간 모형(state-space model)의 구체적인 형태로서 표현이 가능하며, 이의 추정을 위해 칼만 필터(Kalman Filter; Kalman, 1960)가 광범위하게 활용된다. 칼만 필터는 Harvey(1981)에 의해 경제학에 도입되기 시작했다(Kim and Nelson, 1999; 2).²⁾

2. 해운시장에 적용된 선행연구

해운시장에서도 VECM 모형을 적용한 연구는 광범위하게 이루어져 왔다. 특히 해운시장에서는 운임의 파생상품(선물 또는 선도 거래)의 미래 가격에 대한 평가치가 현물 운임에 대한 정보를 담고 있다는 사실을 통계적으로 검증하는 사례가 다수 있었다. 예를 들어, 파생상품의 미래 가격 평가치가 현물 운임을 예측하기 때문에(가격 예시 기능, price discovery function; 또는 불편성 가설, unbiasedness hypothesis of futures price), 공적분 검정의 VECM 모형이 활용되어 왔다(예: Kvaussanos and Nomikos, 1999). 한편, Veenstra and Franses(1997)은 VECM 모형과 함께 공통 확률적 추세 모형을 이용해 해상 운임을 예측하고 그 정확성을 평가한 바가 있다.

이 같은 해외 연구 외에 국내에서도 VECM 모형과

공통 확률적 추세 모형을 해운시장에 적용한 사례가 다수 있다. 고병욱·안영균(2018)은 화학제품 운반선 운임에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 VECM 모형을 활용했다.³⁾ 주목되는 것은 Engle and Granger(1987)에서 제안된 잔차기반 검정법(residual-based test)을 활용하는 것에 추가하여 오차항에 대한 조정계수가 오차가 양수일 때(즉 호황일 때)와 음수일 때(즉 불황일 때)를 구분해 계수를 추정했다는 것이다. 이들 연구자는 후속 연구에서 안영균·고병욱(2018a)은 건화물선 해운시장, 안영균·고병욱(2018b)은 VLCC 해운시장, 안영균·고병욱(2018c)은 컨테이너선 해운시장을 분석하고, 이러한 호황/불황을 구분하는 VECM 모형의 유효성을 보여주고 있다.

한편, Ko(2011a)는 동태적 공통 요인 모형(dynamic common factor model)을 건화물선 해상 운임의 분석에 적용했고, Ko(2011b)는 건화물선 해상 운임 변수에 대해 공통 확률적 추세 모형을 적용했다. 전자는 운임 변수의 로그 차분값을 사용해 안정적 시계열에 대한 상태공간모형의 적용 사례이고, 후자는 불안정한 단위근을 가지는 로그 레벨(level, 수준)값에 대한 상태공간모형의 적용 사례이다. 그리고 Ko(2013)는 오차교정모형의 교정 계수(adjustment speed coefficient)가 시간에 따라 변화하는 패턴을 상태공간모형을 활용한 시변계수 모형(time-varying coefficient model)을 적용해 분석했다. Ko and Kang(2021)은 앞의 Ko(2011a)와 Ko(2011b)의 동태적 공통 요인 모형과 공통 확률적 추세 모형을 통합한 상태공간모형을 활용해 건화물선의 케이프선과 파나마스선의 운임을 분석했다.

본 논문은 이 같은 선행연구와 달리 오차교정모형의 오차가 공통 확률적 추세 모형과 공적분 관계에서 서로 다른 방법으로 계산될 수 있다는 점에 착안해 그 두 가지 모형의 유용성을 비교 분석한다는 점

2) 상태 공간 모형과 체제 전환 모형(regime switching model)에 대한 설명서로는 Kim and Nelson(1999)을 참조하기 바란다.

3) 아래 고병욱과 안영균의 공동 연구에 대한 소개는 고병욱(2023)에서 인용했다.

에서 의의가 있다. 구체적으로는 오차교정계수, 전체 회귀식의 모형 적합도와 예측 정확도의 비교를 통해 CSTM 모형이 VECM 모형에 비해 경제이론적 적합성과 회귀식의 설명력이 우수하다는 점을 보여준다는 점에서 학계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

III. 데이터와 모형

1. 데이터 설명

본 논문에서 분석하는 시장은 크게 건화물선과 유조선 해운시장으로 구분된다. 이러한 벌크선은 컨테이너선과 달리 화물을 덩어리로(bulk) 운송하기 때문에, 선박의 운항 수익(달러/톤 또는 달러/일)이 해당 선박의 용선료, 선박 가격과 연동이 크게 나타난다.

한편, 벌크선은 크기(즉 선형)별로 투입되는 항로가 달라진다. 따라서 선형별로 별개의 운송시장, 용선시장, 선박시장 등이 형성되어 있다. 본 논문에서는 아래 <표 1>과 같이, 건화물선의 케이프선(4개 항로)과 파나마선(3개 항로), 유조선의 VLCC(2개 항로), 수에즈막스(2개 항로), 아프리카막스(4개 항로)의 해상운임을 데이터로 활용한다.

아래 <표 2>는 <표 1>에서 설명한 데이터의 기술 통계(descriptive statistics)를 보여주고 있다. 두 벌크선 해운시장 모두에서 표준편차가 평균에 비해 큰 것을 알 수 있고, 최대값이 표준편차의 3배보다 훨씬 큰 값을 지니고 있다. 따라서 이들 운임변수는 정규분포(normal distribution)를 하지 않는다고 판단할 수 있다. 즉 평균보다 크면서, 정규분포의 표준편차의 3배수 이상 값이 정규분포의 경우보다 훨씬 자주 나타난다.

표 1. 건화물선 및 유조선 운임자료의 설명

순번	명칭	선박 크기	블틱 명칭	단위	항로	표본 기간(관측 수)
1	DC1	Capesize, 180k	BCI C10_14	\$/day	Trans-Pacific	
2	DC2	Capesize, 180k	BCI C9_14	\$/day	Front Haul	2014.3.3.-2023.3.31
3	DC3	Capesize, 180k	BCI C8_14	\$/day	Trans-Atlantic	(2,269)
4	DC4	Capesize, 180k	BCI C14	\$/day	China-Brazil Round	
5	DP1	Panamax, 74k	BPI P3A_03	\$/day	Trans-Pacific	
6	DP2	Panamax, 74k	BPI P2A_03	\$/day	Front Haul	2002.11.1.-2023.3.31
7	DP3	Panamax, 74k	BPI P1A_03	\$/day	Trans-Atlantic	(5,096)
8	TV1	VLCC, 270k	BDTI TD3C	WS	Middle East Gulf - China	2016.1.4.-2023.3.31
9	TV2	VLCC, 280k	BDTI TD1	WS	Middle East Gulf - US Gulf	(1,811)
10	TS1	Suezmax, 135k	BDTI TD6	WS	Black Sea/Mediterranean	2014.6.2.-2023.3.31
11	TS2	Suezmax, 130k	BDTI TD20	WS	West Africa - Continent	(2,208)
12	TA1	Aframax, 80k	BDTI TD8	WS	Kuwait - Singapore	
13	TA2	Aframax, 80k	BDTI TD14	WS	SE Asia - EC Australia	2004.11.1.-2023.3.31
14	TA3	Aframax, 80k	BDTI TD7	WS	North Sea - Continent	(4,597)
15	TA4	Aframax, 70k	BDTI TD9	WS	Caribbean - US Gulf	

주 : WS는 World Scale의 약자이며, 유조선의 수익성을 나타내는 지수로서 기준치는 100임
자료 : Clarksons

표 2. 변수의 기술 통계(descriptive statistics)

구분		평균	표준편차	최대값	최소값
건화물선	DC1	15,188	10,869	86,521	1,379
	DC2	9,968	15,519	122,000	5,968
	DC3	16,392	12,303	96,550	944
	DC4	14,559	9,191	73,597	1,682
	DC_avg	19,027	11,671	94,116	3,134
	DP1	18,277	15,700	101,238	1,672
	DP2	26,512	17,438	118,450	5,244
	DP3	19,932	17,339	112,800	690
	DP_avg	21,574	16,605	102,995	2,922
유조선	TV1	57.2	27.8	313.3	4.75
	TV2	31.3	18.4	209.7	15.05
	TV_avg	44.2	22.8	243.2	20.315
	TS1	99.4	48.1	323.3	41.9
	TS2	82.3	33.5	279.6	29.6
	TS_avg	90.9	39.6	279.8	36.1
	TA1	129.7	60.2	460.0	50.3
	TA2	120.8	56.7	440.8	49.9
	TA3	120.0	44.5	359.1	61.6
	TA4	144.9	73.0	643.8	44.4
	TA_avg	128.9	54.6	392.7	54.0

주: _avg는 해당 선종/선형의 변수들을 단순 평균한 데이터를 의미함

이러한 큰 값을 상쇄하여 평균보다 작은 값의 발생빈도가 매우 높다는 것을 알 수 있다. 이는 해운시장에서 통상적으로 알려진, 짧은 호황과 긴 불황이라는 표현을 지지해 주는 자료의 특성이다. 한편, 원자료는 정규분포를 따르지 않지만, 본 논문에서 활용하는 모형에서의 충격항은 통상적인 가정을 적용해 정규분포를 따른다고 할 수 있다.

2. 모형 설명

벌크선의 선형별 해운시장은 태평양 수역과 대서양 수역, 그리고 이 두 해운시장을 가로지르는 해운시장 등으로 구분된다. 예를 들어, 한 항로에서 운임이 상대적으로 상승하면, 다른 수역(해운시장)에 있던 선박을 전환 배치할 인센티브가 생긴다. 따라서 이러한 선박의 전환 배치로 운임이 상승한 수역에서

는 선박 공급이 증가해 운임이 하락하는 압력이, 선박이 줄어든 항로에서는 운임이 상승하는 압력이 발생한다. 즉 수요 변화에 공급이 탄력적으로 대응하면서, 각 선형별 해운시장에서 균형 운임으로부터 이탈한 운임이 다시 균형 운임으로 돌아가는 경향이 있는 것이다.

본 논문에서는 오차 교정 모형(error correction model)을 사용해 벌크선 해상운임의 이 같은 균형으로 회귀하는 동태적 특성을 파악하고, 모형 적합도와 예측 정확도를 비교 분석한다. 계량경제학 문헌에서 다변량 시계열 변수의 오차(error)를 계산할 수 있는 대표적 방법이 공적분된 변수를 활용하는 것이다. 앞서 언급했듯이, 공적분된 변수를 분석하는 방법으로 1) 공통 확률적 추세 모형과 2) 벡터오차교정 모형이 많이 사용되고 있다. 본 논문에서도 이 두 방법을 적용해 오차를 계산하고자 한다.

먼저 본 논문에서 사용하는 오차 교정 모형은 다음과 같다.

$$\Delta y_{i,t} = \phi_{i,1} \times \Delta y_{i,t-1} + \phi_{i,a} \times \Delta y_{a,t-1} + \alpha_i \times z_{i,t-1} + e_t \quad \text{식1)}$$

여기서 $\Delta y_{i,t}$ 는 해당 항로(i)의 운임변수의 로그값의 1차 차분값,

$\Delta y_{a,t}$ 는 해당 선종/선형의 운임변수들의 단순 평균의 로그값의 1차 차분값,

$z_{i,t}$ 는 오차값.

식1)은 아래와 같은 통상적인 벡터오차교정 모형의 한 방정식에 해당하는 것으로 볼 수 있다.

$$\Delta Y_t = C + \alpha \beta' Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \Phi_i \Delta Y_{t-i} + E_t \quad \text{식2)}$$

하지만, 식1)과 식2)가 차이가 나는 것은 식1)에서는 오차항 $z_{i,t}$ 에 대한 가정이 특별히 없는 반면, 식2)에서는 오차항이 관련 변수들의 공적분 회귀식으로부터 도출된다는 점이다.

한편, 본 논문에서 사용된 공통 확률적 추세 모형은 다음과 같다.

$$y_{i,t} = \gamma_i \times x_{i,t} + z_{i,t} \quad \text{식3-1)}$$

$$x_{i,t} = x_{i,t-1} + v_t \quad \text{식3-2)}$$

여기서 $y_{i,t}$ 는 t시점의 i 항로의 운임의 로그값,

$z_{i,t} \sim iidN(0, \sigma_{z_i}^2)$, 그리고

$v_t \sim iidN(0,1)$.

식 3-1)은 각 운임이 $x_{i,t}$ 와 $z_{i,t}$ 에 의해 결정됨을 보여준다. 그리고 식 3-2)는 $x_{i,t}$ 가 표류향이 없는 단위근 확률과정임을 나타낸다. 그리고 v_t 의 분산이 1이라고 가정하여, 모형 추정에 필요한 정규화(normalization)를 적용했다.

이 같은 공통 확률적 추세 모형을 이용해 각 선종/선형별로 $z_{i,t}$ 를 계산할 수 있다. 식 3-1)과 식 3-2)의 동태적 특성으로부터, $z_{i,t}$ 는 해당 항로의 운임이 공

통 확률적 추세의 영향을 받는 $\gamma_i \times x_{i,t}$ 로부터 이탈한 정도로 해석할 수 있다. 즉 $z_{i,t}$ 는 다음 기의 현물 운임의 예측에 사용할 수 있는 오차항으로 해석이 가능하다. 예를 들어, 추세를 벗어난 일시적 오차항으로 $z_{i,t}$ 가 양수(+)이면 다음 기에 현물운임은 하락 압력이 있다고 해석할 수 있다.

IV. 실증분석 결과

1. 변수의 안정성 검정과 공적분 검정

본 논문에서 적용하는 공적분된 변수(co-integrated variable)라는 개념은 개별 변수들이 단위근을 가지고 있다고 전제한다. 따라서 개별 변수들의 단위근 검정이 우선적으로 이루어져야 한다.

아래 <표 3>은 본 논문에서 사용한 변수들의 단위근 검정 결과를 보여주고 있다. 모든 변수가 log 레벨(level, 수준)은 단위근이 있다는 귀무가설을 기각하기 어려운 반면에, 1차 차분한 경우에는 단위근이 있다는 귀무가설을 유의수준 1%에서 기각하는 것으로 나타난다. 따라서 모든 변수는 I(1) 변수, 즉 log 레벨은 불안정한(non-stationary) 시계열이고, 1차 차분한 변수는 안정적(stationary) 시계열이라고 판단할 수 있다.

아래 <표 4>는 각 선종/선형별 운임들 간의 공적분 검정 결과를 보여주고 있다. 공적분 검정은 각 항로별 운임과 동 선형의 평균 운임 간에 이루어졌다. VLCC와 아프라막스 선형을 제외하면, 각 선형별 운임은 공적분이 없다는 귀무가설을 기각하고, 공적분 관계가 최대 1개 있다는 귀무가설을 기각하기 어렵다고 나타난다. 그리고 VLCC와 아프라막스의 경우에도, 높은 유의수준이기는 하지만 공적분이 없다는 귀무가설의 p-값이 공적분이 최대 1개 있다는 귀무가설의 p-값보다 낮게 나타나, 공적분이 1개 있다고 가정하는 것이 수용 가능하다고 판단된다.

표 3. 단위근 검정

구분		t-값	p-값
DC1	log level	-0.421	0.531
	first L.D.	-31.732	0.000
DC2	log level	-0.272	0.588
	first L.D.	-23.213	0.000
DC3	log level	-0.508	0.496
	first L.D.	-25.151	0.000
DC4	log level	-0.347	0.560
	first L.D.	-26.204	0.000
DC_avg	log level	-0.387	0.544
	first L.D.	-21.119	0.000
DP1	log level	-0.218	0.607
	first L.D.	-26.378	0.000
DP2	log level	-0.009	0.679
	first L.D.	-26.447	0.000
DP3	log level	-0.378	0.548
	first L.D.	-25.329	0.000
DP_avg	log level	-0.160	0.628
	first L.D.	-21.374	0.000
TV1	log level	-0.297	0.578
	first L.D.	-18.971	0.000
TV2	log level	-0.414	0.534
	first L.D.	-19.455	0.000
TV_avg	log level	-0.379	0.547
	first L.D.	-19.271	0.000
TS1	log level	-0.183	0.620
	first L.D.	-26.955	0.000
TS2	log level	-0.181	0.621
	first L.D.	-22.086	0.000
TS_avg	log level	-0.106	0.647
	first L.D.	-21.424	0.000
TA1	log level	-0.531	0.486
	first L.D.	-28.501	0.000
TA2	log level	-0.616	0.450
	first L.D.	-25.094	0.000
TA3	log level	0.503	0.498
	first L.D.	-25.543	0.000
TA4	log level	-0.703	0.412
	first L.D.	-35.247	0.000
TA_avg	log level	-0.551	0.478
	first L.D.	-31.456	0.000

주: 1) L.D.는 log difference를 의미함
 2) t-통계량은 ADF 검정 통계량을 의미함(Dickey and Fuller, 1979, 1981)
 3) 상수항과 선형 추세 모두 없다고 가정함
 4) p-값은 MacKinnon(1996)의 단측(one-sided) p-값

표 4. 공적분 검정

구분		귀무가설	
		공적분 없음	공적분 관계 최대 1개
DC1	trace-통계량	81.472	0.125
	p-값	0.000	0.770
DC2	trace-통계량	43.529	0.057
	p-값	0.000	0.843
DC3	trace-통계량	60.187	0.067
	p-값	0.000	0.831
DC4	trace-통계량	45.908	0.119
	p-값	0.000	0.775
DP1	trace-통계량	85.517	0.075
	p-값	0.000	0.825
DP2	trace-통계량	35.689	0.000
	p-값	0.000	0.984
DP3	trace-통계량	102.961	0.021
	p-값	0.000	0.904
TV1	trace-통계량	14.900	0.412
	p-값	0.018	0.584
TV2	trace-통계량	13.219	0.420
	p-값	0.035	0.580
TS1	trace-통계량	58.825	0.044
	p-값	0.000	0.862
TS2	trace-통계량	50.568	0.046
	p-값	0.000	0.860
TA1	trace-통계량	154.159	0.283
	p-값	0.000	0.655
TA2	trace-통계량	149.308	0.310
	p-값	0.000	0.639
TA3	trace-통계량	213.032	0.293
	p-값	0.000	0.649
TA4	trace-통계량	160.149	0.283
	p-값	0.000	0.655

주: 1) 공적분 관계는 각 운임과 동 선형의 평균 운임 간에 존재한다고 가정함
 2) trace-통계량은 Johansen(1995)을 따름
 3) p-값은 MacKinnon, Haug and Michells(1999)을 따름

이상의 논의를 바탕으로 본 논문에서는 각 선종/선형별 벌크션 해운시장의 운임이 공적분되어 있다고 전제하고, 1) 공동 확률적 추세 모형과 2) 벡터 오차교정 모형을 이용해 오차항을 계산한다. 나아가 이 오차항들을 이용해 오차 교정 모형을 분석하고 예측 정확도를 비교하고자 한다.

2. 공통 확률적 추세 모형의 추정 결과⁴⁾

아래 <표 5>는 공통 확률적 추세 모형의 모수(parameters)를 추정한 결과를 보여준다. 여기서 주의할 점은 추정된 계수의 크기를 이용해 서로 다른 선종/선형의 운임의 특성을 비교 분석하는 것이 큰 의미가 없다는 점이다. 식 3-1)과 식 3-2)에 따라 이들 계수들은 각기 다른 추세에 대한 반응을 나타내기 때문이다.

그러나 같은 선종/선형별 해운시장에 속한 운임들 간의 계수 또는 분산(또는 표준오차)의 비교는 동일한 추세에 대한 반응을 나타내기 때문에 의미를 지닌다. 먼저, 계수들은 거의 비슷한 수준의 값들로 추정된다. 그러나 분산에 대한 정보를 보면, 각 선종/선형 운임들 중에 해당 시장에서 추정된 공통 확률적 추세에 영향을 크게 받아 분산이 0에 가깝게 추정된 개별 운임변수 한 개가 나타난다. 케이프선은 DC4, 파나마선은 DP1, VLCC는 TV1, 수에즈막스선은 TS1, 아프리카막스선은 TA1이 이에 해당된다. 즉 이들 중심 운임이 공통 확률적 추세와 거의 1:1로 움직이는 것이기 때문에 추정된 공통 확률적 추세와 이들 중심 운임이 거의 동일하게 움직인다고 해석할 수 있다.⁵⁾

한편, 수에즈막스선의 경우 공통 확률적 추세에 대한 반응 계수의 부호가 모두 음(-)으로 추정되었다. 이는 수에즈막스선 해운시장에 존재하는 공통 확률적 추세에 해당 운임이 반대 방향으로 영향을 받는 것을 의미한다. 이 같은 다소 해석이 어려운 분석 결과는, 본 논문의 분석 범위에서 제외된 다양한 항로의 수프라막스선 운임과 함께 결정되는 공통 확률적 추세가 존재하고 이들 두 운임이 그 추세와는 다른

방향으로 움직이는 것으로 추론되는 바, 보다 심층적인 원인 분석은 후속 연구과제로 남겨둔다.

표 5. 공통 확률적 추세 모형의 추정 결과(일일 자료)

구분	케이프	파나마스	VLCC	수에즈막스	아프리카스
γ_1	0.126 (0.002)	0.061 (0.000)	0.071 (0.001)	-0.069 (0.001)	0.077 (0.001)
γ_2	0.136 (0.002)	0.064 (0.000)	0.060 (0.001)	-0.066 (0.001)	0.076 (0.001)
γ_3	0.127 (0.002)	0.061 (0.000)	-	-	0.076 (0.001)
γ_4	0.126 (0.002)	-	-	-	0.079 (0.001)
$\sigma_{z_1}^2$	0.042 (0.001)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
$\sigma_{z_2}^2$	0.108 (0.003)	0.121 (0.002)	0.028 (0.001)	0.021 (0.001)	0.006 (0.000)
$\sigma_{z_3}^2$	0.122 (0.004)	0.092 (0.002)	-	-	0.057 (0.001)
$\sigma_{z_4}^2$	0.000 (0.000)	-	-	-	0.070 (0.002)

주: ()값은 표준오차(standard errors)를 의미함

3. 두 가지 오차 교정 모형의 추정 결과

아래 <표 6>은 식 1)에서 제시된 오차 교정 모형의 추정 결과를 보여준다.

먼저, 해당 운임 자신의 과거 값으로부터 영향을 받는 정도를 나타내는 $\phi_{i,1}$ 는 절대값이 TV1의 공통 확률적 추세 모형의 경우를 제외하고 모두 1보다 작은 값을 보이고 있어, 오차 교정 모형의 변수가 안정적인 시계열임을 시사한다. 그리고 이 계수의 t-값도 높게 나와 통계적 유의성도 크다고 판단된다.

두 번째로, 해당 운임이 자신이 속한 선종/선형의 단순 평균 운임으로부터 받는 영향의 정도를 나타내는 $\phi_{i,a}$ 는 대체적으로 양수(+)로 추정되지만, 일부에서는 음수(-)로 나타난 경우가 있다. 그러나 이들 음수 추정치들의 t-값이 상대적으로 작아 통계적 유의성은 떨어지는 것으로 나타난다.

4) 벡터오차교정 모형에서 나타나는 공적분 벡터의 추정결과를 지면의 제약으로 보고하지는 않지만, 모든 선종/선형별 해운시장에서 각 시장의 평균 운임과 개별 운임은 탄력성이 1 근방에 있고, 통계적 유의성도 매우 높게 나타난다.
5) 공통 확률적 추세 모형에서 이 같이 중심적 개별 운임이 한 개씩 나타나는 원인에 대한 연구는 후속 연구과제로 남겨둔다.

표 6. 공통 확률적 추세 모형과 공적분 벡터의 오차를 이용한 오차 교정 모형의 추정결과 비교

구분		$\phi_{i,1}$		$\phi_{i,a}$		α_i		$adjR^2$
		추정치	t-값	추정치	t-값	추정치	t-값	
DC1	CSTM	0.321	10.121	0.265	4.786	-0.051	-5.443	0.195
	VECM	0.308	9.804	0.298	5.372	-0.044	-5.975	0.197
DC2	CSTM	0.265	6.885	0.275	9.237	-0.002	-1.121	0.370
	VECM	0.266	6.922	0.277	9.329	0.004	0.985	0.370
DC3	CSTM	0.366	11.294	0.348	6.833	-0.033	-7.760	0.353
	VECM	0.382	11.733	0.336	6.576	-0.043	-7.774	0.353
DC4	CSTM	0.630	19.127	0.063	1.541	-555.684	-26.773	0.482
	VECM	0.476	12.837	0.132	2.865	-0.020	-3.196	0.321
DP1	CSTM	0.912	90.201	0.042	3.283	-11.248	-78.152	0.852
	VECM	0.748	51.243	0.115	6.174	-0.008	-6.244	0.676
DP2	CSTM	0.544	21.731	0.229	11.086	0.000	0.319	0.658
	VECM	0.544	21.781	0.228	11.091	0.001	1.334	0.658
DP3	CSTM	0.780	47.310	0.073	2.744	-0.011	-9.734	0.681
	VECM	0.784	47.517	0.074	2.968	-0.013	-9.746	0.681
TV1	CSTM	1.031	19.329	-0.123	-2.227	-4.080	-71.847	0.815
	VECM	0.415	4.003	0.127	1.177	0.030	1.941	0.291
TV2	CSTM	-0.040	-0.685	0.580	9.762	-0.019	-3.237	0.297
	VECM	-0.041	0.705	0.580	9.783	-0.026	-3.074	0.297
TS1	CSTM	0.784	25.794	-0.009	-0.309	-1,617,529	-62,849	0.740
	VECM	0.177	3.677	0.355	7.190	-0.049	-3.716	0.278
TS2	CSTM	0.204	4.397	0.260	4.874	-0.018	-2.570	0.172
	VECM	0.201	4.343	0.261	4.898	-0.025	-2.193	0.171
TA1	CSTM	0.562	37.505	-0.013	-1.067	-283	-21.855	0.335
	VECM	0.516	36.603	-0.007	-0.835	-0.020	-7.509	0.275
TA2	CSTM	0.469	29.965	0.026	1.907	-0.023	-5.378	0.241
	VECM	0.477	33.396	0.002	0.206	-0.022	-8.358	0.247
TA3	CSTM	0.484	28.637	-0.022	-0.717	-0.028	-9.144	0.222
	VECM	0.487	32.261	-0.027	-1.325	-0.042	-9.787	0.224
TA4	CSTM	0.340	16.198	0.218	4.895	-0.031	-10.168	0.183
	VECM	0.350	16.632	0.192	4.319	-0.052	-11.121	0.187

그럼에도 불구하고, 선종/선형별 단순 평균 운임이 각각의 해당 운임에 미치는 영향 $\phi_{i,a}$ 은 먼저 언급한 $\phi_{i,1}$ 보다는 다양한 값을 가지는 것으로 해석된다.

세 번째로, 오차 교정 모형에서 오차의 교정 속도 (adjustment speed)를 나타내는 α_i 는 공통 확률적 추세의 오차를 사용한 경우에 DP2 경우를 제외하면 모두 음수(-)로 추정된다. 양수(+)로 추정된 DP2의 t-값이 매우 낮아, 통계적 유의성이 크지 않다. 따라서 공통 확률적 추세의 오차항은 다음 기의 운임이 공통 확률적 추세로 다가가는 영향을 미치는 것으로 해석된다. 한편, 공적분 벡터를 이용해 계산하는 오차를 사용하는 경우에는 모두 세 가지 경우(DC2,

DP2, TV1)에서 α_i 가 양수(+)를 나타냈으며, t-값이 크지 않아 통계적 유의성은 낮다. 따라서 오차의 교정 속도의 측면에서는 공통 확률적 추세 모형이 공적분 벡터 모형보다 경제이론에 부합하는 실증분석 결과를 보여준다고 판단된다.

마지막으로 모형의 적합도 평가에 사용할 수 있는 조정결정계수 $adjR^2$ 는 대체적으로 공통 확률적 추세 오차의 경우와 공적분 벡터 오차의 경우와 비슷하게 나타나지만, 다섯 가지 경우에는(DC4, DP1, TV1, TS1, TA1), 비교적 큰 차이로 공통 확률적 추세 모형의 $adjR^2$ 값이 크다. 이는 공통 확률적 추세 모형이 보다 적합함을 시사한다.

이러한 오차 교정 모형의 추정 결과를 통해 CSTM 모형이 VECM 모형에 비해 경제이론적 적합성(오차 교정 계수의 추정 결과)과 회귀식의 설명력($adjR^2$)이 우수하다는 점을 확인할 수 있다.

4. 두 가지 오차 교정 모형의 예측 정확도 비교

본 논문에서는 사용하는 예측 정확도를 측정하는 평균 절대 오차(MAE, Mean Absolute Error), 평균 절대 척도 오차(MASE, Mean Absolute Scaled Error)의 계산식은 아래와 같다:

표 7. MAE, MASE 계산식

MAE	$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T e_t $
MASE	$\frac{1}{T} \left(\frac{\sum_{j=1}^T e_j }{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T y_t - y_{t-1} } \right)$

자료 : 계량경제학계에서 사용되는 식을 저자가 작성

아래 <표 8>은 각 운임변수에 대한 공통 확률적 추세 모형과 VECM 모형의 표본 외 예측(2022년 1월 4일부터 2023년 3월 31일까지 총 311개 예측)에서의 MAE, MASE를 보여준다. 위의 계산식에서 볼 수 있듯이 MAE는 잔차항의 크기에만 비례하지만, MASE는 MAE가 나이브 예측(전기의 값을 예측값으로 사용하는 모델의 예측)의 MAE에 상대적으로 얼마나 큰지를 나타낸다.⁶⁾

먼저 공통 확률적 추세 모형이 VECM 모형에 비해 예측 정확도가 높은 경우가 총 15개 경우 중에 12개로 나타났다.⁷⁾ 특히 진화물선의 7가지 경우 모두에서 공통 확률적 추세 모형이 예측 정확도가 높게 나왔다. 다음으로 공통 확률적 추세 모형이 예측 정확도가 높은 12가지 경우 중 10가지 경우에서(DC1과 DP1을 제외한 경우), 예측 정확도가 상대적으로 큰

차이를 보이고 있다. 한편, VECM 모형이 예측 정확도가 높은 3가지 경우에서 MASE가 0.03 이상의 차이는 보이지 않는다. 따라서 공통 확률적 추세 모형에서 도출되는 오차 정보를 이용하는 것이 예측 정확도의 제고에 도움이 된다고 판단할 수 있다.

표 8. CSTM 오차항 및 공적분 벡터(VECM) 오차항을 이용한 오차교정모형의 예측 정확도 비교

구분		MAE	MASE
DC1	CSTM	1,386	0.959
	VECM	1,398	0.968
DC2	CSTM	422	0.361
	VECM	979	0.838
DC3	CSTM	349	0.340
	VECM	839	0.818
DC4	CSTM	386	0.429
	VECM	782	0.871
DP1	CSTM	276	0.617
	VECM	277	0.619
DP2	CSTM	119	0.231
	VECM	354	0.689
DP3	CSTM	90	0.164
	VECM	351	0.641
TV1	CSTM	1.46	0.888
	VECM	1.45	0.881
TV2	CSTM	0.37	0.457
	VECM	0.70	0.866
TS1	CSTM	4.26	0.877
	VECM	4.17	0.859
TS2	CSTM	2.13	0.609
	VECM	3.32	0.951
TA1	CSTM	1.62	0.746
	VECM	1.57	0.723
TA2	CSTM	0.86	0.420
	VECM	1.71	0.834
TA3	CSTM	2.42	0.648
	VECM	3.46	0.926
TA4	CSTM	5.67	0.613
	VECM	8.03	0.867
우위 모형	CSTM		12개
경우의 수	VECM		3개

주: 1) 표본 외 예측의 결과이며, 예측 기간은 2022년 1월 4일부터 2023년 3월 31일까지 총 311개를 예측
 2) 진화물선(D로 시작하는 변수)의 단위는 달러/일, 유조선(T로 시작하는 변수)의 단위는 WS

6) MASE가 1보다 크면, 검토하는 예측 모형이 나이브 예측보다 예측 정확도가 낮다는 것을 의미한다.

7) MAE와 MASE가 작을수록 예측 정확도는 높다.

V. 결론

지금까지 본 논문은 오차교정모형을 활용해 건화물선과 유조선의 일간 해상운임의 동태적 특성과 예측 정확도를 분석했다. 여기서 오차는 공통 확률적 추세 모형과 VECM 모형의 공적분 관계를 이용해 산출했다.

먼저, 공통 확률적 추세 모형에서 오차를 계산하여 오차교정모형을 추정한 결과에서는 DP2를 제외한 모든 운임변수가 전기의 오차에 대해 교정하는 정도를 나타내는 교정계수가 음수로 추정되었다. 반면에 공적분 관계에서 오차를 계산한 추정 결과에서는 모두 세 가지 경우(DC2, DP2, TV1)에서 조정계수가 양수로 추정되었다. 따라서 공통 확률적 추세 모형이 균형으로의 수렴이라는 경제학적 이론에 더 부합하는 실증분석 결과를 보여주는 것으로 이해된다. 아울러 모형 적합도를 나타내는 조정결정계수($adjR^2$)의 비교에서도 공통 확률적 추세 모형이 모형 적합도가 큰 것으로 나타난다.

둘째, 공통 확률적 추세 모형에서 오차를 계산한 오차교정모형이 VECM 모형의 경우보다 예측 정확도가 큰 것으로 나타난다. 총 15가지 경우 중에 12가지 경우에서 공통 확률적 추세 모형의 경우가 예측 정확도가 높았다.

이 같은 연구성과에도 불구하고, 본 논문에서 다루지 못한 연구과제가 남아 있다. 우선 공통 확률적 추세 모형의 오차와 VECM 모형의 공적분 관계의 오차를 모두 이용한 오차교정모형에 대한 분석이 추가로 요구된다. 두 오차 모두 균형으로부터의 이탈(deviation from equilibrium)을 측정하고 있기 때문에, 두 오차의 상관성이 매우 높을 것이다. 따라서 두 오차를 모두 이용한 분석과 예측 작업은 평균화 방법, 주성분 분석 등의 여러 방법으로 접근이 가능할 것이다. 이 같은 방향에서의 후속 연구가 기대된다.

둘째, 원자재 및 에너지 자원의 데이터를 추가하거

나, 데이터 주기(일간, 주간, 월간, 분기, 연간 등)가 다른 데이터를 활용한 분석과 예측도 중요한 후속 연구과제가 될 것이다. 특히 원자재 및 에너지 자원의 수급 변화가 해운서비스 수요의 일차적 변동 요인이기 때문에 이들 변수를 추가하면 예측 정확도가 향상될 것으로 기대된다. 나아가 데이터 주기를 달리해 본 논문에서 제시한 실증분석을 수행해 활용하는 방안을 강구하는 것도 의미가 클 것이다.

셋째, 고병욱·안영균(2018) 등에서 제시된 오차항의 부호에 따라 교정 계수를 다르게 추정하는 방법을 활용해 분석과 예측을 수행하는 것도 의미가 큰 미래 연구주제이다.

참고문헌

- 고병욱(2023), VAR과 VECM 모형을 이용한 해운시장 분석, 무역학회지, 발간 예정.
- 고병욱·안영균(2018), 글로벌 화학제품 운반선 운임에 영향을 미치는 주요 요인에 관한 연구, 해운물류연구, 제99호, 251-269.
- 고병욱·최진우·안영균·황수진·김병주(2020), 시계열 분석을 통한 해운시장 분석 및 예측 연구, 한국해양수산개발원.
- 안영균·고병욱(2018a), 세계 건화물선 시장의 운임 결정 요인 분석, 국제상학, 33(4), 211-224.
- 안영균·고병욱(2018b), 초대형 원유운반선 운임에 영향을 미치는 주요 요인에 관한 연구, 해운물류연구, 제101호, 545-563.
- 안영균·고병욱(2018c), 컨테이너 운임에 미치는 영향요인 분석, 무역학회지, 43(5), 159-177.
- Dickey, D. and W. A. Fuller(1979), Distribution of the Estimates for Autoregressive Time Series with a Unit Root, *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Dickey, D. and W. A. Fuller(1981), The Likelihood Ratio statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root, *Econometrica*, 49, 1057-1072.
- Engle, R. F. and C. W. J. Granger(1987), Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing, *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Granger, C. W. J.(1981), Some Properties of Time

- Series Data and Their Use in Econometric Model Specification, *Journal of Econometrics*, 16(1), 121-130.
- Harvey, A. C.(1981), *Time Series Models*, Philip Allan and Humanities Press.
- Johansen, S.(1995), *Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Auto-Regressive Models*, Oxford University Press.
- Kalman, R. E.(1960) A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, *Transactions ASME Journal of Basic Engineering*, D82, 35-45.
- Kavussanos, M. G., N. K. Nomikos(1999), The Forward Pricing Function of the Shipping Freight Futures Market, *The Journal of Futures Market*, 19(3), 353-376.
- Kim, C.-J. and C. R. Nelson(1999), *State-Space Models with Regime Switching*, MIT Press.
- Ko, B.-W.(2011a), An application of dynamic factor model to dry bulk market - Focusing on the analysis of synchronicity and idiosyncrasy in the sub-markets with different ship size -, *KMI International Journal of Maritime Affairs and Fisheries* 3(1), pp.069-082.
- Ko, B.-W.(2011b), Dynamics of dry bulk freight market: Through the lens of a common stochastic trend model, *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 27(3), pp.387-404.
- Ko, B.-W.(2013), Analysis of term structure of in dry bulk freight market. *Asian Journal of Shipping and Logistics*. 29 (1), 1-22
- Ko, B.-W. and K. H. Kang(2021), Synchronicity in Dry Bulk Shipping Markets: A State-Space Model Approach, *KMI International Journal of Maritime Affairs and Fisheries* 13(1), pp.023-043.
- Mackinnon, J.G.(1996), Numerical Distribution Functions for Unit Root and Cointegration Tests, *Journal of Applied Econometrics*, 11, 601-618.
- MacKinnon, J.G., A. A. Haug and L. Michells(1999), Numerical Distribution Function of Likelihood Ratio Tests for Cointegration, *Journal of Applied Econometrics*, 14, 563-577.
- Sims, C. A. (1980), Macroeconomics and Reality, *Econometrica*, 48(1), 1-48.
- UNCTAD(2017). *Review of Maritime Transport 2017*, United Nations Publication.
- Veenstra, A. and P. Franses(1997), A Co-integration Approach to Forecasting Freight DRates in the Dry Bulk Shipping Sector, *Transportation Research Part A*, 31(6), 447-458.

오차교정모형을 활용한 일간 벌크션 해상운임 분석과 예측

고병욱

국문요약

본 연구는 오차교정모형을 활용해 건화물선과 유조선 일간 해상운임의 동태적 특성과 예측 정확도를 분석한다. 공적분된 시계열 자료의 오차를 계산하기 위해 본 연구는 공통 확률적 추세 모형(Common Stochastic Trend Model, CSTM 모형)과 벡터오차교정모형(Vector Error Correction Model, VECM 모형)을 활용한다. 먼저, CSTM 모형의 오차를 사용한 오차교정모형이 VECM 모형의 경우보다 교정계수 (adjustment speed coefficient)가 경제학적 이론에 더 부합하는 결과를 보인다. 나아가 조정결정계수 ($adjR^2$) 측면에서도 CSTM 모형의 경우가 VECM 모형에 비해 모형 적합도가 큰 것으로 나타난다. 둘째, 예측 정확도를 판단하는 지표인 평균 절대 오차와 평균 절대 척도 오차를 살펴보면, CSTM 모형의 오차를 이용한 모형이 VECM 모형의 오차를 이용한 모형보다 총 15가지 경우 중에 12가지 경우에서 예측 정확도가 높은 것을 확인할 수 있다. 미래 연구주제로서 1) 두 가지 오차를 모두 활용하는 분석 및 예측 과제, 2) 원자재 및 에너지 자원 시장의 데이터를 추가하는 과제, 3) 오차항의 부호에 따라 교정계수를 다르게 추정하는 과제 등을 제시한다.

주제어: 오차교정모형, 공적분, 공통 확률적 추세 모형, 벡터오차교정모형, 건화물선, 유조선