

## Exploring the long and short-term equilibrium of PCTC charter rates with VECM

Sangseop Lim\*, Seokhun Kim\*\*

\*Professor, Div. of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

\*\*Professor, Dept. of IT Management Information, PaiChai University, Daejeon, Korea

### [Abstract]

This study employs VECM to explore the dynamic relationships among PCTC charter rate, LIBOR, car trade volume, and Dubai oil prices. Johansen cointegration confirms a long-term equilibrium, while VECM shows freight rates are suppressed by interest rates and oil prices but supported by trade volume. IRF reveals freight shocks strongly affect itself and interest rates, with temporary oil price impacts and minimal trade volume response. FEVD indicates 77% of freight variance is self-driven, 12% from interest rates, 10% from trade volume; interest rates rely 36% on freight, trade volume 53% on oil prices, and oil prices 94% on itself. This highlights complex cost-demand interactions in shipping, offering practical insights.

▶ **Key words:** PCTC charter rate, VECM, long-term equilibrium, IRF

### [요 약]

본 연구는 벡터오차수정모형(VECM)을 활용하여 자동차운반선 용선료, LIBOR 금리, 자동차 무역량, 두바이 유가 간 동태적 관계를 분석하였다. Johansen 공적분 검정에서는 하나의 장기 균형을 확인했고, 벡터오차수정모형을 통해 운임이 금리와 유가에 억제되고 무역량에 촉진됨을 밝혔다. 충격반응함수(IRF) 결과, 운임 충격은 운임과 금리에 지속적 영향을 미쳤고, 유가는 단기적 충격을 미쳤으며, 무역량은 미미한 반응을 보였음이 밝혀졌다. 분산분해검정(FEVD)은 운임 변동의 77%가 자기 요인, 12%가 금리, 10%가 무역량, 금리는 운임(36%), 무역량은 유가(53%), 유가는 자기 요인(94%)에 의존함을 시사한다. 이는 해운 시장에서 비용과 수요의 복합적 상호작용을 입증하며, 실무적 통찰을 제공한다.

▶ **주제어:** 자동차운반선 용선료, 벡터오차수정모형, 장기균형관계, 충격반응함수

• First Author: Sangseop Lim, Corresponding Author: Seokhun Kim  
\*Sangseop Lim (limsangseop@kmou.ac.kr), Div. of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime and Ocean University  
\*\*Seokhun Kim (vambition@daum.net), Dept. of IT Management Information, PaiChai University  
• Received: 2025. 03. 27, Revised: 2025. 04. 18, Accepted: 2025. 04. 24.

## I. Introduction

글로벌 자동차 무역은 2023년 기준 약 2,868만 대를 초과하는 규모로 성장하며, 이를 운반하는 자동차 운반선(PCTC, Pure Car and Truck Carrier)은 해운 시장에서 필수적인 역할을 수행하고 있다[1]. PCTC 운임은 해운 기업의 수익성과 시장 경쟁력을 결정짓는 핵심 지표로, 최근 몇 년간 외부 환경의 높은 변동성으로 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 예를 들어, 2022년 러시아-우크라이나 전쟁으로 두바이 원유 가격이 급등하고, 미국 연방준비제도의 긴축 정책으로 금리가 상승하며, 코로나19 팬데믹으로 인한 공급망 혼란이 자동차 무역량에 불규칙한 변화를 초래한 사례들은 해운 시장에 복합적인 영향을 미쳤다. 이러한 요인들은 해운 업계가 직면한 도전 과제를 심화시키며, PCTC 운임 변동의 동태적 원인을 체계적으로 분석할 필요성을 강조한다.

본 연구는 PCTC 운임의 변동성을 금리, 자동차 무역량, 유가와 같은 다변수와의 상호작용을 통해 심층적으로 탐구함으로써, 해운 기업, 금융기관, 정책 당국이 선박 건조, 운영 비용 관리 등 투자 결정에 활용할 수 있는 실질적인 통찰을 제공하는 것을 목표로 한다. 기존 연구들은 주로 단일 변수에 초점을 맞췄다. 예를 들어, Notteboom & Vernimmen[2]은 유가 상승이 컨테이너 운임에 미치는 비용 전가 효과를 분석했으나, 금리나 무역량과 같은 추가 변수는 다루지 않았다. 반면, 본 연구는 네 개 변수를 통합하여 현실적인 시장 환경을 정밀히 반영하고자 한다. 나아가, 유가와 운임 간 상호작용 분석을 통해 탄소 배출 저감과 같은 환경적 목표를 지원하는 기초 자료를 제공하려는 목적도 포함한다.

기존 연구와의 차별성을 살펴보면, Kavussanos & Visvikis[3]은 벌크선 현물 및 선물 운임 간 동태적 관계를 벡터오차수정모형(VECM, Vector Error Correction Model)으로 분석했으나, PCTC와 같은 특정 선종이나 금리와 유가의 복합적 영향은 고려하지 않았으며 또한 해당 화물의 무역량과 같은 수요 변수는 제한적으로 다뤘다. 이에 비해 본 연구는 PCTC에 특화된 최초의 분석으로, VECM을 활용하여 PCTC 1년 용선료, 금리, 유가 및 자동차 무역량 간 장기 균형과 단기 동태를 포괄적으로 조사한다. 또한, 2018~2024년 데이터를 사용함으로써 금리 상승, 유가 변동(러-우 전쟁), 공급망 혼란(코로나19) 등 2020년대의 경제적 변화를 반영하여 시의성과 실용성을 확보했다.

본 논문은 2장에서 선행연구와 본 연구의 데이터 및 방법론을 설명하고, 3장에서 실증 분석 결과를 바탕으로 주요

논의사항을 다루며, 4장에서 결론과 정책적 함의를 제시한다. 이를 통해 PCTC 운임 변동의 동학을 밝히고, 해운 산업의 지속 가능성과 투자 전략 수립에 기여하고자 한다.

## II. Previous Studies and Methodology

### 2.1 Previous Studies

해상 운임과 주요 경제 및 시장 변수 간 동태적 관계를 분석한 선행연구들은 해운 시장의 복잡한 동학을 이해하는 데 중요한 통찰을 제공한다. Kavussanos & Visvikis[3]은 VECM을 활용해 벌크선 현물 운임과 선물 운임(FFA, Forward Freight Agreement) 간 공적분 관계를 분석하며, 선물 시장이 현물 운임 변동성에 정보를 전달한다고 밝혔다. 이는 금융 파생상품과 운임의 연계성을 강조하며, 본 연구에서 LIBOR 금리와 같은 금융 변수를 포함한 설계의 타당성을 지지한다. 유사하게, Kavussanos & Visvikis [3]은 FFA와 현물 운임 간 리드-래그 관계를 분석하며, FFA가 현물 가격에 정보 전이 역할을 한다는 점을 추가로 확인했다.

Geman & Smith[4]는 발틱건화물지수(BDI, Baltic Dry Index)를 통해 해운 시장의 변동성이 경제 성장과 밀접히 연관됨을 보였으며, BDI를 경제 성장의 선행 지표로 활용할 가능성을 제안했다. 이는 운임과 거시경제 변수 간 관계를 이해하는 데 기여한다. 한편, Kavussanos & Alizadeh-M[5]는 기간구조 기대가설(EHTS, Expectations Hypothesis of the Term Structure)를 적용해 벌크선 시장에서 장기 및 단기 운임 간 관계를 분석하고, 시간 변동 리스크 프리미엄의 존재를 입증하며 리스크 관리의 중요성을 부각시켰다.

운임과 원자재 가격 간 관계를 다룬 연구도 주목할 만하다. Tsioumas & Papadimitriou[6]는 주요 대량 화물(철광석, 석탄, 밀) 가격과 운임의 동태적 상호작용을 분석하며, 철광석과 석탄 가격이 발틱건화물 케이프지수(BCI, Baltic Capesize Index)와 양방향 관계를, 밀 가격이 발틱건화물 파나막스지수(BPI, Baltic Panamax Index)에 영향을 미친다고 밝혔다. 이는 화물 가격이 운임에 미치는 영향을 강조하며, 본 연구에서 두바이 원유 가격을 비용 요인으로 선택한 근거를 뒷받침한다. 또한, Notteboom & Vernimmen[2]은 컨테이너 운임과 유가(벙커 가격) 간 상호작용을 실증적으로 분석해 유가 상승이 운임에 비용 전가 효과와 단기 변동성을 유발한다고 보았다. Ke et al.[7]은 벡터자기회귀모형(VAR, Vector Autoregression)과

VECM으로 유가, 운임, 수요 간 관계를 종합 검토하며 다변수 모델의 유효성을 입증했다.

지정학적 리스크와 변동성에 대한 연구도 관련성을 가진다. Khan et al.[8]은 VAR과 충격반응함수(IRF, Impulse Response Function)를 통해 지정학적 리스크가 유가와 탱커 및 벌크선 운임에 단기 파급효과를 미친다고 확인하며, 2022년 러-우 전쟁과 같은 사건의 영향을 설명했다. Drobetz et al.[9]는 일반 자기회귀 조건부 이분산 모형(GARCH-X, generalized autoregressive conditional heteroskedasticity-X) 및 지수형 일반화된 자기회귀 조건부 이분산 모델(EGARCH-X, Exponential generalized autoregressive conditional heteroskedasticity-X) 모델로 벌크선과 탱커 운임의 변동성을 분석하며, 탱커 시장에서 비대칭 효과가 두드러짐을 밝혀 금리와 같은 금융 변수 포함의 필요성을 시사한다.

수요와 운임 간 관계를 다룬 연구도 본 연구와 맥락을 같이한다. Michail et al.[10]은 VECM과 IRF로 컨테이너 운임과 물가 간 관계를 분석하며, 수요 충격이 운임 변동에 영향을 미친다고 보았고, 이는 본 연구에서 자동차 무역량을 PCTC 운임의 수요 지표로 선택한 근거를 제공한다. Ke et al.[7]은 수요와 운임 간 상호작용을 다변수 분석으로 확장하며, 시장별 특성을 반영한 접근의 중요성을 강조했다.

그러나 기존 연구는 몇 가지 한계를 드러낸다. 대부분 벌크선이나 컨테이너선에 초점을 맞추었고, PCTC와 같은 특정 선종에 대한 분석은 부족하다. 또한, 금리, 유가, 수요 간 복합적 상호작용을 포괄적으로 다루지 못했으며, 최근 경제 환경을 반영한 연구도 제한적이다.

이에 본 연구는 PCTC 운임에 특화된 분석을 수행하며, 금리, 자동차 무역량, 두바이 원유 가격을 통합한 다변수 VECM 접근으로 장기 균형과 단기 동태를 정밀히 탐구한다. 2018~2024년 데이터를 활용해 금리 상승, 유가 변동, 공급망 혼란 등 최신 경제 동향을 반영함으로써 시의성을 확보했다. 기존 연구의 방법론을 계승하면서도 PCTC 중심의 특화성, 다변수 분석, 최근 동향 반영을 통해 차별성을 갖추었으며, 이는 해운 기업의 투자 결정과 탄소 배출 저감 전략에 실무적 통찰을 제공할 것으로 기대된다.

## 2.2 Methodology

본 연구에서는 시계열 데이터의 장기적 관계와 단기적 동태를 분석하기 위해 공적분 검정, 벡터오차수정모형, 충격반응검정, 그리고 분산분해검정을 사용하였다. 본 연구에서는 R 4.4.9버전을 통해 urca, tsDyn, vars 패키지를 이용하여 분석하였다.

### 2.2.1. Cointegration Test

시계열 변수들이 비정상(non-stationary)이지만 선형 결합을 통해 정상(stationary) 관계를 가질 수 있는지 확인하기 위해 공적분 검정을 수행하였다. 본 연구에서는 Johansen[11]의 공적분 검정 방법을 채택하였다. 이 방법은 최대고유값(Maximum Eigenvalue)과 Trace 검정을 통해 공적분 관계의 수를 추정한다. 공적분 관계는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k-1} \Gamma_i Y_{t-i} + \epsilon_t$$

$\Pi = \alpha \beta'$ 는 장기 공적분 행렬이며,  $\beta$ 는 공적분 벡터,  $\alpha$ 는 조정 속도를 나타낸다.[12]

### 2.2.2. Vector Error Correction Model

공적분 관계가 확인된 경우, VECM을 통해 변수 간의 단기 동태와 장기 균형 조정을 분석하였다. VECM은 공적분 벡터를 포함하여 다음과 같이 정의된다

$$\Delta Y_t = \alpha(\beta' Y_{t-1}) + \sum_{i=1}^{k-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \mu + \epsilon_t$$

여기서  $\beta' Y_{t-1}$ 는 오차수정항(error correction term)으로, 장기 균형에서 이탈한 정도를 나타내며,  $\alpha$ 는 이탈을 조정하는 속도를 나타낸다[13].

### 2.2.3. Impulse Response Analysis

변수 간의 동적 상호작용을 평가하기 위해 충격반응검정을 실시하였다. 이는 VECM에서 도출된 결과를 바탕으로, 한 변수의 충격이 다른 변수에 미치는 영향을 시간에 따라 추적한다. 충격반응함수는 다음과 같은 벡터자기회귀 모형의 이동평균 표현에서 유도된다.

$$Y_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \Phi_i \epsilon_{t-i}$$

여기서  $\Phi_i$ 는 충격에 대한 반응 계수이며 충격의 지속성과 크기를 분석한다[14].

### 2.2.4. Variance Decomposition Analysis

각 변수의 변동성이 다른 변수에 의해 얼마나 설명되는지를 평가하기 위해 분산분해검정을 수행하였다. 이는 충격반응검정과 함께 VAR 프레임워크 내에서 실행되며, 특정 변수의 예측 오차 분산이 다른 변수의 충격에 의해 분해되는 비율을 계산한다.

$$\text{Variance of } Y_{j,t+h} = \sum_{i=1}^n \theta_{ji}^2(h)$$

여기서  $\theta_{ji}(h)$ 는  $h$ 기간 후 변수  $j$ 의 분산에 대한 변수  $i$ 의 기여도를 의미한다[15].

### III. Data and Empirical results

#### 3.1 Data

선행연구에서 도출할 변수는 금리로 US 6개월 LIBOR(Libor)을 활용하였으며, 비용 및 경기상황을 반영하는 두바이 유가(Dubai), 운송 수요로 자동차 무역량(Car), 그리고 운임시황을 나타내는 자동차선 운반선(PCTC) 1년 용선료(P1yTC)라는 네 가지 주요 변수를 사용하여 표본 기간은 2018년 6월부터 2024년 12월까지이며 월간 데이터의 기술적 통계 특성을 분석하였다. (Table 1)

Libor는 평균 2.8162와 표준편차 2.1105를 기록하며 상당한 변동성이 있으며, Jarque-Bera 검정은 5% 유의수준에서 정규성을 기각하고 있어, 단기 금리의 비선형적 특성을 암시하고 있다. 두바이 유가는 평균 7.2015와 표준편차 1.7660으로 중간 정도의 변동성을 보이고 있고, Jarque-Bera 검정은 10% 유의수준에서도 정규성을 기각하지 못해 두바이 유가가 비교적 안정적이고 대칭적인 분포를 가짐을 보여준다. 자동차 무역량(Car)는 평균 1.0344와 낮은 표준편차 0.1825로 변동성이 제한적이다. Jarque-Bera 검정은 1% 유의수준에서 정규성을 강하게 기각하며, 극단값과 비대칭성이 자동차 거래 동태에 존재함을 시사한다. 마지막으로, PCTC 1년 용선료는 평균 5.3307과 높은 표준편차 4.2150을 기록하며 큰 변동성을 보여준다. Jarque-Bera 검정은 1% 유의수준에서 정규성을 기각한다. 이는 용선료가 공급-수요 불균형으로 인해 간헐적으로 급등했을 가능성을 보여준다.

Table 1. Descriptive Statistics for Variables

	Libor	Dubai	Car	P1yTC
Mean	2.8162	7.2015	1.0344	5.3307
Standard Error	0.2375	0.1987	0.0205	0.4742
Median	2.5203	7.3760	1.0333	3.0000
Standard Deviation	2.1105	1.7660	0.1825	4.2150
Sample Variance	4.4543	3.1188	0.0333	17.7661
Kurtosis	-1.4880	0.2026	2.4170	-1.6430
Skewness	0.1665	-0.3229	-0.9624	0.4427
Minimum	0.1511	2.6193	0.3854	1.0000
Maximum	5.8965	11.1860	1.3782	11.5000
Count	79	79	79	79
Jaque-Bera	7.6528	1.5082	31.4232	11.4664
p_value	0.0218	0.4704	0.0000	0.0032

#### 3.2 Empirical results

##### 3.2.1 Cointegration results

본 연구는 PCTC 용선료(P1yTC), 미국 3개월 리보 금리(libor), 월간 자동차 무역량(car), 두바이 원유 가격

(dubai) 간의 장기 균형 관계를 조사하기 위해 Johansen 공적분 검정을 수행하였다. 검정은 Trace 통계량을 사용하며, 공적분 관계에 상수항을 포함하고 선형 추세는 제외하였다. 단기 동태를 반영하기 위해 지연 차수(K)는 2로 설정하였으며 검정 결과는 Table 2과 같다.

Table 2. Johansen Cointegration Test Results

Ho	Eigenvalue	Trace Statistics	10% CV	5% CV	1% CV
$r \leq 3$	0.329	4.83	7.52	9.24	12.97
$r \leq 2$	0.225	11.85	17.85	19.96	24.60
$r \leq 1$	0.087	31.51	32.00	34.91	41.07
$r = 0$	0.061	62.32	49.65	53.12	60.16

note: r은 공적분 벡터 수

Johansen 검정 결과, 변수 간 하나의 공적분 관계가 확인되었다. 경제적으로, 금리와 유가 상승은 PCTC 용선료를 증가시키는 반면, 자동차 거래량 증가는 용선료를 억제하는 장기 균형이 존재한다. 이는 금융 비용(libor)과 원유 가격(dubai)이 해운 시장의 비용 구조를 높이고, 거래량(car) 증가가 공급 과잉으로 이어져 운임을 낮추는 시장 동학을 반영한다

##### 3.2.2 VECM

본 연구는 PCTC 용선료(pf), 미국 3개월 국제 금리(libor), 월간 자동차 거래량(car), 두바이 원유 가격(dubai) 간의 장기 균형과 단기 동태를 분석하기 위해 VECM을 적용하였다. 전체 표본은 79개이며, 지연 차수(K=2)로 인해 유효 표본은 76개로 추정되었다. 모델은 공적분 관계 1개(r=1)를 기반으로 36개의 기술기 파라미터를 추정하였다.

Table 3. VECM Cointegration and ECT Results

Variable	Cointegration Vector Coef. ( $\gamma_1$ )	ECT Coef. (Standard Error)
P1yTC	1.0000	-0.0212 (0.0272)
Libor	-1.555235	0.0100 (0.0107)
Car	0.9745983	0.0001 (0.0073)
Dubai	-0.6222871	0.0957 (0.0399)*
Const.	2.52248	-

Note: 공적분 벡터는 P1yTC를 기준으로 정규화되었다. ECT의 별표(\*)는 10% 유의수준을 의미한다.

장기 균형 관계를 나타내는 균형 방정식은  $P1yTC = 1.555 Libor - 0.974 Car + 0.622 Dubai - 2.522$  이다. 이 결과는 PCTC 용선료(pf)가 금리(libor)와 유가(dubai)에 음의 영향을, 자동차 거래량(car)에 양의 영향을 받는 장기 관계를 보여준다. 구체적으로, 금리가 1단위 상승하면 용

선료가 1.555단위 감소하고, 유가가 1단위 상승하면 0.622단위 감소하며, 거래량이 1단위 증가하면 0.974단위 증가한다. 이는 금리와 유가 상승이 해운 비용을 억제하고, 거래량 증가가 수요를 반영해 운임을 높이는 시장 동학을 시사한다.

VECM 결과는 PCTC 용선료가 금리와 유가에 의해 억제되고, 자동차 거래량에 의해 촉진되는 장기 균형 관계를 나타내고 있다. 이는 금융 비용과 원유 가격이 운임 하락 요인으로 작용하며, 무역량 증가가 운임을 지지하는 경제적 메커니즘을 반영한다고 볼 수 있다. 단기적으로는 변수들이 과거 값에 강한 의존성을 보이며, 특히 유가(Dubai)와 거래량(Car) 간 상호작용이 두드러진다.

그러나 VECM의 오차수정 항(ECT)의 낮은 유의성과 Dubai의 양수 계수는 통계적 한계를 드러낸다. 조정 속도가 느리거나 발산 경향이 있는 점은 공적분 관계가 단기적으로 강하게 작동하지 않을 가능성을 시사하므로 추가적인 연구가 필요하다.

### 3.2.3 Impulse Response Function Test

충격반응검정(IRF)은 VECM을 기반으로 PCTC 용선료(PlyTC)에 1 표준편차 충격이 발생했을 때, 자기자신, Libor, Car, Dubai가 0~12기 동안 어떻게 반응하는지를 분석하였다. IRF는 충격의 방향성, 크기, 지속성, 그리고 95% 부트스트랩 신뢰구간을 통해 통계적 유의성을 평가한다. 주요 결과는 Fig. 1~4과 같다.

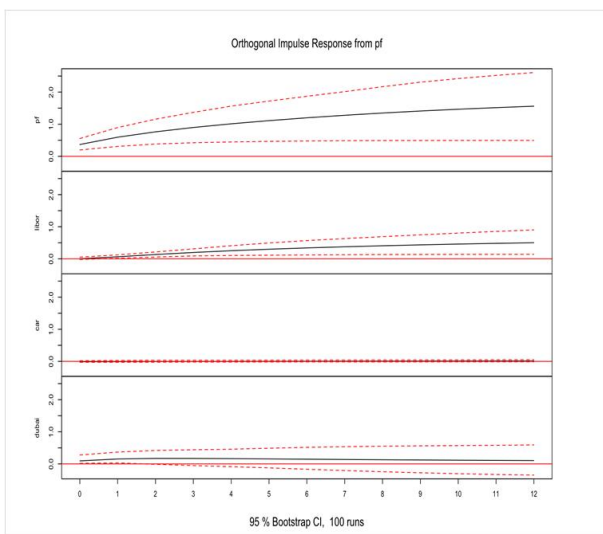


Fig. 1. IRF result of pf

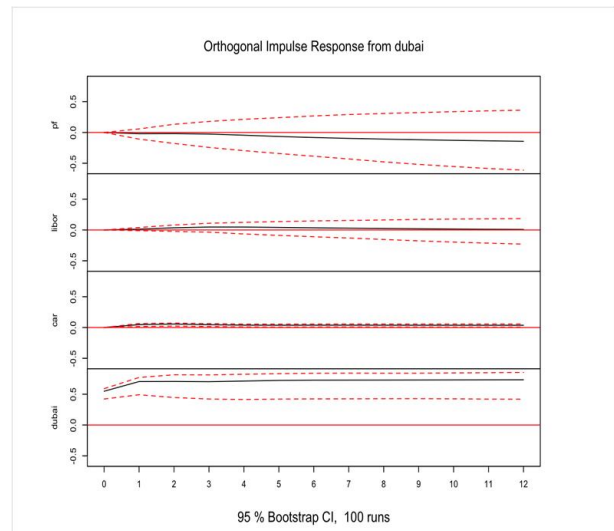


Fig. 2. IRF result of dubai

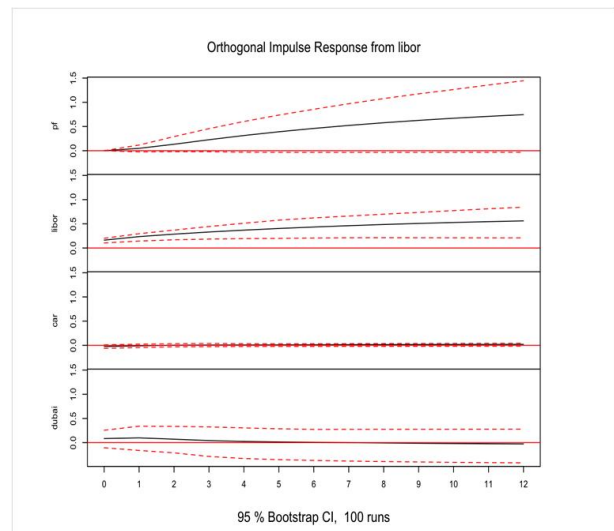


Fig. 3. IRF result of libor

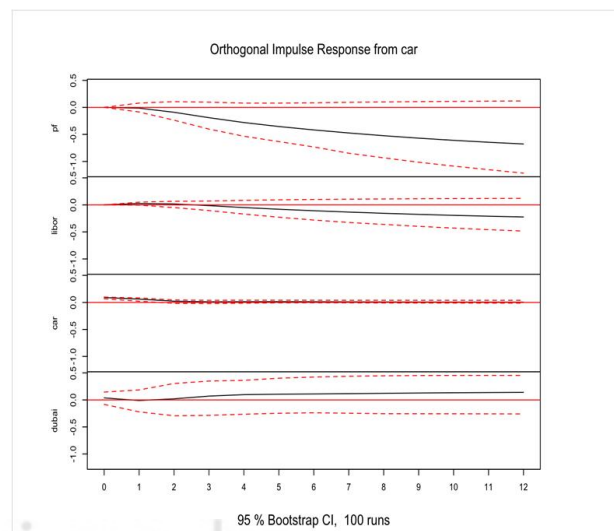


Fig. 4. IRF result of car

P1yTC의 충격은 해운 시장(P1yTC)과 금융 비용(Libor)에 강한 영향을 미치며, 유가(Dubai)에 일시적 파급효과를 가진다. 이에반해 자동차 무역량(Car)은 운임 변동에 둔감하다. 유가(Dubai) 충격은 운임(P1yTC)을 억제하고 무역량(Car)을 일시적으로 증가시키며, 금리(Libor)에는 미약한 영향을 준다. 유가 자체는 지속적 상승 경향을 보인다. 금리(Libor) 충격은 운임(P1yTC)과 자기 자신(Libor)에 지속적 영향을 미치며, 무역량(Car)과 유가(Dubai)에는 제한적 영향을 준다. 무역량 충격은 운임(P1yTC)을 억제하고 유가(Dubai)를 자극하며, 금리(Libor)에 중장기적 음의 영향을 준다. 종합적으로보면 운임(P1yTC)과 금리(Libor)는 상호 강화 관계를 가지며, 유가(Dubai)는 운임과 무역량에 단기 영향을, 무역량(Car)은 운임 억제와 유가 자극 역할을 한다. 시장 동학에서 비용 요인(Libor, Dubai)과 수요 요인(Car)의 상호작용이 확인된다.

**3.2.4 Variance Decomposition Test**

분산분해검정은 PCTC 용선료(P1yTC), 리보 금리(Libor), 월간 자동차 무역량(Car), 두바이 유가(Dubai)의 변동성이 각 변수의 충격에 의해 설명되는 비율을 분석하였다. 분산분해검정은 자기 기여도, 타 변수 기여도, 시간에 따른 변화를 통해 변수 간 상대적 중요성을 평가한다. 주요 결과를 살펴보면 pf는 자기 영향(77.05%) 외에 libor(12.39%)와 car(10.13%)에 영향을 받으며, 해운 시장의 금융 및 수요 요인과의 연계를 반영한다. libor는 pf(36.33%)와 상호작용하며 금융-해운 관계를 시사한다. car는 dubai(52.76%)에 크게 의존하며, 비용 요인(유가)이 무역량 변동의 주된 원인임을 나타낸다. 반면, dubai는 93.98%의 자기 기여도로 독립적인 움직임을 보인다.

Table 4. Variance Decomposition of pf

Variance Period	pf	libor	car	dubai
1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.9940	0.0047	0.0004	0.0009
3	0.9735	0.0182	0.0076	0.0007
4	0.9411	0.0357	0.0224	0.0007
5	0.9073	0.0530	0.0386	0.0011
6	0.8772	0.0684	0.0528	0.0016
7	0.8516	0.0816	0.0646	0.0022
8	0.8299	0.0929	0.0745	0.0027
9	0.8114	0.1025	0.0829	0.0032
10	0.7957	0.1108	0.0900	0.0036
11	0.7822	0.1178	0.0961	0.0039
12	0.7705	0.1239	0.1013	0.0042

Table 5. Variance Decomposition of libor

Variance Period	pf	libor	car	dubai
1	0.0004	0.9996	0.0000	0.0000
2	0.0481	0.9424	0.0073	0.0022
3	0.1186	0.8685	0.0050	0.0079
4	0.1821	0.8034	0.0033	0.0112
5	0.2312	0.7511	0.0065	0.0111
6	0.2679	0.7100	0.0124	0.0097
7	0.2953	0.6773	0.0193	0.0081
8	0.3161	0.6509	0.0263	0.0066
9	0.3322	0.6293	0.0330	0.0055
10	0.3449	0.6113	0.0392	0.0046
11	0.3551	0.5962	0.0449	0.0038
12	0.3633	0.5833	0.0501	0.0032

Table 6. Variance Decomposition of car

Variance Period	pf	libor	car	dubai
1	0.0127	0.0710	0.9164	0.0000
2	0.0113	0.0507	0.7917	0.1463
3	0.0100	0.0410	0.6633	0.2858
4	0.0092	0.0389	0.5979	0.3540
5	0.0086	0.0392	0.5606	0.3916
6	0.0081	0.0407	0.5303	0.4209
7	0.0080	0.0437	0.5009	0.4474
8	0.0086	0.0481	0.4729	0.4704
9	0.0101	0.0536	0.4468	0.4894
10	0.0123	0.0599	0.4229	0.5049
11	0.0152	0.0667	0.4006	0.5175
12	0.0187	0.0738	0.3798	0.5276

Table 7. Variance Decomposition of dubai

Variance Period	pf	libor	car	dubai
1	0.0278	0.0223	0.0045	0.9454
2	0.0382	0.0198	0.0018	0.9401
3	0.0446	0.0159	0.0014	0.9381
4	0.0474	0.0124	0.0036	0.9366
5	0.0477	0.0099	0.0067	0.9356
6	0.0469	0.0082	0.0092	0.9357
7	0.0455	0.0069	0.0112	0.9364
8	0.0439	0.0060	0.0129	0.9372
9	0.0422	0.0052	0.0145	0.9380
10	0.0405	0.0047	0.0161	0.9387
11	0.0389	0.0043	0.0175	0.9393
12	0.0373	0.0040	0.0189	0.9398

경제적으로, 운임과 금리는 상호 강화 관계를 형성하며 시장 동학을 주도한다. 무역량은 유가에 민감하지만 운임에는 둔감하며, 유가는 다른 변수와 분리된 외생적 특성을 가진다. 이는 해운 시장에서 비용(libor, dubai)과 수요(car)의 복합적 상호작용을 보여준다.

#### IV. Conclusion

본 연구는 PCTC 용선료(P1yTC), LIBOR 금리(Libor), 자동차 무역량(Car), 두바이 유가(Dubai) 간의 동태적 상호작용을 Johansen 공적분 검정, VECM, 충격반응검정(IRF), 분산분해검정을 통해 분석하였다. 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 공적분 검정은 변수 간 하나의 장기 균형 관계를 확인했으며, VECM 결과는 운임이 금리와 유가에 의해 억제되고 무역량에 의해 촉진됨을 보여준다. 이는 금융 비용과 유가가 운임 하락 요인으로, 무역량이 수요 증가로 운임을 지지함을 반영한다. 둘째, IRF 분석은 운임 충격이 자기 자신과 금리에 강한 영향을 미치며 유가에 일시적 영향을, 무역량에는 미미한 영향을 주는 반면, 유가 충격은 운임 억제와 무역량 자극, 금리 충격은 운임과 금리 강화, 무역량 충격은 운임 억제와 유가 자극 효과를 나타냈다. 셋째, 분산분해검정 결과는 운임 변동의 77%가 자기 요인, 12%가 금리, 10%가 무역량에 의해 설명되고, 금리는 운임(36%)에 크게 의존하며, 무역량은 유가(53%)에, 유가는 자기 요인(94%)에 의해 주도됨을 밝혔다.

경제적으로, 운임과 금리는 상호 강화 관계를 형성하며 해운 시장의 금융 연계성을 강조하고, 무역량은 유가에 민감한 수요 요인으로 작용하며, 유가는 외생적 요인으로 독립성을 보인다. 이는 최근 금리 상승, 유가 변동, 공급망 혼란 등 외부 환경이 PCTC 시장에 복합적으로 작용함을 시사한다. 그러나 ECT의 낮은 유의성, 유가의 발산 경향, 공적분 계수와 분산분해검정의 불일치 등은 모델 사양 및 데이터 스케일 조정의 필요성을 있다고 판단된다.

본 연구는 해운 경제학 및 시계열 분석 분야에서 VECM을 활용해 PCTC 운임의 장기 균형과 단기 동태를 규명함으로써 기존 문헌의 한계를 보완했다. 특히, 공적분 검정을 통해 확인된 장기 균형 관계는 LIBOR 금리, 자동차 무역량, 두바이 유가와 같은 다변수 간의 복합적 상호작용을 체계적으로 분석한 점에서 이론적 기여를 제공한다. IRF와 분산분해분석 결과를 통해 운임 변동의 주요 요인과 각 변수 간 상호 의존성을 정량적으로 밝힌 것은 향후 해운 시장의 경제적 요인 분석에서 새로운 연구 프레임워크로 활용될 수 있다. 또한, 본 연구는 특정 선종(PCTC)에 초점을 맞춘 분석을 통해 기존의 일반적인 해운 운임 연구와 차별화된 접근을 제시하며, 유사한 특수 선종에 대한 후속 연구의 기초자료로 기여할 수 있을 것이다. 실무적 측면에서 본 연구의 결과는 해운 산업 및 관련 이해관계자들에게 실질적인 의사결정 도구로 활용할 수 있다. 첫째, 운임이 금리와 유가에 의해 억제되고 무역량에 의해 촉진된다는 발

견은 해운사들이 금리 및 유가 변동에 따른 비용 리스크를 관리하는 데 중요한 지침이 될 수 있다. 예를 들어, 금리 상승기에는 운임 하락 압력을 고려해 장기 계약을 우선시하거나, 유가 변동에 대비한 연료비 헤지 전략을 강화할 수 있다. 둘째, 자동차 무역량이 운임에 긍정적 영향을 미친다는 점에서, 글로벌 자동차 수출입 동향을 모니터링함으로써 수요 예측 및 선박 배치 전략을 최적화할 수 있다. 마지막으로, 분산분해검정 결과에서 운임 변동의 77%가 자기 요인에 기인한다는 점은 해운사들이 외부 요인뿐 아니라 내부 운영 효율성 개선에 집중해야 함을 시사한다. 이는 선박 운영비 절감, 루트 최적화, 또는 친환경 선박 도입과 같은 실무적 전략으로 이어질 수 있다. 또한, 정책 입안자들은 본 연구의 결과를 바탕으로 해운 시장의 안정성을 높이기 위한 금리 및 유가 관련 정책 수립에 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 PCTC 운임의 다변수 동태성을 정량화하여 해운 기업의 투자 결정과 정책 수립에 실무적 통찰을 제공하며, 향후 모델 안정성 검증과 장기 동태 분석으로 연구를 확장할 계획이다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the PaiChai University research grant in 2024.

#### REFERENCES

- [1] Clarkson Research, Car Carrier Trade & Transport 2024.
- [2] T. E. Notteboom, Bert Vernimmen, The effect of high fuel costs on liner service configuration in container shipping, *Journal of Transport Geography*, Vol.17, No.5, pp. 325-337, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2008.05.003>.
- [3] M. G. Kavussanos and I. D. Visvikis, Market interactions in returns and volatilities between spot and forward shipping freight markets, *Journal of Banking & Finance* Vol.28, pp.2015-2049, 2004.
- [4] H. Geman, and W. O. Smith, Shipping markets and freight rates: an analysis of the Baltic Dry Index. *Journal of Alternative Investments*, Vol.15, No.1, pp.98-109, 2012.
- [5] M. G. Kavussanos and A. H. Alizadeh-M, The Expectations Hypothesis of the Term Structure and Risk Premiums in Dry Bulk Shipping Freight Markets, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.36, pp. 267-304, 2002.
- [6] V. Tsioumas, and S. Papadimitriou, The dynamic relationship

between freight markets and commodity prices revealed. *Maritime Economics and Logistics*, Vol.20, pp. 267-279, 2018. DOI: 10.1057/s41278-016-0005-0

- [7] L. Ke, Q. Liu, A. K. Y. Ng, and W. Shi, Quantitative modelling of shipping freight rates: developments in the past 20 years. *Maritime Policy & Management*, Vol.51, No.3, pp.442-460, 2022. DOI: 10.1080/03088839.2022.2138595
- [8] K. Khan, C. W. Su, R. Tao, and M. Umar, How do geopolitical risks affect oil prices and freight rates?, *Ocean & Coastal Management*, Vol.215, 2021. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105955.
- [9] W. Drobetz, T. Richter, and M. Wambach, Dynamics of time-varying volatility in the dry bulk and tanker freight markets, *Applied Financial Economics*, Vol.22, No.16, pp.1367-1384, 2012. DOI: 10.1080/09603107.2012.657349.
- [10] N. A. Michail, K. D. Melas, and L. Cleanthous, The relationship between shipping freight rates and inflation in the Euro Area, *International Economics*, Vol.172, pp.40-49, 2022. DOI: 10.1016/j.inteco.2022.08.004.
- [11] S. Johansen, Statistical analysis of cointegration vectors, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol.12, No.2-3, pp.231-254, 1988. DOI: 10.1016/0165-1889(88)90041-3.
- [12] R. F. Engle, and C. W. J. Granger, Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing, *Econometrica*, Vol.55, No.2, pp.251-276, 1987. DOI:10.2307/1913236
- [13] H. Lütkepohl, *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*, Springer Berlin, Heidelberg, 2005. DOI: 10.1007/978-3-540-27752-1
- [14] C. A. Sims, *Macroeconomics and Reality*, *Econometrica*, Vol.48, No.1, pp.1-48, 1980. DOI: 10.2307/1912017
- [15] G. Koop, M.H. Pesaran, and S. M. Potter, Impulse response analysis in nonlinear multivariate models, *Journal of Econometrics*, Vol.74, No.1, pp.119-147, 1996. DOI: 10.1016/0304-4076(95)01753-4.

## Authors



Sangseop Lim received the B.S. degree in ship engineering and M.A. and Ph.D. degrees in shipping management from Korea Maritime and Ocean University, Korea, in 2007, 2014 and 2018, respectively.

Since 2020, Dr. Lim is currently a Professor in the Division of Navigation Convergence Studies at Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea. He is interested in shipping finance, shipping market forecasting and market risk management.



Seokhun Kim received the M.S and Ph.D. degree in Computer Engineering from Hannam University in 2003 and 2006. He is an assistant professor Mobile Media at Suwon Women's University in from 2012 to 2017.

Dr. Kim is currently an professor in the Department of IT Management Information at Paichai University. His teaching and research specialties are in the fields Mobile computing, Web-App programming, E-commerce System.