

# SNA를 이용한 국내 수출입 네트워크 구조와 응집성 분석

김주혜\* · 이정민\*\* · † 김율성

\*국립한국해양대학교 물류시스템공학과 박사, \*\*국립한국해양대학교 해양컨텐츠융복합과정 물류시스템공학전공 박사과정생,

† 국립한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

## Study of Korea Import and Export networks and Cohesion Analysis

Joo-Hye Kim\* · Jeong-Min Lee\*\* · † Kim Yul-Seong

\*PhD, Logistics System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

\*\*Student, Department of Convergence Interdisciplinary Education of Maritime & Ocean Contents, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

† Logistics System Engineering, Korea maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

**요 약** : 글로벌 공급사슬망 내 항만은 서로 복잡한 물류 네트워크시스템을 형성하고 있다. 많은 연구자들은 SNA분석을 활용하여 물류 네트워크, 무역 네트워크, 그리고 해상 네트워크 등 활발한 네트워크 관련 연구를 진행해 왔다. 그러나, 기존의 SNA분석에 비해 물류 및 무역과 관련된 SNA 응집성 분석은 미비한 편이다. 따라서, 본 연구는 SNA 응집성 분석기법 중 핵심집단 분석과 커뮤니티 분석을 활용하여 지역, 항만, 공항을 포함한 모든 국내 수출입 물류 네트워크의 시계열적인 구조변화 양상에 대해 파악하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 2004년부터 2022년까지의 관세청 수출입물류통계연보 자료를 활용하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다. 핵심집단과 커뮤니티 분석 결과, 국내 수출입 물류 네트워크 응집성은 지속적으로 강화되고 있었으며 지역, 항만, 공항의 결속구조가 높아지고 동질적 형태가 증가하고 있음을 확인하였다. 또한, 부산항이 주요 커뮤니티의 중심인 것을 확인하였다. 이를 통해 글로벌 물류환경의 과정을 이해하고, 물류 및 무역 관련 정책과 지속 가능한 수출입 물류 프로세스를 구축하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 물류네트워크, 네트워크구조, 수출입화물, SNA분석, 응집성분석

**Abstract** : Ports play a crucial role in the complex global supply chain. While many researchers have used social network analysis (SNA) to study active networks, there is a lack of SNA cohesion analysis specifically related to logistics and trade. Therefore, this study aims to identify time-series structural changes in all domestic import and export logistics networks, including regions, ports, and airports, by utilizing techniques such as k-core and community analysis. To carry out this analysis, we rely on data from the Korea Customs Service's Import and Export Logistics Statistical Yearbook spanning from 2004 to 2022. The findings from the k-core and community analysis indicate that the cohesion of the domestic import and export logistics network has continuously strengthened over time. Moreover, it reveals that regions, ports, and airports are becoming more cohesive and homogeneous, with Busan Port emerging as the central hub of a large community. These insights are expected to enhance our understanding of global logistics dynamics and contribute to the development of policies and sustainable import and export logistics processes.

**Key words** : logistics network, network structure, import-export, SNA analysis, cohesion analysis

### 1. 서 론

국제 무역은 세계 경제에 큰 영향을 미치며, 국가 간의 경제 관계 형성에도 영향을 준다. 한국무역협회(2022)와 한국경제인협회(2023)에 따르면, 우리나라 수출시장 점유율은 2022년 기준 6위, 수입시장 점유율은 2022년 기준 8위를 기록하였으며 우리나라의 수출입 무역 의존도는 2022년 기준 84.6%로 상당히 높은 무역 의존도를 보인다. 이때, 우리나라의 수출입 화물은 99% 이상 해상운송으로 이루어지고 있으며 이에 따라 국내 해상 수출입 화물은 국내외 무역의 중심 요소 중 하나로

간주된다(Kang et al, 2014; Park, 2022). 하나의 해상운송시스템은 연결노드(NODE), 수송수단(MODE) 및 물적 유통(LINK)으로 구성되는데, 해상운송시스템의 연결노드는 해상과 육상의 연결점인 항만에서 이루어지며 항만은 생산, 거래, 물류 및 정보교류의 필수적인 플랫폼으로 각 항만을 교차하는 공급사슬시스템의 핵심노드 역할을 한다(Kang et al, 2014).

이러한 글로벌 무역환경의 핵심노드인 항만은 단순히 수출입 화물처리의 기능뿐만 아니라 전 세계적인 생산 네트워크 및 복잡한 공급사슬망 내에서 중요한 역할을 하는 허브로 발전해왔다. 특히, 항만은 수송망의 효율성을 증대시킬 뿐만 아

† Corresponding author : 정회원, logikys@kmou.ac.kr 051)410-4332

\* 정회원, joohye915@g.kmou.ac.kr 051)410-4890

\*\* 정회원, jmjm3646@g.kmou.ac.kr 051)410-4890

나라, 국가 및 지역 간의 연결성과 경쟁력을 강화하는 전략적인 역할을 수행하고 있으며, 특히 항만은 화물의 출발지와 도착지 국가 경제에 큰 영향을 미치고 있다(Enrico et al, 2017).

이처럼 해상과 육상을 연결하는 세계 다수의 항만은 글로벌 공급사슬망 내에서 서로 네트워크를 형성하고 있다. 특히, 현재의 대부분 항만은 복잡한 물류 네트워크시스템을 형성하고 있는 거점과 지점(Hub-and-Spoke) 운영구조를 채택하고 있어 항만간 물류 네트워크는 매우 밀접한 관계를 가지고 있다(Leem, 2011; Kang et al, 2014). 물류 네트워크를 선정하고 구축할 때는 글로벌 생산 네트워크의 변화, 국제 무역 구조, 지리적, 경제적, 인프라 여건 등에 영향을 받는 요소의 특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 오늘날 수출입화물 네트워크에 관련된 대부분의 연구는 네트워크의 중심성 분석 위주로 이루어지고 있다(Ryu et al, 2018; Kim et al, 2019; Kim et al, 2022). 즉, 이미 많은 연구자들은 사회네트워크분석(SNA: Social Network Analysis)을 활용하여 물류 네트워크, 무역 네트워크, 그리고 해상 네트워크 등 활발한 네트워크 관련 연구를 진행해 왔다. 그러나, 기존의 네트워크 분석에 비해 물류 및 무역과 관련된 네트워크 응집성 분석은 미비한 편이다.

이때, 전체 네트워크의 응집력 있는 하위그룹을 살펴보는 네트워크 응집성 분석은 전체 네트워크를 이루고 있는 하위 집단의 수, 집단 간의 중첩, 혹은 각 집단의 크기와 그 분포도를 확인함으로써 네트워크 구조의 특징을 볼 수 있다. 또한, 해상 수출입 화물 네트워크 구조와 상호작용을 이해하고 최적화할 수 있으며 이를 통해 글로벌 물류 환경의 일련의 과정을 추적하고 이해할 수 있고 주요 파트너, 그리고 흐름의 변화를 확인할 수 있다. 정부 및 국제기구는 네트워크 응집성 분석을 활용하여 물류 및 무역 관련 정책을 개발하고 조정할 수 있으며, 경제적 이점을 창출하고 지속 가능성을 고려한 물류 시스템을 구축할 수 있다. 또한, 물류 네트워크의 위상변화를 파악해 보는 것은 향후 국내 물류 환경을 전망하는데 필수적이다.

이러한 관점에서 본 연구는 2004년부터 2022년까지의 국내 수출입 화물 통계자료를 바탕으로 사회네트워크분석(SNA)에서 응집력 있는 하위그룹을 식별할 때 사용되는 네트워크 응집성 분석을 통해 국내 물류 네트워크의 핵심집단(k-core)과 네트워크의 응집구조(Community)의 변화양상을 분석하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구를 위해 심도있는 선행연구를 고찰한다. 3장에서는 본 연구에 사용된 분석자료와 방법론을 설명하고, 4장에서는 연구결과와 시사점을 논의한다. 그리고 5장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 선행연구

SNA를 활용한 물류 네트워크 관련 연구로 Iyengar et al (2012)은 SNA 분석을 활용하여 20년간의 페널 데이터를 바탕으로 시간의 흐름에 따라 물류활동과 운송활동이 미국 경제의 중심이 되었는지에 대한 연구를 진행하였다. 이들은 시계열에

따른 권력 및 중심성의 이동과 관련된 확장된 네트워크 분석을 위해서 SNA의 효과성을 보여주었으며 분석 결과로는 미국의 전반적인 산업환경은 시간이 지남에 따라 덜 중앙집중화 되었지만, 운송 및 창고업은 점점 더 미국경제의 중심이 되었다고 밝혔다.

Wang and Ma(2021)는 SNA 분석을 활용하여 지역 물류 네트워크 구조를 분석하고자 하였다. 이들은 이 연구를 통하여 베이징-천진-허베이 지역 물류 네트워크의 강도는 상대적으로 높지만 물류 발전 수준은 불균형을 밝혔다.

Wang et al(2022)은 SNA 분석을 활용하여 신선제품 공급망의 물류 네트워크의 주요 위험요인을 종합적으로 분석하였다. 결과적으로 신선물류 공급네트워크에서 보관 및 분류는 다른 위험요소와 결합될 때 큰 위험가치를 가지는 것을 밝혔다.

Kim and Kim(2022)은 SNA분석을 이용하여 해상 수출입 화물의 네트워크 구조 변화를 파악하고, 국내 항만의 중심성에 영향을 미치는 주요 요인들을 도출하였다. 결과적으로 연결 중심성은 울산항이 높고, 내항 근접중심성은 부산, 인천항이 높았다. 그리고 외항 근접 중심성은 부산, 울산항이 높게 나타났다. 이들은 20년간의 통계자료를 바탕으로 SNA 분석을 통해 항만 중심성 지표 변화와 해상화물 네트워크 구조를 파악함으로써 국내 수출입 화물 무역 네트워크의 일련의 패턴을 예측하고 미래리스크에 대응하는 자료를 마련하였다.

Kang et al(2014)은 항만을 공급사슬망의 노드라 밝히며, 최근에는 국내의 해운선사들에 의해 연결되는 항만들의 연결성을 통해 중심 항만을 판단하다고 밝혔다. 이들은 SNA 분석을 이용하여 2006년부터 2011년까지 19개 선사의 기항패턴과 선박투입량을 기반으로 전 세계 항만 네트워크를 시계열적으로 분석하였다. 결과적으로 항만 네트워크의 구조적 특징을 파악하고 네 가지 항만 중심성을 나타냈으며 연도별 항만 네트워크 중심성 추이를 도출하였다. 또한, 항만 중심성은 항만 경쟁력을 측정하는데 유의미한 영향을 미칠 것이며 기존의 항만 물동량 기준의 경쟁력 평가 방법에서 벗어나 항만의 외부적 요소를 통해 항만을 평가해야 한다고 밝혔다.

Park(2012)은 해운 네트워크는 항만의 지위를 결정하는 주요 요소라고 밝히며 부산항을 사례로 항만의 위상변화를 해운 네트워크로 고찰하고 항만 중심성 지수를 산정하여 이를 항만 물동량 변화와 상관관계를 분석하였다. 부산항의 해운 네트워크 위상변화를 고찰하는 것은 부산항의 향후 발전 모습을 전망하는 데에 유용하다고 밝혔으며 거점의 중심성과 중계성을 통한 해운 네트워크의 파악은 국가 경제발전 과정과 지정학적 입지 변화와 밀접하게 변화되어 왔음을 밝혔다. 해당 연구 결과는 부산항은 해운 네트워크 측면에서 우리나라의 중심항만으로 그 기능을 지속하고 있다고 나타났으며, 세계 항만들의 해운 네트워크는 항만 물동량의 변화와 밀접한 관계가 있음이 나타났다.

Park(2022)은 우리나라는 수출중심의 경제구조로 수상운송 사업이 국가 핵심 서비스 산업임을 밝히며 불확실성이 증가하

는 해운시장에서 국내 수상운송업체의 경쟁력 유지 및 발전전략 수립을 위해서 세계 수상운송업의 구조변화와 무역 네트워크의 파악이 필요하다고 밝혔다. 2000년~2020년까지의 국가간 수상운송업 거래를 확인할 수 있는 아시안개발은행(ADB: Asian Development Bank) 국제산업연관표(WIOT: World Input-Output Tables)를 기반으로 SNA 분석을 진행하였다. 결과적으로 한국은 모든 중심성에서 세계 10위권이었으며, 총산출량도 세계 8위를 기록하여 세계 내 한국의 수상운송산업의 중요성을 밝혔다.

Son and Kim(2023)은 코로나 팬데믹은 항만물류산업에 엄청난 충격을 준 요소라고 밝히며, 국내 5대 컨테이너 터미널을 기항하는 정기선 네트워크를 바탕으로 SNA 방법론을 활용하여 코로나 팬데믹 이후의 네트워크 구성 향만의 영향력 변화양상을 파악하고자 하였다. 이때, SNA 분석의 중심성 지수인 연결정도 중심성, 매개 중심성 및 근접 중심성 등을 활용하였다. 결과적으로, 부산항의 경우, 싱가포르항이 핵심적인 중심성을 가지고, 광양, 인천, 및 울산항을 기항하는 정기선 네트워크와 핵심적인 관계를 가짐을 밝혔다. 그리고 광양항은 포트콜랑항의 영향력이 높아지고 있었으며, 울산항은 국내 항만들의 영향력이 높게 나타났다. 인천항은 일본 항만들이 인천항 네트워크의 매개자임을 밝혔으며 평택·당진항은 동남아시아 항만들이 매개자 역할을 하는 것으로 나타났다.

다음으로, 네트워크 응집성 분석을 활용한 연구로 Leem(2011)은 국적 선사들의 해상물동량을 기반으로 SNA 분석을 통해 항만 네트워크 구축 및 분석을 진행하였고 구조적 공백 및 네트워크 응집성 지표를 통해 대만, 중국, 일본, 한국의 국적 선사들에 의한 항만 네트워크 구조를 비교 분석하였다. 결과적으로 4개국의 국적선사별 항만 중심성으로 연결된 핵심항만을 파악하였다. 특히, 네트워크 응집성 분석으로 네트워크 제약성을 도출하였으며 이를 통해 선사들이 항만과 강한 신뢰 관계를 바탕으로 입출항하고 있다고 밝혔다.

Han and An(2018)은 4차 산업혁명시대에 맞춰 이들이 요구하는 미래사회 핵심역량 개념의 네트워크 구조를 파악하기 위하여 빈도분석, 중심성 분석, 핵심집단(K-CORE)분석, 클러스터 분석을 포함하는 SNA 분석을 진행하였다. 이들은 핵심집단의 분석 결과로 전체개념 중 약 21% 이상의 개념들이 10-core 컴포넌트를 구성하여 네트워크 내에서 핵심부를 형성한다고 밝혔으며, 클러스터 분석결과를 통해 상호 연계가 강한 계층적 클러스터가 형성되는 것을 밝혔다.

Wang et al(2008)은 온라인 협업 학습의 성공적인 환경을 구축하기 위한 접근방법으로 SNA 분석의 응집성 분석을 제시하였다. 이들은 응집력은 온라인 협업학습의 성과에 영향을 미치는 요소라 밝히면서, 집단의 응집력을 효과적이고 정확하게 분석할 수 있는 모델로 K-CORE, K-plexes, Cliques, Cluster Analysis 등을 제시하였다. 또한 이들은 사례연구를 통해 해당 모델들이 효과적이고 효율적임을 증명하였다.

SNA 분석을 활용한 물류 네트워크 관련 선행연구를 살펴

본 결과, 이미 많은 연구자들은 SNA분석을 활용하여 물류 네트워크, 무역 네트워크, 그리고 해상 네트워크 등 활발한 네트워크 관련 연구를 진행해 왔다. 이러한 연구들은 주로 다양한 시계열 데이터를 기반으로 네트워크 분석을 진행하고 있었으며, 분석 방법은 중심성 분석이 대부분이었다. 따라서 이들은 네트워크 중심성을 기반으로 네트워크 구조를 파악하고 핵심항만을 도출하고 있었으며, 중심성 지수를 활용하여 물동량과의 상관관계를 파악하고 있었다. 다음으로 SNA 분석 중 하위그룹을 파악하는 응집성분석과 관련된 선행연구는 다양한 분야에서 활용되고 있으나 기존의 SNA 분석에 비해 응집성 분석에만 초점을 맞춘 분석은 다소 미비한 편이다. 이들은 주로 SNA 분석의 중심성 분석과 함께 진행되고 있었다. 특히, 물류 및 무역과 관련된 SNA 응집성 분석은 거의 없었다. 따라서, 본 연구에서는 지역, 항만, 공항까지 모든 국내 수출입 물류 네트워크를 포괄할 수 있는 노드를 대상으로 네트워크 응집성 분석을 진행하여 국내 수출입 물류 네트워크의 시계열적인 구조적 변화양상에 대해 파악하고자 한다. 이를 통하여 기존의 수많은 국내 물류 네트워크의 SNA 분석에서 더 나아가 네트워크 응집성 분석을 통한 국내 수출입 물류 네트워크의 하위집단을 파악해보으로써, 그 구조적 변화양상을 더욱 세밀하게 파악하고자 한다.

### 3. 연구설계 및 연구방법

#### 3.1 분석 방법

SNA 분석에는 다양한 분석 방법들이 있는데, 각 개체가 얼마나 중요한가를 판단하기 위한 중심성 분석(Centrality analysis), 각 개체가 얼마나 응집되어 있는가를 판단하기 위한 응집적 하위집단분석(Cohesive sub-group analysis), 각 개체 간 얼마나 유사성을 지니고 있는가를 판단하는 등위성 분석(Equivalence analysis) 등이 있다(Kim, 2019). 본 연구에서는 2004년부터 2022년까지의 국내 수출입 자료를 바탕으로 SNA 분석의 응집적 하위집단 분석을 진행하여 국내 수출입 물류 네트워크의 하위그룹의 응집성 특성이 어떻게 변화하였는지를 분석하고자 한다.

먼저, 응집성이란 네트워크를 구성하는 요소들이 반복적으로 등장해 하나의 집단으로 인식될 수 있는 성질을 말한다(Kim, 2016). 이들은 네트워크 내에서 개체 간 상대적으로 동질적이며, 상호 연결관계를 가지고 있는 하위그룹(sub group), 일종의 커뮤니티(community)를 형성시킨다. 즉, 네트워크 응집성 분석은 전체 네트워크에서 집단들이 어떻게 나뉘며 연결되어 있으며, 그 중에서도 상대적으로 강력하고, 직접적이고, 상호 호혜적이며, 빈번한 연결관계를 갖는 개체들의 집합을 식별해내는 방법이다(Kim, 2019). 따라서 이러한 그룹을 파악하는 것이 네트워크 분석에 있어 중요한 관심사 중 하나로 나타나고 있다(Borgatti et al. 2013; Hanneman et al, 2005;

Wasserman et al, 2005). 또한, 네트워크 응집성은 공동체 내에서 발달하며 책임공유와 높은 신뢰관계에 의해 특징되는 공동체에서 응집성을 찾아볼 수 있다(Coleman, 1988; Leem, 2011). 본 연구에서는 네트워크 응집성 분석 중 핵심집단(k-core) 분석과 커뮤니티(Community) 분석을 수행하였다.

핵심집단(k-core) 분석은 전체 네트워크에서 가장 핵심이 되는 노드를 중심으로 모을 때 몇 개의 중심이 나타나는지를 분석하며, 이때 나타나는 하위 집단 수를 분석하는 것이다(Kim, 2014). 이때, k-core 방법은 ‘연결정도(degree)’의 개념으로 응집성을 측정하여 컴포넌트의 구조를 파악하는 방법이며, 다른 하나인 m-core 방법은 ‘다중성(multiplicity)’ 개념에 의하여 응집성을 측정하는 방법이다. 이 중에서 포괄적으로 핵심집단을 분석하기 위해 사용되는 방법은 k-core 방법이다(Scott, 1991). k-core 분석은 다른 응집성 분석이 보여주지 못하는 내적인 차별성을 검토할 수 있다는 장점이 있다.

커뮤니티(Community) 분석은 노드(개체) 간 연결정도를 나타내는 링크의 사이 중심성을 사용하여 결속구조를 나타내는 방법이다. 보통 한 커뮤니티에 속한 노드들 간에는 높은 연결성이 있을 것으로 예상되며, 서로 다른 두 커뮤니티에 속한 노드들 간에는 연결성이 낮을 것으로 기대된다(Hong et al, 2018). 전체 네트워크 사이 중심성에 따라 링크들을 서열화 한 다음, 그 값이 가장 큰 링크를 제거하는 과정을 링크가 하나도 남지 않을 때까지 반복한 다음, 가장 나중에 없어진 링크에 붙은 결점 쌍부터 차례대로 클러스터를 만들어 가는 것이다. 커뮤니티(Community) 분석에서는 모듈도(Modularity)값이 큰 것이 전체 네트워크 내에서 가장 잘 나누어진 커뮤니티라고 볼 수 있다. 다양한 알고리즘 가운데 가장 좋은 모듈값을 통해 커뮤니티, 그룹을 구분하거나 랜덤(Randaom)하게 경로를 부여하여 나뉘지는 경우에 대하여 실제로 나뉘진 경로를 비교하는 것으로서 경로의 분포에 대한 모델이 들어가는 CNM 알고리즘 분석을 실시하였으며, 이 알고리즘은 통계적인 고려가 되어있다는 것이 특징이다(Clauset et al., 2004).

### 3.2 분석자료

본 연구의 분석에 사용된 자료는 관세청 수출입 물류과에서 발행하는 수출입물류통계연보 자료를 기반으로 구성하였다. 본 연구에서는 관세청 수출입물류통계연보 자료를 분석 자료로 선정한 이유는 국내 기준 교역관련 자료로 가장 공신력 있고, 시계열 분석이 가능한 일련의 자료를 제공하고 있기 때문이며, 향후 연구의 확장을 고려하여 품목별로 구분이 용이하며 수출입 화물의 이동경로를 가장 정확하게 반영하는 자료라고 판단되었기 때문이다. 그리고, 해당 통계연보는 2004년부터 관세무역개발원에 의해 제작되었기 때문에, 수출입물류통계연보가 처음 발간된 2004년부터 가장 최근의 2022년 자료

를 대상으로 선정하였다.

분석의 기초 입력 단위는 수출의 경우 출발지, 적재항/공항, 도착항/공항, 목적국을 포함하고, 수입의 경우 원산지, 적재항/공항, 양륙항/공항, 도착지 순서로 교역된 물동량 내역을 활용하였다. 이를 전처리하여 항만/공항/지역을 노드로 항로를 링크로 설정하였으며, 수출입 물동량이 링크의 가중치로 반영되는 Metrix<sup>1)</sup> 형식의 구조로 구성하였다. 물류 네트워크의 변화에서 국제 물류 네트워크의 변화는 한국무역협회의 전 세계 수출입 금액 자료를 사용하였다. 전 세계 시계열 데이터 사용을 위해서 금액 기준으로 진행했다는 것이 다른 네트워크 변화분석과는 다른 점이다. 네트워크 분석에는 Netminer 4.0 프로그램을 활용하였으며, 수출입 화물의 연결 관계를 시각화할 수 있는 1-mode Network 데이터로 구성하였다. 본 연구의 분석자료에 대한 내용은 아래의 Table 1과 같다.

Table 1 Data sources and information

Data Source	Year	Number of nodes	Contents
Korea Customs Service's Import and Export Logistics Statistical Yearbook	2004	1,345	Export and Import Trade
	2005	1,414	
	2006	1,595	
	2007	1,393	
	2008	1,203	
	2009	1,301	
	2010	1,300	
	2011	1,327	
	2012	1,338	
	2013	1,349	
	2014	966	
	2015	915	
	2016	946	
	2017	983	
	2018	1,039	
	2019	1,112	
	2020	1,110	
2021	1,073		
2022	1,067		

## 4. 분석 결과

### 4.1 기초통계

2004년부터 2022년까지의 국내 수출입 자료는 연도별 약 7~8만 개로 커뮤니티 분석 결과의 가시성을 위해 전체 네트워크에서 상위 100개의 연결만 축소(reduction)하여 진행했다. 응집성 분석을 위한 자료의 기초통계는 아래의 Table 2와 같다.

평균 연결지수(Average Degree)는 연도별 네트워크의 연결 정도의 평균으로서, 이 수치가 높을수록 평균 네트워크 연결의 정도를 확인할 수 있다(Lee et al, 2012). # of

1) Link Data의 표현 방법에는 Matrix, Edge List, Linked List 등 대표적으로 세 가지가 있다. Matrix는 네트워크 분석의 기초 형식이며, Linked List 형태는 데이터 입력이 쉽지만, 링크의 Weight를 표현할 수 없다는 단점이 있다.

Components는 각 네트워크 연결이 양방향으로 연결된 개수를 말한다. 본 연구의 기본 데이터는 평균 연결지수가 높아지면 양방향 연결개수가 적어지는 상충적인 상황을 보여준다. 2016년의 평균 연결지수가 가장 낮고, 양방향 연결개수는 가장 많은 반면, 2017년의 평균 연결지수가 가장 높고, 양방향 연결개수는 가장 적었다.

분석의 순서는 핵심집단 분석(k-core)을 진행하여 전반적인 국내 수출입 물류 네트워크의 응집성을 확인하고 이후 커뮤니티(Community) 분석을 통해 세부적인 핵심집단에 대해 파악하고자 하였다.

Table 2 Elementary statistic of Cohesion analysis

Year	2004	2005	2006	2007	2008
Average Degree	0.074	0.068	0.061	0.054	0.051
# of Components	1,344	1,445	1,609	1,819	1,931
Year	2009	2010	2011	2012	2013
Average Degree	0.076	0.062	0.056	0.051	0.046
# of Components	1,289	1,590	1,761	1,918	2,129
Year	2014	2015	2016	2017	2018
Average Degree	0.044	0.042	0.042	0.101	0.087
# of Components	2,257	2,323	2,351	969	1,129
Year	2019	2020	2021	2022	
Average Degree	0.076	0.089	0.092	0.082	
# of Components	1,288	1,088	1,058	1,190	

#### 4.2 핵심집단(k-core) 분석

핵심집단(k-core) 분석은 전체 네트워크 내에서 k개 이상과 연결된 노드끼리 하나의 집단임을 가정하는 것으로(Kim, 2018), 전체 네트워크에서 가장 핵심이 되는 노드를 중심으로 모을 때, 나타나는 중심의 개수와 이때 나타나는 하위집단의 수를 분석하는 것이다. 보통 k-core는 연결정도(degree)를 통해 응집력을 측정하게 되며 이때 core는 일정한 수의 연결정도(degree)를 가지는 노드들의 집단을 의미한다(Jang et al, 2011). k값은 노드집단 내 노드들의 연결정도의 크기를 의미한다. 따라서 어떤 점이 적어도 k개의 다른 점과 연결된 하위 네트워크에 속한다는 것을 의미하므로 k-core 내의 모든 점은 적어도 k와 같거나 더 많은 연결을 가지고 있어야 성립된다(Kim, 2014). 예를 들어, 11-core는 모든 점이 최소한 11개 혹은 그 이상으로 연결을 가지고 있어야 하고 마찬가지로, 12-core는 모든 점이 최소 12개 혹은 그 이상의 연결정도를 가지고 있어야 한다. k-core 분석은 다른 응집성 분석이 보여 주지 못하는 내적인 차별성을 검토할 수 있다는 장점이 있으

며 k값이 증가할수록 하위 네트워크에 포함되지 못하며 잔류되는 노드들이 증가하는 것을 의미하고 생성되는 하위 네트워크는 동질적인 구조를 이루므로 남겨진 하위집단은 밀도가 높고 동질의 형태를 나타낸다고 볼 수 있다(Jang et al, 2011). 본 연구에서는 국내 수출입 물류 네트워크의 핵심집단을 시계열적으로 파악하기 위해 2004년부터 2022년까지 4년 주기로 설정하여 핵심집단(k-core)분석을 진행하였다. 핵심집단(k-core)분석의 결과는 아래의 Table 3과 같다.

핵심집단(k-core) 분석 결과, 2004년의 11-core 집단은 전체 네트워크에서 가장 응집성이 높은 노드들의 집합이다. 컴포넌트의 노드 수는 총 73개이고, 73개의 노드 각각이 최소한 11개 이상의 링크를 가지고 있다. 2008년의 12-core 집단은 전체 네트워크에서 가장 높은 노드들의 집합이다. 컴포넌트의 노드 수는 총 74개이고, 74개 노드 각각이 최소한 12개 이상의 링크를 가지고 있다. 2014년의 14-core 집단은 전체 네트워크에서 가장 높은 노드들의 집합이다. 컴포넌트의 노드 수는 총 77개이고, 77개 노드 각각이 최소한 14개 이상의 링크를 가지고 있다. 2018년의 15-core 집단은 전체 네트워크에서 가장 응집성이 높은 노드들의 집합이다. 컴포넌트의 노드 수는 총 51개이고, 51개의 노드 각각이 최소한 15개 이상의 링크를 가지고 있다.

2022년의 15-core 집단은 전체 네트워크에서 가장 높은 노드들의 집합이다. 컴포넌트의 노드 수는 총 64개이고, 64개 노드 각각이 최소한 15개 이상의 링크를 가지고 있다. 이를 통해 시간의 흐름에 따라 국내 수출입 물류 네트워크의 노드집단 내 노드들의 연결정도(k)의 크기가 지속적으로 상승하는 것을 알 수 있다. k값이 증가할수록 하위집단이 되지 못하고 잔류되는 노드가 많아지게 되므로 # of nodes에 속하는 노드 수는 줄어들게 되는 결과가 도출되었다. 결과적으로, 국내 수출입 물류 네트워크는 지속적으로 확대되어 가고 있으며 시간의 흐름에 따라 결속되는 하위집단(지역,항만,공항)의 밀도가 높아지고 구조적으로 동질적인 형태들이 증가하고 있음을 알 수 있다.

#### 4.3 커뮤니티(Community) 분석

본 연구에서는 핵심집단(k-core)분석을 통해 국내 수출입 물류 네트워크가 확장 추세임을 확인하였다. 핵심집단(k-core)분석은 각각의 노드들의 단독적인 연결정도를 바탕으로 응집도를 살펴보았으나, 응집성 분석 중 커뮤니티(Community) 분석을 진행하여 전체 네트워크에서 서로간의 연결성을 확인하고 보다 세부적인 국내 수출입 물류 네트워크의 응집 변화양상을 파악하고자 하였다. 네트워크는 하위집단(Sub-group)을 의미하는 모듈(module)들로 구성되어 있으며 이러한 하위집단은 앞서 커뮤니티 구조의 정의와 같은 의미를 가진다. 이때, 모듈성(module)의 정의는 '특정 하위 그룹 내의 노드들 간에 실제 관계의 수에서, 동일한 노드들이 전체 네트워크에 있는 노드들과 임의로 가질 수 있는 관계의 수의 기대

값을 뺀 것'이다. 모듈성(Q)은 음수나 양수가 모두 될 수 있으며, 양수인 경우 그 값이 클수록 네트워크에 커뮤니티 구조가 높은 가능성을 의미한다.

G14에 속한 노드는 18개이다. 2006년 수출입 네트워크 커뮤니티는 10개로 이루어져 있고, 그중 5개 이상의 노드로 이루어진 그룹은 4개이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는

Table 3 Elementary statistic of Cohesion analysis

Year	Core-ness	# of nodes	nodes
2004	11	73	Antwerpen, Bandar Abbas, Bangkok, Barcelona, Bremerhaven, Chiwan, Dalian, Damman, Dubai, Genoa, hamburg, Hongkong, Jakarta, Javel Ali, Jeddah, Kaohsiung, Keelung, Koper, Laem Chanbang, Le Havre, Lianyungang, Longbeach, Longangeles, Manalia, Manzanilo, Nagoya, Ningbo, Oakland, Losaka, Portkelang, Qingdao, Rotterdam, Savannah, Shanghai, Shekou, Shimoneseiki, Singapore, Tacoma, Tianjing, Tianjingxiangang, Tokyo, Vancouver, yokohama, Ghana, Gwangyang Port, Gunsan Port, Netherlands, Taiwan, Germany, Russia, Masan Port, United States, Vietnam, Busan Port, Brazil, Saudi Arabia, Spain, United Arab Emirates, United Kingdom, Ulsan Port, Iran, Italy, Incheon Port, Japan, China, Canada, Thailand, Turkey, Pyeongtaek Port, Pohang, France, Australia, Hong Kong
2008	12	74	Antwerpen, Bangkok, Bremerhaven, dalian, Felixstowe, Genoa, Goteborg, Hamburg, Hochiminhcity, Hongkong, Jakarta, Jawaharlalnehru, Kaohsiung, Keelung, Kobe, Laemchabang, Lehavre, Lianyungang, Longbeach, Losangeles, Newyork, Ningbo, Pasirgudnag, Portkelang, Qingdao, Rotterdam, Savannah, Seattle, Shanghai, Shekou, Singapore, Tianjing Tianjinxingang, Tokyo, Vancouver, Xiamen, Yantai, Yokohama, Gwangyang Port, Netherlands, Norway, Taiwan, Germany, Russia, Malaysia, Mexico, Mongolia, United States, Vietnam, Belgium, Busan Port, Brazil, Sweden, Singapore, United Kingdom, Ulsan Port, Egypt, India, Indonesia, Incheon Port, Japan, China, Czech Republic, Canada, Thailand, Pyeongtaek Port, Poland, France, South Korea, Australia, Hong Kong
2014	14	77	Antwerpen, Bangkok, Bremerhaven, Chiwan, Dalian, Genoa, Haiphong, Hamburg, Hochiminhcity, hongkong, Huangqu, Jakarta, Javelali, Kaohsiung, Keelung, Kobe, Laemchabang, Losangeles, Manila, Newyork, Ningbo, oakland, osaka, Portkelang, Qingdao, Rotterdam, Shanghai, Shekou, Singapore, Southampton, Taichung, Taipei, Tanjongpelepas, Tianjingxingang, Tokyo, Vancouver, Xiamen, Yantian, Yokohama, Gwangyang Port, Netherlands, Taiwan, Daesan, Germany, Russia, Malaysia, Mexico, United States, Vietnam, Belgium, Busan Port, Saudi Arabia, Sweden, Spain, Singapore, United Arab Emirates, United Kingdom, Austria, Ulsan Port, Italy, India, Indonesia, Incheon Port, Japan, China, Canada, Thailand, Turkey, Pyeongtaek Port, Pohang, Poland, France, Philippines, Australia, Hong Kong
2018	15	51	Antwerpen, Bremerhaven, Dalian, Haiphong, Hamburg, Hochiminhcity, hongkong, Kaohsiung, Laemchangang, Longbeach, Newtork, Ningbo, Osaka, Portkelang, qingdao, Rotterdam, Shanghai, Shekou, Singapore, Taipei, Tanjongpelepas, Tianjingxingang, Yanian, Yokohama, Xiamen, Gwangyang Port, Taiwan, Germany, Russia, Malaysia, Mexico, United States, Vietnam, Belgium, Busan Port, Sweden, Spain, Singapore, United Kingdom, Ulsan Port, Italy, India, Indonesia, Incheon Port, Japan, China, Canada, Thailand, Turkey, Pyeongtaek Port, France
2022	15	64	Antwerpen, Barcelona, Bremerhaven, Haiphong, Hamburg, Hochiminhcity, Hongkong, Jebelali, Kaohsiung, Koper, Laemchabang, Lehavre, Longbeach, Losangeles, Newyork, Ningbo, Portkelang, Qingdao, Rotterdam, Shanghai, Singapore, Southampton, Shekou, Tokyo, Yantian, Yokohanma, Taichung, Taipei, Tanjongpelepas, Trieste, Weihai, Vostochny, Xiamen, Gwangyang Port, Netherlands, Taiwan, Germany, Russia, Romania, Mexico, United States, Vietnam, Belgium, Busan Port, Sweden, Switzerland, Spain, United Kingdom, Austria, Ulsan Port, Italy, India, Indonesia, Incheon Port, Japan, China, Czech Republic, Thailand, Portugal, Poland, France, Hungary, Malaysia, Turkey

커뮤니티(Community) 분석을 통해 시계열 변화양상을 직관적으로 파악하기 위해 Figure 1과 같이 시각화하였고, Table 4와 같이 커뮤니티 중 5개 이상의 노드를 가진 커뮤니티만 정리하고, 가장 큰 main 커뮤니티의 지표를 분석하였다. 2004년 수출입 네트워크 커뮤니티는 14개로 이루어져 있고, 그중 5개 이상의 노드(국가, 항만, 지역)로 이루어진 커뮤니티는 6개이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G14이며,

G10이며, G10에 속한 노드는 17개이다. 2008년 수출입 네트워크 커뮤니티는 12개로 이루어져 있고, 그중 5개 이상의 노드로 이루어진 그룹은 4개이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G12이며, G12에 속한 노드의 개수는 15개이다. 2010년 수출입 네트워크 커뮤니티는 11개로 이루어져 있고, 그중 5개 이상의 노드로 이루어진 그룹은 4개이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G11이며, G11에 속한 노드는 18개이다.

Fig. 1 Visualization the results of the import-export network cohesion analysis for 2004-2010

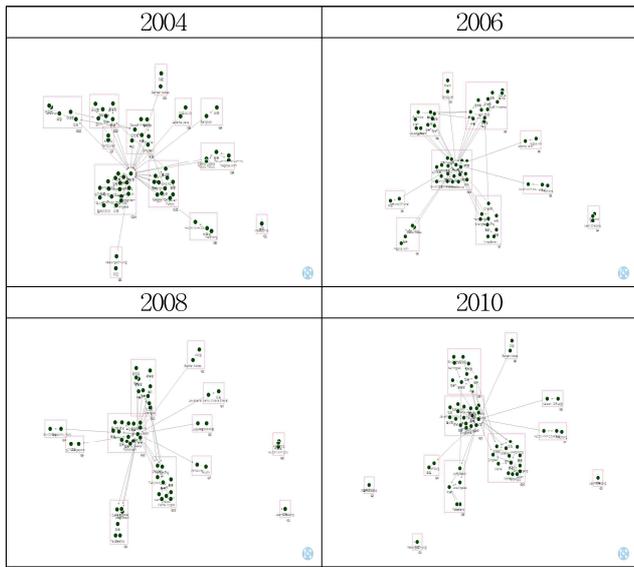


Table 4 Detailed results of import-export network cohesion analysis for 2004-2010

2004			2006		
Group	Center	Node	Group	Center	Node
G9	Japan	5	G7	Qingdao	9
G10	Incheon	5	G8	Ulsan Port	9
G11	Ulsan Port	11	G9	Incheon Port	12
G12	Pyeongtaek Port	6	G10	Busan Port	17
G13	Qingdao	7			
G14	Busan Port	18			
2008			2010		
Group	Center	Node	Group	Center	Node
G9	United States	6	G8	United States	5
G10	China	10	G9	Gwangyang Port	9
G11	Shanghai	10	G10	China	14
G12	Busan Port	15	G11	Busan Port	18

2012년 수출입 네트워크 커뮤니티는 13개로 이루어져 있고, 그중 5개 이상의 노드(국가, 항만, 지역)로 이루어진 커뮤니티는 3개이다. 소그룹 커뮤니티가 많은 것이 2012년 수출입 네트워크의 특징이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G11이며, G11에 속한 노드는 17개이다. 2014년 수출입 네트워크 커뮤니티는 13개로 이루어져 있고, 그중 5개 이상의 노드

로 이루어진 커뮤니티는 4개이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G13이며, G13에 속한 노드는 17개이다. 2016년 수출입 네트워크 커뮤니티는 13개로 이루어져 있고, 그중 5개 이상의 노드로 이루어진 커뮤니티는 4개이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G13이며, G13에 속한 노드의 개수는 17개이다. 2018년 수출입 네트워크 커뮤니티는 9개로 이루어져 있고, 그중 5개 이상의 노드로 이루어진 커뮤니티는 5개이다. 대부분 커뮤니티가 많은 노드로 크게 묶여있는 것이 2018년 수출입 네트워크의 특징이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G8이며, G8에 속한 노드는 18개이다. 2020년 수출입 네트워크는 5개로 이루어져 있으며, 그중 5개 이상의 노드로 이루어진 커뮤니티는 3개이다. 모두 우리나라 항만이 중심이 되는 커뮤니티이며, 가장 적은 개수인 커뮤니티로 구성된 것이 특징이다. 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G3이며, G3에 속한 노드의 개수는 18개이다. 2022년 수출입 네트워크는 10개로 이루어져 있으며, 가장 큰 그룹은 부산항이 중심이 되는 G8이나, 인천항이 중심이 되는 G10도 17개로 G8의 18개와 비슷한 노드의 개수를 포함하고 있음을 알 수 있다. 이에 관한 내용은 Figure 2와 Table 5와 같다.

Fig. 2 Visualization the results of the import-export network cohesion analysis for 2012-2022

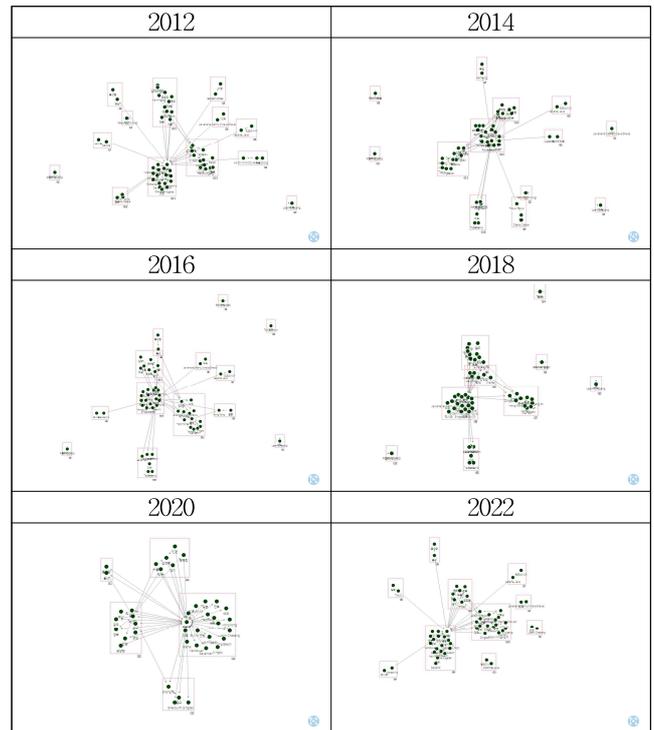


Table 5 Detailed results of import-export network cohesion analysis for 2012~ 2022

2012			2014		
Group	Center	Node	Group	Center	Node
G11	Busan Port	17	G10	United States	6
G12	Gwang yang Port	11	G11	China	11
G13	China	13	G12	Gwangya ng Port	7
			G13	Busan Port	17
2016			2018		
Group	Center	Node	Group	Center	Node
G10	United States	5	G5	United States	6
G11	Gwang yang Port	7	G6	Incheon Port	6
G12	China	13	G7	China	10
G13	Busan Port	17	G8	Busan Port	18
			G9	Shanghai	10
2020			2022		
Group	Center	Node	Group	Center	Node
G3	Busan Port	18	G8	Busan Port	18
G4	Incheon Port	6	G9	Gwang yang Port	7
G5	Gwang yang Port	9	G10	Incheon Port	17

본 연구는 국내 수출입 데이터를 가지고 분석하였기 때문에 국내 항만인 부산항과 광양항이 응집그룹에 중심이 되는 경우가 많았으며, 2004년에 main 커뮤니티의 중심이었던, 일본과 인천은 2006년부터 미국과 인천항 중심으로 변화되었다. 2006년으로 갈수록 5개 이상의 노드로 이루어진 그룹의 수가 줄어들고 있다는 점과 지리적 근접성뿐만 아니라 미국을 중심으로 하는 커뮤니티가 생겨났다는 점도 주목할만하다. 또한, 2004년과 2006년에는 울산항과 인천항 중심이었으나 2006년 이후로 그 영향력이 미비해졌으며 특히, 인천항은 2006년 이

후 2018년부터 다시 국내 수출입 네트워크에서 중심적으로 등장하기 시작하였고 2022년까지 부산항을 다음으로 중심성이 큰 핵심항만으로 나타났다.

이러한 변화들은 다양한 국내 환경 여건에 관련된 것으로 보인다. 먼저, 당시 울산항과 인천항은 비컨테이너 중심의 벌크화물, 액체화물 중심의 항만이었으며 선박의 대형화와 더불어 컨테이너화의 확산으로 해당 항만들의 입지도가 감소한 것으로 보인다. 또한, 당시 정부의 부산항-광양항의 투포트 정책으로 1995년부터 2011년까지 부산신항 1단계 25선석이 완공되었으며, 1997년부터 2011년까지 광양항에 24선석을 신설함으로써 국내 수출입 핵심 항만이 부산항, 광양항 중심으로 구성되어 2010년부터 광양항의 네트워크 응집성이 두드러지게 등장하기 시작하였다.

컨테이너 선박의 정기노선 특성과 컨테이너의 특성으로 다른 화물에 비해 다양한 국가와의 연결성이 높으며 부산항의 경우 컨테이너 전용항만의 지속적인 개발 및 확대를 통해 국내 컨테이너화물 대부분을 처리하고 있다.

다음으로, 분석 결과에 도출된 국내 항만을 제외한 국가로는 중국과 미국이 두드러지게 등장하였다. 먼저, 중국의 경우, 2004년, 2006년에는 칭다오 중심이었으나 2008년부터는 상하이와 중국 중심으로 변화되었다. 마지막 2020년, 2022년 결과를 보면, 국내 항만 중심으로 네트워크 응집성이 구성되었다. 이는 2020년 발생한 COVID-19의 영향으로 중국항만의 폐쇄 및 미국항만의 물류대란 등의 이유가 영향을 미친 것으로 보인다. 국내 수출입 네트워크 응집성 분석의 결과를 종합적으로 살펴보자면, 시계열적으로 국내 수출입 네트워크의 변화양상은 눈에 띄는 큰 변화가 많지 않았으며 비슷한 구조의 수출입 네트워크를 구성해오고 있다. 그러나, 서로 응집되는 핵심 집단의 수가 증가하고 있었으며 핵심집단의 연결 링크 수가 많아짐과 동시에 핵심집단에 속한 핵심노드의 수는 줄어드는 양상을 볼 수 있었다. 이는 우리나라의 수출입 네트워크의 전반적인 양상이 다수의 항만 국가와 수출입하던 특성에서 집중과 선택을 하는 양상으로 변화한 것을 파악할 수 있다. 또한, 응집성 분석 중 커뮤니티 분석을 통해 네트워크 응집성 변화 양상을 노드 중심으로 살펴본 결과, 국내 항만 중 부산항의 네트워크 응집성이 가장 높았으며 특히, 점점 응집되어지는 그룹 수가 적어지며 중심이 되는 노드가 국가에서 항만으로 가는 변화가 보여졌다. 또한, 핵심노드의 변화를 통해 국내 수출입 네트워크는 국내 항만정책과 글로벌 사회 여건의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있었다.

더 나아가 가장 큰 그룹에 대한 5개의 지표를 분석하였으며 이는 Table 6과 같다. 커뮤니티 분석을 통해 분석된 4개의 지표(Density, E-I Index, SMI, Cohesion Index)를 가지고 구분이 잘 되었는지, 특성이 어떠한지 해석할 수 있다. 밀도(Density)는 그룹 내 노드 사이의 경로 수를 그룹 내 노드 사이의 생성 가능한 경로 수로 나눈 값으로 정의한다. E-I Index는 그룹 외 경로 수와 그룹 내 경로 수의 비율을 나타내

며, -1에서 1 사이의 값을 가진다. -1에 가까울수록 주로 그룹 내 경로가 많고, 1에 가까울수록 그룹 외 경로가 많다는 것을 의미한다. SMI 값은 그룹 외 경로 밀도와 그룹 내 경로 밀도 비율을 나타내며, -1에서 1 사이의 값으로 나타난다. -1에 가까울수록 그룹 외 경로 밀도가 높고, 1에 가까울수록 그룹 내 경로 밀도가 높다고 해석할 수 있다. Cohesion Index는 그룹 내 링크 밀도를 그룹 외 링크 밀도로 나눈 값을 나타내며, 이 값이 높을수록 노드들의 응집도가 높다는 것을 의미한다 (Bock & Husain, 1950; Kim, 2016). 다시 말해, 순위가 높은 그룹일수록 연결 정도가 강한 응집그룹으로 해석할 수 있다.

2004년부터 2022년까지 국내 수출입 네트워크에서의 가장 큰 main 커뮤니티는 부산항이 중심인 커뮤니티였으며, 2008년부터 네트워크 내의 연결이 강화됨을 나타내는 지표인 Density가 급격히 증가한 것을 보여주며, 2020년에는 30까지 높아졌다. 2010년부터 2018년까지는 부산항이 중심인 커뮤니티의 그룹 내 경로 수가 많았으나, 2020년에는 다시 부산항 그룹 외 경로 수가 많아졌다. 마찬가지로 그룹 내 링크의 밀도가 2018년까지는 훨씬 높았으나, 2020년에는 그룹 외 밀도에 비해 상대적으로 줄어든 것을 알 수 있어, 2020년에는 부산항이 중심인 메인 커뮤니티의 응집성 특성이 다른 시기보다 상대적으로 그룹 외 관계가 강화된 것으로 해석된다.

Table 6 Results of Domestic Import and Export Network MAIN Community Analysis

	Density	E-I Index	SMI	Cohesion Index
2004 G12 (Busan Port)	2,963	0.176	0.742	2.022
2006 G10 (Busan Port)	2,613	0.098	0.734	2.099
2008 G12 (Busan Port)	18,205	0.04	0.681	2.835
2010 G11 (Busan Port)	13,851	-0.149	0.767	3.415
2012 G11 (Busan Port)	14,214	-0.143	0.819	3.833
2014 G13 (Busan Port)	17,320	-0.021	0.72	2.935
2016 G13 (Busan Port)	15,252	-0.083	0.733	3.25
2018 G9 (Busan Port)	12,395	-0.045	0.688	2.577
2020 G3 (Busan Port)	30,129	0.042	0.33	1.072
2022 G8 (Busan Port)	14,911	-0.08	0.692	2.624

## 5. 결 론

본 연구는 2004년부터 2022년까지의 우리나라 수출입 데이터를 대상으로 수출입 네트워크 구조를 살펴보고, 핵심집단을 분석 후 세부 응집성의 변화를 알아보았다. 서론에서 제시한 연구 목적은 우리나라 수출입 네트워크가 어떻게 나뉘어 있는지, 각 집단의 크기가 어떻게 분포되어 있는지를 통해 네트워크 구조의 변화와 특징을 알아보는 것이었다. 따라서, 본 연구는 네트워크 응집성 분석 중 핵심집단(k-core)분석과 커뮤니티(Community)분석을 수행하여 시사점을 도출하였다. 분석에 사용된 자료는 관세청 수출입 물류과에서 발행하는 수출입물류통계연보 자료를 기반으로 기본 데이터를 구성하였으며, 수출입 물동량이 링크의 가중치로 반영되는 Metrix형식의 구조로 구성하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

먼저, 핵심집단(k-core)의 분석을 통해 시간의 흐름에 따라 국내 수출입 물류 네트워크의 연결정도(k)의 크기가 지속적으로 상승하고 있음을 확인하였다. 점점 결속되는 지역, 항만, 공항의 밀도가 높아지고 구조적으로 동질적인 형태들이 증가하고 있었다.

다음으로, 커뮤니티(Community) 분석을 통해 전체 네트워크에서 서로 간의 연결성을 확인하고 보다 세부적인 국내 수출입 물류 네트워크의 변화양상을 파악하였다. 분석자료로 국내 수출입 데이터를 가지고 분석하였기 때문에 국내 항만인 부산항과 광양항이 커뮤니티의 중심이 되는 경우가 많았으며, 2004년에 일본과 인천이 중심이었다면 2006년 이후부터 미국과 인천항 중심으로 변화되었다. 2006년으로 갈수록 5개 이상의 노드로 이루어진 커뮤니티의 수가 줄어들고, 미국을 중심으로 하는 커뮤니티가 생겨났다. 인천항은 2006년 이후 2018년부터 다시 국내 수출입 네트워크에서 중심 항만으로 등장하기 시작하였으며, 2022년까지 부산항을 다음으로 중심성이 큰 핵심항만으로 나타났다. 이러한 변화들은 다양한 글로벌 및 국내 환경여건에 관련된 것으로 보인다.

연구결과를 정리해보면, 국내 수출입 네트워크의 응집성은 비슷한 구조를 구성하고 있으며, 큰 변화의 양상을 보이지 않았으나 서로 응집되는 핵심집단의 수가 증가하고 있음을 알 수 있었다. 국내 항만 중 부산항의 네트워크 응집성이 가장 높았으며 특히, 점점 하위집단의 수가 적어지며 중심이 되는 핵심노드가 국가에서 항만으로 변화해가는 양상이 나타났다. 또한, 핵심노드의 변화를 통해 국내 수출입 네트워크는 국내 항만정책과 글로벌 사회 여건의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있었다.

이를 통해 글로벌 물류환경의 과정을 이해할 수 있었고, 국내 수출입 물류네트워크의 집단구조의 흐름 변화를 확인할 수 있었다. 특히, 국내 수출입 물류 네트워크는 정부의 정책과 국내외 사회 여건의 영향을 많이 받는다는 결과를 미루어 보았을 때, 정부는 국내 물류 네트워크의 응집성을 활용하여 물류

및 무역 관련 정책을 개발하고 조정할 수 있을 것이다. 물류 효율성과 리스크 관리, 서비스 품질 향상 측면에서 실무적인 의의를 가질 뿐만 아니라, 네트워크 응집성의 변화양상을 바탕으로 국가경제에 이익이 되는 다양한 방안들을 모색하고 지속 가능성을 고려한 물류 시스템을 구축할 수 있을 것이다. 또한, 기업의 경쟁력 강화와 고객 만족도의 증가로 이어질 수 있을 것이다.

이 연구는 국내 수출입 물류통계 자료를 활용하였기 때문에 국내 수출입 물류네트워크에만 초점을 두었다는 한계가 있다. 따라서, 향후 연구에서는 글로벌 공급망을 고려한 글로벌 물류 네트워크의 응집성 분석을 진행할 필요가 있으며 이를 통하여 전 세계적인 물류 네트워크의 응집변화양상을 살펴볼 수 있을 것을 기대한다.

## 사 사

본 논문(또는 저서)는 해양수산부 제4차 해운항만물류 전문 인력양성사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

## References

- [1] Bock, R. D. and Husain, S. Z.(1950), "An Adaptation of Holzinger's B-Coefficients for the Analysis of Sociometric Data", *Sociometry*, Vol. 13, No. 2, pp. 146-153.
- [2] Carrington, P. J. et al.(2005), *Models and methods in social network analysis*, Cambridge university press. Vol. 28.
- [3] Cho, J. I.(2017), "A Study on the Centrality and Community Structure of International Trade Networks in IT Industry", *The e-Business Studies (Tebs)*, Vol. 18, No. 6, pp. 247-263.
- [4] Clauset, A., Newman, M. E. and Moore, C.(2004), "Finding community structure in very large networks". *Physical review E*, Vol. 70, No. 6, p. 066111.
- [5] Coleman, J. S.(1988), "Social capital in the creation of human capital". *American journal of sociology*, Vol. 94, S95-S120.
- [6] Enrico D. and Ryoo, D. K.(2017), "A Study on Socio-Economic Effects of Italian Ports", *Korean Institute of Navigation and Port Reserach*, Vol. 41, No. 4, pp. 243-250.
- [7] Everett, M. G. and Borgatti, S. P.(2013), "The dual-projection approach for two-mode networks". *Social networks*, Vol. 35, No. 2, pp. 204-210.
- [8] Han, K. S. and An, D. G.(2018), "Exploring the Network Structure of Core Competence Concepts in the Future Society", *Journal of Gifted/Talented Education*, Vol. 28, No. 3, pp. 289-306.
- [9] Hanneman, R. A. and Riddle, M.(2005), *Introduction to social network methods*, pp. 1-114.
- [10] Hong, J. W., Lee, Y. J. and Kim, S. W.(2018), "Overlapping Community Detection Based on Link-Graphs for Network Analysis", *Database Research*, Vol. 34 No. 2, pp. 89-98.
- [11] Iyengar, D., Rao, S. and Goldsby, T. J.(2012), "The power and centrality of the transportation and warehousing sector within the US economy: A longitudinal exploration using social network analysis". *Transportation journal*, Vol. 51, No. 4, pp. 373-398.
- [12] Jang, I. S., Chang, D. H. and Lee, S. S.(2011), "The Knowledge Structure of Multicultural Research Papers in Korea", *Journal of Korean Library and Information Science Society (JKLISS)*, Vol. 42, No. 4, pp. 353-374.
- [13] Kang, A. R.(2020), "An empirical study on the configuration and evolution of the Korea automotive Industry supply network", *Sookmyung Women's University, Graduate school of Management, PhD Dissertation*.
- [14] Kang, D. J., Bang, H. S. and Woo, S. H.(2014), "A Study on the Liner Shipping Network of the Container Port", *Journal of the Korea Port Economic Association*, Vol. 30, No. 1, pp. 73-96.
- [15] Kim, D. H.(2020), "A Study on the Effect of Changes in Strategic Alliance of Liner Shipping on Port Connectivity Network", *Pusan National University, Graduate school of Management, PhD Dissertation*.
- [16] Kim, J. H. and Kim, C. Y.(2022), "An Analysis of Domestic Regional Network by Comparison of Centrality and Regional Growth Rate Using SNA", *Journal of Shipping and Logistics*, Vol. 38, No. 4, pp. 709-732.
- [17] Kim, J. H.(2014), "Correlation Between the Network Centrality and the Efficiency of ports, : Focusing on Social Network Analysis", *INHA University, Graduate school of Management, Master's thesis*.
- [18] Kim, J. O.(2019), "A Study on the Application of Social Network Analysis Principles to Criminal Investigation", *Journal of Digital Forensics*, Vol. 13, No. 2, pp. 89-109.
- [19] Kim, T. G., Cho, N. W. and Hong, J. S.(2014), "Characteristics of Korean Film Market by Using Social Network Analysis", *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 14, No. 6, pp. 93-107.
- [20] Kim, Y. G., Park, Y. M., Song, W. G. and Yang, H.

- W.(2016), "A discussion of the network structure of and changes in the characteristics of domestic airports", *Journal of Tourism and Leisure Research*, Vol. 28, No. 4, pp. 245-264.
- [21] Korea International Trade Association, Korea Trade Statistics, <https://stat.kita.net/stat/kts/ktsMain.screen>
- [22] Lee, W. H., Seok, Y. C. and Park, J. C.(2012), "Detecting Emerging Technology to Use Social Network Analysis : Focusing on Mobile Telecommunication", *The Journal of Information Systems*, Vol. 21 No. 4, pp. 109-132.
- [23] Leem, B. H.(2011), "Impacts of Container Port Network on Productivity: Based on Social Network Analysis Perspective", *Korean Journal of Logistics*, Vol. 19 No. 3, pp. 19-35.
- [24] Park, S. Y.(2022), "A Study on International Trade of Water Transport Service using Social Network Analysis", *Korea Trade Research Association*, Vol. 47, No. 3, pp. 76-94.
- [25] Park, Y. A.(2012), "Analysis on Shipping Network Development and Measurement of Centrality of the port of Busan", *Journal of Industrial Economics and Business (JIEB)*, Vol. 25, No. 5, pp. 3181-3196.
- [26] Ryu, G. J., Nam, H. S., Jo, S. H. and Ryu, D. G. (2018), "A Study on Analysis of Container Liner Service Routes Pattern Using Social Network Analysis : Focused on Busan Port", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, Vol. 24, No. 6, pp. 529-538.
- [27] Scott, J.(1991), "Networks of corporate power: A comparative assessment". *Annual review of sociology*, Vol. 17, No. 1, pp. 181-203.
- [28] Son, Y. M and Kim, H. Y.(2023), "A Study on the Analysis of Effect on Port Logistics Network due to COVID-19 Pandemic". *Journal of Korea Port Economic Association*, Vol.39, No.4, pp.205-222.
- [29] The Federation of Korean Industries(2023), South Korea's international standing in statistics, [https://www.fki.or.kr/main/news/statement\\_detail.do?bs\\_id=00035000&category=ST](https://www.fki.or.kr/main/news/statement_detail.do?bs_id=00035000&category=ST)
- [30] Trade Statistics Service(TRASS), Import and Export Statistics, <https://www.bandtrass.or.kr>.
- [31] Wang, H. and Ma, X.(2021), "Research on the Structure of Regional Logistics Network Based on Improved Gravity Model and SNA: Case of Beijing-Tianjin-Hebei Region". 33rd Chinese Control and Decision Conference (CCDC), pp. 4168-4173.
- [32] Wang, Y. and Li, X.(2008), "An exploration of Social network analysis on cohesion in online collaborative learning". *IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education*, pp. 224-229.
- [33] Wang, Y., Wang, X., Geng, X., Lv, L. and Sun, R.(2022), "Analysis of Key Risks in Fresh Products Supply Chain Logistics Based on the NK/SNA Model". *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 130097-130109.

---

Received 16 April 2024

Revised 14 May 2024

Accepted 29 May 2024