

SNA 분석을 이용한 해상 수출입화물의 네트워크 구조와 국내 항만의 중심성 분석*

김주혜** · 김치열***

An Analysis on the Centrality of Domestic Areas and Ports: Using SNA Methodology

Kim, Joo-Hye · Kim, Chi-Yeol

Abstract

Unlike the past, efforts must be made to interpret physical distribution from a network perspective as the service area expands spatially. In addition, logistics networks are undergoing rapid changes due to various changes in the environment. Therefore, the purpose of this study is to analyze the changes in the structure of maritime cargo and the centrality of ports using social network analysis. Using the trade data of domestic maritime at five-year intervals, we investigated changes in the network structure and identified the main factors that affect the centrality of domestic ports. Ports with the highest centrality, which is seen as a port that plays the role of an intermediary, emerged in the order of Busan and Ulsan. This study predicts patterns of domestic cargo trade over the next 20 years based on changes in port centrality and understanding of maritime cargo network, and can be used as reference materials for risk preparation.

Key words: Logistics network, freight flows, Social network analysis, Centrality, logistics network structure, logistics industry

▷ 논문접수: 2022. 11. 28. ▷ 심사완료: 2022. 12. 26 ▷ 게재확정: 2022. 12. 27.

* 『본 논문은 해양수산부 제4차 해운항만물류 전문인력양성사업의 지원으로 연구되었음』

** 한국해양대학교 물류시스템학과 박사수료, 제1저자, joohye915@g.kmou.ac.kr

*** 한국해양대학교 해양경영경제학부 교수, 교신저자, cykim@kmou.ac.kr

I. 서론

국가의 영향력을 논의할 때 국가의 크기, 인구수 그리고 군사력, GDP 등을 제시한다. 그러나 이제는 경제의 성장과 급변하는 환경변화에 따라 생산체계와 방식이 더욱 복잡해지고 다양해지면서 네트워크 영향력을 언급하지 않을 수 없게 되었다. 또한, 세계가 초연결사회로 진입하며 네트워크 구조의 변화를 알아보는 것은 좀 더 의미가 있어 졌으며, 전반적인 산업구조의 변화와 함께 물류산업 구조의 패턴 또한 변화해왔다. 전형적인 생산자로부터 소비자에 이르는 물류 구조가 공간적, 서비스 영역의 확장으로 물류 전체의 개념이 달라졌으며, 단순한 화물의 이동이 아닌 네트워크의 관점으로 이해해야 할 필요성이 부각되고 있다. 본 연구는 SNA 분석을 통해 국내 해상 수출입 네트워크 구조 변화를 알아보고, 국내 항만의 네트워크 중심성의 변화를 분석해보고자 한다.

국내 수출입 해상화물 기록을 통해 기간별 국내 수출입 네트워크 구조와 항만별 중심성 변화를 알아보고 그 변화를 통해 국내 물류산업의 발전방향에 대한 예측과 리스크를 대비 할 수 있을 것으로 기대하며 다음과 같이 본 연구를 진행한다. 2장에서는 본 연구의 분석방법과 자료에 대해 살펴보고 3장에서는 해상 네트워크의 전체 구조, 그리고 각각의 국내 항만에 대한 중심성과 변화 양상에 대해 분석하였다. 마지막 4장에서는 연구결과를 요약하고 본 연구의 의의와 한계에 대해 정리하였다.

기존의 항만 중심성 관련 선행연구는 주로 항만간의 네트워크의 구조와 시스템에 관해 연구가 되어왔다. Ducruet, C.(2010)은 해운 선사들의 자료를 가지고 항만네트워크를 구축하고 사회네트워크 관점에서의 네트워크 지표를 분석하여 항만의 효율적인 위치를 제시하였다. 또한 네트워크 분석에서 도출된 지표와 물동량과의 상관관계를 통해 항만의 네트워크가 물동량에 미치는 영향에 대해 분석하였다. Hu & Zhu(2009)는 해운 선사들의 항로를 가지고 항만 네

트워크를 구성하고, 중심성에 관련 있는 지표들의 상관관계의 강약을 비교하는 연구를 했다. Lee, J. H(2020)은 정기선 컨테이너 56개 항로를 대상으로 해운 네트워크 구조를 분석하고 해운선사의 효율적인 항로 구성과 항만물류 투자 우선순위를 제안하였다.

Matsumoto(2004)는 세계의 주요 도시간 여객과 화물의 흐름 변화를 시기별로 분석하였고 중력 모형을 기반으로 도시의 허브모형을 개발하였다. GDP나 인구보다 거리가 가장 많은 영향을 주는 것으로 나타났다. 유럽내에서는 GDP, 인구, 거리가 모두 영향력이 비슷한 거스로 분석되었다. 이호상(2010)의 연구에서는 세계 주요 도시의 네트워크성을 분석하기 위해 사회네트워크의 중심성 이론을 바탕으로 도시의 중심성 개념을 만들고, 항공노선의 연결성 개념을 도입하여 이 둘을 조합한 네트워크성 모델을 만들었다. 국제여객유동량 자료를 이용하였으며, 각 항공 노선수와 유동량, 도시의 중심성과 국제항공 네트워크상의 도시 간 상호 연계성이 있는 것으로 분석되었다.

K. J Ryu, et al.(2018)은 2012~2016년 동안 부산항을 대상으로 컨테이너 정기선의 패턴분석을 실시하여 주요 항만의 중심성을 파악한 후, 부산항과 연결된 항만 네트워크의 구조적 특성을 파악하는 연구를 진행하였고, 연결 중심성과 매개 중심성 및 근접 중심성이 높은 항만은 싱가포르항으로 분석되었다. Park, S.Y(2022)은 아시안개발은행 국제산업연관표를 활용하여 수상운송업 간의 무역매트릭스를 도출하고 이를 대상으로 네트워크 분석을 진행하였다. 이를 통해 싱가포르가 외항, 내항 연결중심성과 매개 중심성이 가장 높음을 알 수 있었으며, 기존 물류네트워크에서 중심성을 분석하는 시도와는 다르게 산업 측면에서 수상운송업의 세계 무역네트워크에서의 중심성을 살펴보았다.

II. 분석방법 및 자료

1. 분석방법

본 연구에서 사용하는 사회네트워크 분석의 목적은 정보가 흐르는 연결망 형태의 특징을 도출하고 연결망의 관계성으로부터 특징을 설명하는데에 있다(Kim, T. G. 2014). 원재료의 조달과 가공제품의 최종소비자 전달과 같은 산업의 목적에도 사회네트워크 분석이 적절하기 때문에 기존의 사회과학분야 뿐만 아니라 해운항만 물류 분야로 확장되어 사용되고 있다(Kim, M. J, 2021). 선행연구에서 조사된 기존의 무역네트워크 혹은 물류네트워크 연구에서는 스케줄 자료를 이용한 기항지 중심의 분석이었다면, 본 연구에서는 국내 수출입 교역량 자료를 이용하여 국내 교역량 네트워크 분석을 진행하였다. 아래의 표는 본 연구에서 대상으로한 국내 항만이다. 2005년, 2010년, 2015년은 17개의 항만으로 동일하며, 2020년 당진항이 추가되어 대상항만이 총 18개로 증가하였다.

첫째, 지역 각각의 연결 중심성(Degree Centrality)와 근접 중심성(Closeness Centrality), 매개 중심성(Betweenness Centrality), 아이겐벡터 중심성(Eigenvector Centrality)을 도출하고, 둘째, 국내 항만 각각의 중심성을 도출하였다.

사회네트워크 분석의 결과물 중 하나인 연결 중심성은 한 노드에 직접적으로 연결된 다른 노드의 수로 정의되며, 각 노드에 연결되어있는 링크의 수가 많을수록 해당 노드의 연결 중심성이 높게 나타난다.

수식으로 나타내면 $C_p(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_i, p_k)$ (n 네트워크 내의 전체노드의 수, a 연결되어 있으면 1, 연결되어 있지 않으면 0)과 같다. 연결정도 중심성은 연결방향에 따라 외향 연결 중심성(Out-degree centrality)과 내향 연결 중심성(In-degree centrality)으로 구분할 수 있다.

근접 중심성은 어떤 노드가 다른 노드들과 얼마나

가깝게 연결되어 있는지 즉, 다른 노드들과 연결되기 위해 거쳐야 하는 단계의 수의 합이 얼마나 작은지를 나타내며, 두 노드를 잇는 가장 짧은 경로거리를 모두 더한 것에 역수를 취한 값을 말한다. 마찬가지로 연결방향에 따라 외향 근접중심성과 내향 근접중심성으로 구분할 수 있다.

매개 중심성은 네트워크 내에서 한 노드가 담당하는 중개자 역할 정도를 계량화한 값으로 한 노드가 다른 두 노드 경로상에 위치했을 때 그 노드는 영향력이 있음을 의미한다. 매개 중심성이 높은 노드가 없어 질 경우 네트워크 전체 연결과 흐름에 큰 영향을 미친다. 전체 노드의 수가 g일 때 자신을 거치게 할 수 있는 최대 경우는 자신을 거치는 경우를 빼고 노드 2개로 연결을 조합할 수 있는 최대의 수이다. 즉, $g-1 C_2$ 가 된다. 이는 $(g-1)(g-2)/2$ 이며 이를 분모에 넣어 다음의 식처럼 표준화시킨다.

$$C_c(n_i) = \frac{\sum_{j < k} g_{jk}(n_i)/g_{jk}}{[(g-1)(g-2)/2]}$$

$$= C_B(n_i)/[(g-1)(g-2)/2]$$

아이겐벡터 중심성은 항만 네트워크 내에서 이웃 항만들의 영향력을 고려한 항만의 중심노드를 찾을 수 있도록 해준다. 이웃 항만들의 중요성이 모두 같지는 않다는 개념이며, 중요성이 높은 노드와 연결된 노드의 중심성이 그렇지 않은 노드보다 더 높다는 것이다. x_i 를 노드 I의 점수, M(i)를 노드 I와 연결된 모든 노드들의 집합, λ 를 상수, N을 모든 노드들의 집합이라고 할 때, 다음과 수식과 같이 표현된다.

$$x_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in M(i)} x_j = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^N a_{ij} x_j$$

2. 분석자료

분석자료의 Raw Data로는 관세청 수출입 물류과

에서 발행하는 수출입물류 통계연보의 데이터를 기초로 구성하였다. 관세청 수출입자료가 국내기준 교역관계에 있어 가장 공신력 있는 자료라고 판단하여 본 자료를 사용하였다. 또한, 향후 연구의 확장을 위해 품목별 구분이 용이하고, 수출입 화물의 이동경로를 가장 잘 표현하는 자료로 판단되었다. 수출의 경우 출발지, 적재항, 도착항, 목적국을 포함하고, 수입의 경우 원산지, 적재항, 양륙항, 도착지 순으로 교역된 물동량 내역을 분석의 기초 입력 단위로 사용하여 Edge List 타입의 Link 형식의 구조로 전처리 과정을 수행했다. 지역/항만이 노드, 항로가 링크로 수출입 물동량을 링크의 가중치로 적용되었다. 국내 항만의 중심성 분석을 위해서는 지역→국내 항만, 국내 항만→해외 항만, 해외 항만→국내 항만, 국내 항만→지역으로 국내 항만에 모든 연계된 모든 교역데이터를 사용하였다. 사회네트워크 분석에는 Netminer 4.0 프로그램을 활용하였으며, 해상화물의 연결 관계를 볼 수 있는 1-mode Network 데이터로 구성하였다.

III. 분석결과

1. 국내 해상화물 네트워크 구조 분석

기본 데이터는 관세청기준 국내 수출입 화물자료에서 국내 항만 기준으로 관련된 자료를 모두 대상으로 하였다. 따라서 실제 발표된 교역량의 합계와는 다소 차이가 있을 수 있다. 노드는 국내 항만을 포함한 국내 항만과 연결되는 국내 지역과 해외 항만을 가르키며, 링크는 교역이 진행된 항로 또는 횡수를 뜻하기도 한다.

본 연구에서 사용된 2005년의 기본 데이터의 노드수는 1,049개, 링크수는 57,784개, 교역량은 약 8억 톤이다. 2010년의 노드수는 1,885개, 링크수는 64,094개, 교역량은 약 10억 톤으로 노드수, 링크수, 교역량이 2005년에 비해 모두 늘어났다. 이는 지역

표 1. 기본 데이터

연도	2005년	2010년	2015년	2020년
노드수	1,049	1,885	1,138	1,452
링크수	57,784	64,094	58,586	73,958
교역량 (천톤)	815,638	1,047,294	857,346	1,261,071

과 항만간, 항만과 항만간의 상호 작용이 크게 증가하였음을 말해주는데 교역 횡수의 증가보다도 기존 교역의 물동량 증가 폭이 더 컸음을 보여준다. 2015년 노드수는 1,138개, 링크수 58,586개로 오히려 2010년, 2005년보다도 줄어들었으며, 교역량은 약 8억 톤으로 2010년보다 줄어들었다. 2020년의 노드수는 1,452개, 링크수는 73,958개, 교역량은 약 13억 톤으로 15년에 비해 많은 차이를 보이며 늘어났다.

국내 해상화물 네트워크는 부산항, 인천항, 광양항, 울산항, 여수항 각각의 수입, 수출이 가장 많이 이루어진 상위 10개의 해외 항만으로 정리하였다. 해상화물 네트워크의 구조 변화와 연결된 해외 항만이 각각의 국내 항만의 중심성에 어떠한 역할을 하는지도 연계하여 살펴본다.

1) 2005년의 해상화물 네트워크 분석

2005년의 부산항 네트워크는 수입, 수출 모두 중국의 항만과 활발한 연결이 있는 것으로 보인다. 특히, 수출의 경우 일본의 도쿄, 러시아의 보스토치니, 미국의 LA, 독일의 함부르크 등과 같이 여러 국가의 항만과 교역량이 많은 것으로 나타났다. 국내 해상화물 네트워크는 부산항을 제외하고는 수입과 수출의 물동량 규모가 많이 차이가 나는 편이다.

표 2. 2005년 부산항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	부산항(수입)		부산항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Shanghai	1,386,002	Shanghai	1,592,190
2	Qingdao	1,345,177	Long Beach	1,486,910
3	Long Beach	1,080,219	Hong Kong	1,179,610
4	Tianjinxingang	1,073,891	Singapore	800,260
5	Dalian	854,948	Qingdao	662,194
6	Hamburg	554,267	Tokyo, Tokyo	610,759
7	Vancouver	552,426	Vostochniy, Port	557,218
8	Hong Kong	523,530	Los Angeles	514,168
9	Rotterdam	517,327	Hamburg	499,505
10	Oakland	481,881	Tianjinxingang	480,984

2005년에는 해주항에서 인천항으로 5백만 톤이 수입이 되었으며, 이는 모래 등의 단발성 물동량으로 이후 해상화물 네트워크에서는 나타나지 않았다. 수입 물동량은 부산항보다 중량기준으로 많은 것을 보여주며, 수입은 동남아, 중동 등 여러나라의 항만과 연결되어있으며, 수출의 경우는 중국의 항만과 많은 네트워크를 맺고 있는 것으로 나타난다.

표 3. 2005년 인천항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	인천항(수입)		인천항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Haeju	5,351,042	Hong Kong	759,609
2	Doha	2,566,087	Huangpu	427,742
3	Dalian	2,102,268	Shanghai	426,657
4	Biawak, Sarawak	2,097,853	Singapore	314,489
5	Muscat	1,906,420	Qingdao	271,013
6	Qingdao	1,361,538	Tianjinxingang	252,477
7	Tianjinxingang	1,319,239	Weihai	218,399
8	Bontang, Kl	1,257,231	Kaohsiung	146,118
9	Newcastle	1,123,675	Yantai	145,880
10	Qinhuangdao	1,100,122	Tianjin	135,196

2005년의 광양항 해상화물 네트워크는 부산항, 인천항의 물동량보다 많은 양의 물동량 규모를 보여주고 있다. 특히 호주의 헤들랜드항만에서 천백만 톤을 수입하며, 2005년의 국내 모든 항만을 통틀어 가장 많은 교역을 하였다. 또한 홍콩항으로 백만 톤을 수출하는 등 단독항로에서의 물동량이 많음을 보여준다.

표 4. 2005년 광양항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	광양항(수입)		광양항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Port Hedland	11,081,938	Hong Kong	1,320,026
2	Tubarao	2,910,554	Shanghai	575,891
3	Ponta da Madeira	2,006,978	Pittsburg	572,399
4	Haypoint	1,984,000	Qingdao	402,042
5	Port Dalrymple	1,882,887	Bandar Abbas	314,327
6	Port Walcott	1,762,201	Singapore	282,900
7	Vancouver	1,511,261	Jakarta, Java	279,172
8	Ponta do Ubu	1,439,432	Ningbo	278,738
9	Gladstone	1,334,280	PORTKELANG	256,275
10	Saldanha Bay	1,332,803	Funabashi, Chiba	247,022

2005년 울산항 해상화물 네트워크는 광양항과 마찬가지로 쿠웨이트의 미나 알 아흐마니항에서의 천만 톤 수입 물동량이 가장 많았으며, 정유 전문 항만으로의 특성을 보여주는 부분이다. 울산항의 수출은 싱가포르와 중국, 인도네시아, 홍콩 등 다양한 국가와 네트워크 연결이 되어있는 것을 알 수 있다. 이는 울산항의 중심성 분석에 영향을 미친다.

표 5. 2005년 울산항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	울산항(수입)		울산항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Mina al Ahmadi	10,463,974	Singapore	2,205,314
2	Khark Island	3,988,559	Qingdao	1,099,748
3	Zurku Island	3,417,001	Teluk Betung, Sumatra (dupl)	1,034,869
4	Ras Tanura	2,603,075	Chiba, Chiba	908,694
5	Basra	2,034,338	Ningbo	777,850
6	Jebel Dhanna	1,798,258	Hong Kong	760,348
7	Yanbo	1,781,276	Kalitim	760,105
8	Umm Said	1,777,592	Tianjin	587,241
9	Min-Al-Fahal	1,552,018	Huangpu	485,987
10	Djeno Terminal	1,135,005	Rotterdam	433,045

2005년 여수항 해상화물 네트워크 중 수입은 대부분 중동에 위치한 항만과 연결되어 있었으며, 수출의 경우 물동량 규모는 작지만 울산항과 비슷한 항만과 연결이 되어있다.

표 6. 2005년 여수항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	여수항(수입)		여수항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Ras Tanura	5,197,573	Shanghai	984,012
2	Jebel Dhanna	3,421,266	Kaohsiung	837,598
3	Min-Al-Fahal	2,424,567	Qingdao	750,051
4	Mina Saud	2,174,943	Singapore	502,263
5	Zurku Island	2,133,610	Huangpu	494,192
6	Das Island	2,018,811	Tianjin	483,155
7	Ruwais	1,917,727	Ningbo	423,666
8	Umm Said	1,834,057	Hong Kong	400,319
9	Fateh Terminal	1,210,198	Teluk Betung, Sumatra (dupl)	332,655
10	Dumai, Sumatra	1,124,666	Chiba, Chiba	304,090

국내 해상 수출입 네트워크 시각화는 가시성을 높이기 위해 전체 기본 데이터의 상위 5%만 표시하였다. 부산항, 인천항, 광양항, 울산항, 여수항과 연결된 해외 항만은 중국의 칭다오항이 있으며, 부산항, 광양항, 여수항, 울산항은 상하이항과 부산항, 인천항, 광양항, 울산항은 홍콩항과 연결되어있다. 여기서 많은 국내 항만과 연결되어있는 해외 항만일수록 이후 국내항만의 중심성 분석에 핵심 항만이 된다.

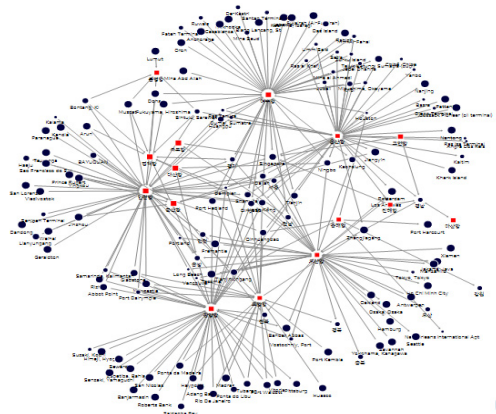


그림 1. 2005년 국내 해상 수출입 네트워크

2) 2010년의 해상화물 네트워크 분석

2010년 부산항 해상화물 네트워크는 수입, 수출 모두 상하이항과의 교역이 가장 많았으며, 부산항 수출 물동량이 전체적으로 상승하였다. 도쿄항, LA항, 보스토치니항 등이 상위권에서 없어지며, 인도의 자와할랄 네루항, 베트남의 호치민시항, 인도네시아의 자카르타항, 이란의 만다리아바스항이 순위권에 들어왔다.

표 7. 2010년 부산항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순 위	부산항(수입)		부산항(수출)	
	항만	물동량 (톤)	항만	물동량 (톤)
1	Shanghai	1,527,617	Shanghai	1,563,854
2	Qingdao	1,060,434	Long Beach	1,407,142
3	Long Beach	992,211	Hong Kong	1,096,282
4	Tianjinxingang	952,716	Jawaharlal Nehru (Nhava Sheva)	944,812
5	Dalian	944,117	Singapore	865,778
6	Rotterdam	720,179	Ho Chi Minh City	836,252
7	Los Angeles	694,466	Jakarta, Java	748,994
8	Hamburg	644,989	Bandar Abbas	732,585
9	Rotterdam	517,327	Hamburg	499,505
10	Oakland	481,881	Tianjinxingang	480,984

2010년 인도네시아 사마린다항에서 인천항으로 약 2백6십만 톤이 수입되었으며, 사마린다항은 당시 국내 최대 유연탄 물량이 수입되는 항으로 2015년까지도 인천항 수입 상위 항만으로 정리되었다. 인천항의 수입관련 연결 항만으로는 정유관련 항만과의 연결이 증가했으며, 2005년의 수출 연결 항만 중 중국의 황푸항과 싱가포르항이 순위권에서 없어지고, 베트남의 하이퐁항과 말레이시아의 포트클랑항과의 연결이 증가했다.

표 8. 2010년 인천항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순 위	인천항(수입)		인천항(수출)	
	항만	물동량 (톤)	항만	물동량 (톤)
1	Samarinda, Kalimantan	2,611,593	Hong Kong	563,852
2	Doha	2,405,386	Qingdao	475,148
3	Bintulu, Sarawak	2,097,657	Shanghai	435,183
4	Newcastle	1,892,599	Weihai	306,101
5	Bontang, Kl	1,472,645	Tianjinxingang	245,109
6	Gladstone	1,458,891	Haiiphong	237,054
7	Dampier	1,336,511	Kaohsiung	225,896
8	Tacoma	1,31,1849	PORTKELANG	222,663
9	Portland	1,211,322	Damman	212,327
10	Tianjinxingang	1,149,028	Yantai	199,206

2010년 광양항은 호주의 포트윌콧항과 댐피어항에서 수입된 물량이 많이 늘었으며, 전체적인 수입 물동량 규모가 증가했다. 수출 연결 항만으로는 2005년의 인도네시아 자카르타항과 말레이시아의 포트클랑항, 일본의 치바항이 순위권에서 없어지고, 멕시코의 만사니요항과 중국의 타이창항, 인도의 자와할랄 네루항의 연결이 증가했다. 2010년 포트클랑항의 경우 인천항과의 연결이 증가하며, 광양항과의 연결이 감소한 것으로 해석된다.

표 9. 2010년 광양항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순 위	광양항(수입)		광양항(수출)	
	항만	물동량 (톤)	항만	물동량 (톤)
1	Port Hedland	9,251,492	Hong Kong	911,372
2	Port Walcott	6,031,445	Shanghai	867,533
3	Dampier	4,296,486	Pittsburg	437,735
4	Port Dalrymple	3,160,284	Long Beach	429,508
5	Ponta da Madeira	2,984,352	Qingdao	429,306
6	Tubarao	2,618,636	Manzanillo	429,007
7	Newcastle	2,202,786	Bandar Abbas	409,996
8	Gladstone	1,557,351	Taicang	377,592
9	Haypoint	1,442,197	Jawaharlal Nehru (Nhava Sheva)	373,057
10	Bintuni	1,291,304	Ningbo	367,941

2005년 울산항은 쿠웨이트의 미나 알 아흐마디항에서 천만 톤을 수입했다면, 2010년의 울산항은 상위 3개의 중동항에서 1천7백만 톤을 수입했다. 또한, 울산항은 부산항 다음으로 수입과 수출 물동량이 적게 차이나는 항만이다. 본 연구에서의 중심성 분석은 물동량을 가중치로 두었기 때문에 단순 연결정도를 중심성으로 계산하는 연결 중심성에서의 울산항의 강세는 이미 해상화물 네트워크 구조 분석으로 유추해 볼 수 있다.

표 10. 2010년 울산항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	울산항(수입)		울산항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Mina al Ahmadi	10,463,974	Singapore	2,205,314
2	Khark Island	3,988,559	Qingdao	1,099,748
3	Zurku Island	3,417,001	Teluk Betung, Sumatra (dupl)	1,034,869
4	Ras Tanura	2,603,075	Chiba, Chiba	908,694
5	Basra	2,034,338	Ningbo	777,850
6	Jebel Dhanna	1,798,258	Hong Kong	760,348
7	Yanbo	1,781,276	Kaltim	760,105
8	Umm Said	1,777,592	Tianjin	587,241
9	Min-Al-Fahal	1,552,018	Huangpu	485,987
10	Djeno Terminal	1,135,005	Rotterdam	433,045

2010년 여수항 해상화물 네트워크는 2005년 수입 관련 연결된 항만이 아니었던 이라크의 바스라항이 가장 많은 수입 물동량을 기록하였으며, 대부분 울산항과 비슷한 수입관련 해외 항만과 연결을 맺고 있다. 여수항의 수출관련 해외 항만은 대만의 가오슝항과의 교역이 줄었으며, 중국의 장인항, 스페인의 쿼테로항, 대만의 마이리아오항 등 물동량의 규모는 크지 않지만 피더항과의 교역이 늘어난 것으로 보인다. 이는 중심성 분석에서 아이겐벡터 중심성 등에 영향을 미칠 것으로 해석될 수 있다.

표 11. 2010년 여수항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	여수항(수입)		여수항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Basra	5,906,610	Qingdao	1,492,487
2	Ras Tanura	5,540,588	Shanghai	849,012
3	Jebel Dhanna	4,571,941	Jiangyin	784,589
4	Mina al Ahmadi	3,189,030	Tianjin	706,528
5	Ras Laffan	2,554,576	Quintero	645,503
6	Das Island	2,205,706	Gladstone	606,101
7	Dampier	2,058,557	Mai-liao	520,265
8	Ruwais	1,369,535	Zhangjiagang	470,139
9	Zurku Island	1,295,589	Ningbo	306,195
10	Prigorodnoye	1,128,395	Valparaiso	301,498

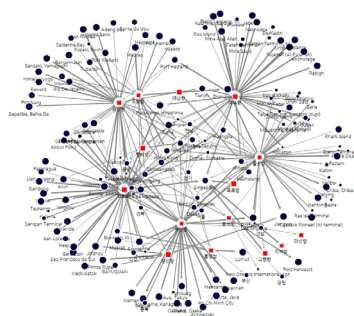


그림 2. 2010년 국내 해상 수출입 네트워크

호주 템피어항이 인천항, 광양항, 울산항, 여수항, 대산항, 포항항 등 국내 6개의 항만과 연결되어 있었고 싱가포르항은 부산항, 울산항, 여수항, 대산항, 고현항과 상하이항은 부산항, 인천항, 광양항, 울산항, 여수항과 각각 국내 5개의 항만과 연결되어있는 2010년 국내 해상화물 네트워크의 핵심 해외 항만이다.

3) 2015년의 해상화물 네트워크 분석

2015년 2014년 한진해운 파산 여파로 부산항은 전체적인 물동량의 규모 감소분이 크다. 부산항 수출관련 연결 해외항만으로는 두바이의 제벨알리항이 새롭게 순위로 진입했고, 미국 LA항, 사바나항, 캐나다의 밴쿠버항과의 연결이 증가했다.

표 12. 2015년 부산항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	부산항(수입)		부산항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Shanghai	1,198,492	Shanghai	1,414,023
2	Qingdao	900,377	Jebel Ali	826,740
3	Tianjinxingang	824,879	Singapore	789,839
4	Long Beach	496,569	Long Beach	762,129
5	Los Angeles	490,488	Hong Kong	611,005
6	Rotterdam	480,455	Ho Chi Minh City	607,968
7	Dalian	476,258	Los Angeles	592,229
8	Hamburg	448,067	Savannah	582,856
9	Vancouver	377,223	Vancouver	549,002
10	Ho Chi Minh City	347,723	Jawaharlal Nehru (Nhava Sheva)	528,891

카타르의 라스라관항은 2005년, 2010년 여수항 수입관련 상위 교역 항만이었으나, 2015년에는 카타르의 라스라관항에서 인천항으로 약 6백 6십만 톤이 수입되었다. 2015년에 인천항에서 대련항으로 약 6십만 톤이 수출되었고, 이 역시 2005년 해주항 수입 때와 같이 단발성으로 해석된다. 중국의 서커우항과 련윈강항과의 연결이 증가했다.

표 13. 2015년 인천항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	인천항(수입)		인천항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Ras Laffan	6,597,281	Dalian	576,784
2	Samarinda, Kalimantan	2,993,142	Hong Kong	457,942
3	Gladstone	2,500,145	Shanghai	445,343
4	Newcastle	1,987,208	Ningbo	335,634
5	Roberts Bank	1,739,578	Haiphong	292,987
6	Tianjinxingang	1,354,405	Qingdao	205,461
7	Qalhat	1,254,636	Shekou	204,725
8	Bintulu, Sarawak	949,363	Kaohsiung	204,646
9	Vostochniy, Port	922,205	Lianyungang	197,271
10	Dampier	786,237	Ho Chi Minh City	181,152

2015년 광양항 해상화물 네트워크는 전체적인 물동량이 감소했으며, 수입 감소분이 수출 감소분보다 컸다. 2010년의 연결된 해외 항만과 큰 변화를 보이지 않았다.

표 14. 2015년 광양항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	광양항(수입)		광양항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Port Hedland	7,865,824	Shanghai	874,613
2	Port Walcott	5,408,418	Hong Kong	640,814
3	Port Dalrymple	2,504,687	Manzanillo	548,176
4	Newcastle	2,413,752	Jakarta, Java	439,404
5	Tubarao	1,893,904	Bombay (Mumbai)	395,119
6	Haypoint	1,791,746	Taicang	395,028

7	Samarinda, Kalimantan	1,265,880	Pittsburg	386,680
8	Ponta da Madeira	1,264,139	Ningbo	376,542
9	Gladstone	1,178,512	PORTKELANG	372,881
10	Roberts Bank	905,173	Laem Chabang	367,587

2015년의 울산항 수입관련 항만은 2010년의 주요 수입 연결 항만이었던 카타르의 움사이드항이 순위권에서 없어지면서 같은 종류의 품목을 교역하는 다른국가와의 연결이 증가된 것으로 보인다. 수출관련 항만으로는 미국의 LA항과 말레이시아의 탄중 켈레파스항과의 연결이 증가했다. 말레이시아의 탄중 켈레파스항은 국내 항만과 연결 상위권에 2015년에 처음으로 등장했다.

표 15. 2015년 울산항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	울산항(수입)		울산항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Mira al Ahmadi	8,227,149	Singapore	4,256,270
2	Ras Tanura	3,061,072	Los Angeles	1,261,882
3	Basra	2,81,3347	Rotterdam	1,237,524
4	Khark Island Juaymah Terminal	2,133,474	Shanghai	785,527
5	Tuban, Jv	1,642,153	Tuban, Jv	739,004
6	Hound Point	1,340,155	Houston	717,691
7	Kozmino Port	1,297,049	Tanjung Pelepas	680,539
8	Fujairah (Al-Fujairah)	994,108	Hong Kong	550,449
9	Tanjung Pelepas	970,320	Botany Bay	484,337
10	De-Kastri	850,238	Ningbo	477,549

2015년 여수항 수입관련 연결 항만은 아랍에미리트의 푸자이라항과 카타르의 알샤인항 등 중동지역의 새로운 항만과의 연결이 증가했다. 여수항의 수출관련 항만으로는 필리핀의 바탕가스항, 호주의 시드니항 등 허브항만 뿐만아니라 다양한 대양의 항만과 연결이 되어있는 것을 알 수 있다.

표 16. 2015년 여수항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	여수항(수입)		여수항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Basra	7,701,651	Singapore	1,906,501
2	Ras Tanura	4,333,877	Hong Kong	1,065,331
3	Fujairah (Al-Fujairah)	3,196,729	Qingdao	1,010,640
4	Mina al Ahmadi	1,940,005	Botany Bay	815,784
5	Jebel Dhanna	1,920,335	Batangas, Luzon	668,227
6	Ras Laffan	1,698,545	Rotterdam	379,875
7	Das Island	1,634,608	Sydney	363,559
8	Ruwais	1,325,408	Dalian	269,029
9	Al Shaheen	968,539	Tianjin	265,389
10	Tuapse	839,072	Jiangyin	249,785

정유품 및 천연가스와 석유화학 항만으로 유명한 카타르의 라스라판이 인천항, 울산항, 여수항, 대산항, 평택항과 러시아의 보스토치니항이 인천항, 울산항, 광양항, 포항항, 동해항등의 국내 5개의 항만과 연결되어있었고, 싱가포르항이 부산항, 울산항, 여수항, 대산항, 통영항과 상해항이 부산항, 인천항, 울산항, 광양항 국내 4개의 항만과 연결되어있었다. 2015년의 국내 해상화물 네트워크의 시각화를 2010년과 비교하였을때 네트워크가 좀 더 정리된 느낌이며, 상위 5%에 포함되는 국내 항만의 개수가 줄어든 것을 알 수 있다.

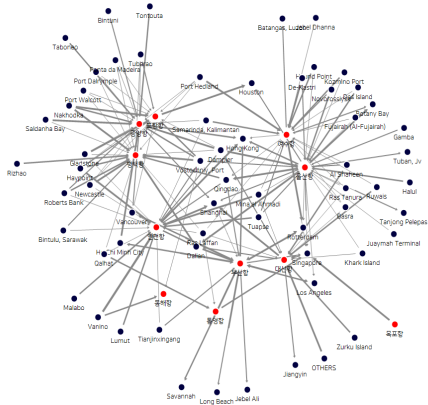


그림 3 2015년 국내 해상 수출입 네트워크

4) 2020년의 해상화물 네트워크 분석

2020년 부산항의 해상화물은 2010년에 비해 물동량 규모가 수입, 수출 모두 확연히 증가하였으며, 연결 항만은 세계 주요 허브항만이 상위권을 차지했다.

표 17. 2020년 부산항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	부산항(수입)		부산항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Shanghai	2,197,270	Shanghai	2,585,230
2	Qingdao	1,603,438	Ningbo	1,427,570
3	Long Beach	879,169	Ho Chi Minh City	1,403,018
4	Tianjin Xingang Pt	878,349	Los Angeles	1,010,852
5	Dalian	748,204	Savannah	966,217
6	Ho Chi Minh City	722,746	Long Beach	951,462
7	Rotterdam	720,358	Manzanillo	864,119
8	Los Angeles	669,822	Singapore	841,175
9	Vancouver	627,148	Vancouver	800,133
10	Ningbo	565,789	Jakarta, Java	749,834

2020년 인천항의 수입관련 연결 항만은 중국의 톈진항과 러시아의 보스토치니항의 연결이 줄어들고, 미국의 사빈항, 중국의 상하이항, 러시아의 바니노항과의 연결이 늘어났다. 인천항 수출 물동량은 2010년에 비해 증가하였으며, 특히 중국의 닝보항과 베트남의 하이퐁항은 2010년의 두배 이상을 수출하였다.

표 18. 2020년 인천항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순위	인천항(수입)		인천항(수출)	
	항만	물동량(톤)	항만	물동량(톤)
1	Ras Laffan	5,841,050	Ningbo	699,432
2	Gladstone	3,263,611	Haiphong	649,479
3	Roberts Bank	1,868,298	Shanghai	637,532
4	Newcastle	1,854,278	Dalian	540,359
5	Bintulu, Sarawak	1,731,720	Caojing	535,538
6	Qalhat	1,211,558	Hong Kong	478,497
7	Sabine	1,157,488	Qingdao	462,411
8	Shanghai	1,137,555	Lianyungang	442,526
9	Houston	1,042,593	Mai-liao	434,153
10	Vanino	1,024,751	Ho Chi Minh City	346,367

2020년 광양항은 호주의 포트헤들랜드항에서 1천 팔백만 톤을 수입했으며, 러시아의 나훗트카항과의 연결에서 2020년 들어 처음으로 순위권에 들었다. 2020년 광양항의 수출 물동량이 전체적으로 증가하였으며, Ningbo항과의 교역이 2015년에 비해 약 3배가량 늘어났다. 태국의 람차방항, 베트남의 붕따우항, 중국의 난사항과의 연결이 증가하였으며, 인도의 봄베이항이 뭄바이항으로 명칭을 변경하였다.

표 19. 2020년 광양항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순 위	광양항(수입)		광양항(수출)	
	항만	물동량 (톤)	항만	물동량 (톤)
1	Port Hedland	18,065,239	Shanghai	1,320,326
2	Newcastle	4,820,956	Ningbo	1,312,400
3	Port Walcott	4,131,015	Laem Chabang	762,050
4	Nakhodka	2,561,148	Qingdao	691,612
5	Port Dalrymple	2,352,657	PORTKELANG	643,381
6	Ponta da Madeira	2,192,102	Hong Kong	620,269
7	Vancouver	1,707,121	Vung Tau	566,766
8	Hay Point	1,701,121	Nansha Pt	525,892
9	Vostochny, Port	1,575,830	Jakarta, Java	509,043
10	Ho Chi Minh City	1,453,973	Mumbai (ex Bombay)	483,937

2020년 울산항은 사우디아라비아의 라스타누라항에서 약 2천7백만 톤을 수입하였으며, 2020년 국내 교역량 중 가장 많은 양을 수입한 항만이다. 울산항의 수입 총량은 큰 변화가 없기 때문에 라스타누라항을 제외한 상위권 항만들의 물동량이 조금씩 감소하였다. 미국의 코퍼스크리스티항, 사우디아라비아의 얀부항 등의 연결이 증가하였다. 수출관련 항만의 경우 중국의 저우산항이 처음으로 순위권에 등장하였다. 2015년에는 미국과 유럽 등의 항만이 순위권에 있었으나 2020년에는 중국과 동남아권과의 연결이 활발한 것을 볼 수 있다.

표 20. 2020년 울산항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순 위	울산항(수입)		울산항(수출)	
	항만	물동량 (톤)	항만	물동량 (톤)
1	Ras Tanura	27,231,354	Singapore	2,522,769
2	Mina al Ahmadi	1,440,433	Zhoushan Pt	2,133,525
3	Basra	2,792,574	Taichung	1,260,004
4	Galveston	2,160,443	Shanghai	949,981
5	Houston	2,140,955	Ningbo	821,021
6	Corpus Christi	1,649,698	Taipei	758,997
7	Yanbu al-Bahr	1,480,030	Jiangyin Pt	752,788
8	Al Fujayrah	1,074,065	Houston	751,303
9	Arzew	974,781	Kaohsiung	723,487
10	Khor al Zubair	953,841	Nagoya, Aichi	673,486

2020년 여수항 수입, 수출 물동량이 모두 증가하였으며, 수출관련 연결 항만이 눈에 띄게 변화하였다. 중국의 난사항, 저우산항, 동관항 등과의 연결이 증가하였으며, 10위 순위권에 중국의 항만이 2015년에는 3개에서 2020년에는 6개로 늘어난 것을 볼 수 있다.

표 21. 2015년 여수항 해상화물 항만 순위 및 물동량

순 위	여수항(수입)		여수항(수출)	
	항만	물동량 (톤)	항만	물동량 (톤)
1	Basra	7,133,737	Nansha Pt	2,129,117
2	Ras Tanura	5,366,952	Singapore	1,495,121
3	Al Fujayrah	4,119,311	Qingdao	1,371,117
4	Das Island	3,265,593	Hong Kong	1,092,033
5	Galveston	2,475,715	Zhoushan Pt	1,079,391
6	Novorossiysk	2,386,717	Dongguan Pt	775,051
7	De-Kastri	2,321,357	Davao, Mindanao	465,266
8	Ruwais	2,095,467	Taichung	441,902
9	Loop	1,584,522	Shanghai	433,313
10	Taboneo	1,480,491	Jiangyin Pt	428,270

따라서 본 분석결과로 보았을 때, 항상 상위에 있는 울산항, 부산항, 광양항, 인천항, 여수항 등은 가능한 최대 연결할 수 있는 연결에 비해 많은 연결이 이미 되어있는 상태로 볼 수 있으며, 직접 연결된 다음 노드인 국내 지역과 해외 항만으로의 영향력이 높은 항만으로 볼 수 있다.

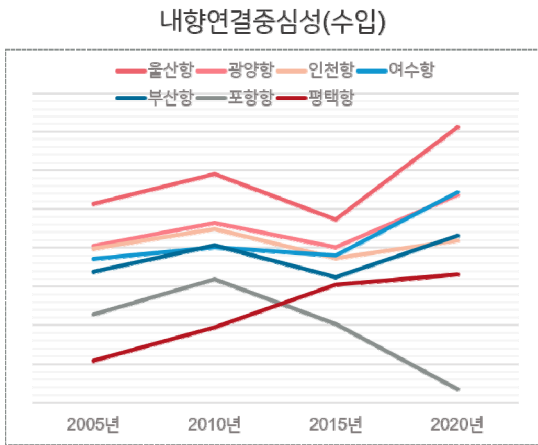


그림 5 국내항만 내항연결 중심성

국내 항만의 내항 연결 중심성을 보면 대부분 수입 물동량의 규모에 따라 내항 연결 중심성이 함께 변화한 것을 알 수 있다. 중앙기준 물동량이 큰 울산항, 광양항, 여수항 등이 내항 연결 중심성에서는 상위권을 차지하고 있으며, 국내 원유 전문 항만으로 해상화물 네트워크 분석에서 석유량이 많은 국가의 항만과 연결이 많은 것으로 나타났다.

국내 항만 상위 7개의 내항 연결 중심성 추이를 보면 평택항은 계속 증가하였으며, 포항의 경우 2010년을 기준으로 하락폭이 크게 나타났다. 그 외의 항만들은 2015년에 잠시 줄어들었다가 2020년에는 일제히 증가했다.

2) 근접 중심성(Closeness Centrality)

근접 중심성은 중앙집권적이나 매개적이지 않지

만, 네트워크내 연결의 확산을 돕는 항만이 바로 근접 중심성이 높은 항만이다. 네트워크 전체 구조에서 가장 최단경로를 통해 모든 항만들로 연결되는 위치에 있다고 볼 수 있다.

이들은 구조적인 이점을 이용하여 다른 항만들에게 영향력을 가져다 줄 수 있는데 이는 최단경로를 가지기 때문에 자원을 가장 빠르게 전달 할 수 있기 때문이다. 하지만 근접중심성은 네트워크의 크기에 영향을 받으며, 네트워크 크기가 커지면 노드간 거리의 합은 상대적으로 커지게 되고 이는 낮은 근접 중심성이 나타나게 된다(Freeman, 1979).

표 23. 국내 항만 내항 근접 중심성 결과

순위	2005년		2010년		2015년		2020년	
	지역	Index	지역	Index	지역	Index	지역	Index
1	부산항	0.38576	부산항	0.42035	부산항	0.43198	부산항	0.40058
2	인천항	0.34653	인천항	0.38409	인천항	0.38654	인천항	0.38935
3	울산항	0.30353	울산항	0.33948	광양항	0.33723	광양항	0.34908
4	광양항	0.29369	광양항	0.32669	울산항	0.32889	울산항	0.34749
5	포항항	0.27638	평택항	0.31812	평택항	0.31690	평택항	0.33430
6	군산항	0.27581	여수항	0.30189	여수항	0.29537	군산항	0.31278
7	여수항	0.27354	포항항	0.30114	군산항	0.29479	여수항	0.31150
8	평택항	0.27168	군산항	0.29510	포항항	0.29175	대신항	0.30190
9	미산항	0.26929	미산항	0.28666	대신항	0.28122	미산항	0.29660
10	동해항	0.25337	대신항	0.28272	미산항	0.27641	동해항	0.29302
11	목포항	0.25321	진해항	0.26938	동해항	0.27307	목포항	0.28857
12	진해항	0.25225	통영항	0.26893	목포항	0.26981	당진항	0.28761
13	고현항	0.24687	고현항	0.26879	통영항	0.26615	통영항	0.28585
14	통영항	0.24482	속초항	0.26686	진해항	0.26475	진해항	0.28545
15	속초항	0.24347	목호항	0.26526	고현항	0.26229	포항항	0.28227
16	대신항	0.24332	동해항	0.26439	속초항	0.26229	고현항	0.28148
17	목호항	0.24288	목포항	0.26396	목호항	0.26138	속초항	0.28006
18							목호항	0.28044

직관적인 물동량의 증가에 따라 달라졌던 연결 중

심성과 달리 근접 중심성의 경우에는 간접적인 연결까지 포함되어 계산된다. 근접 중심성의 상위권에는 부산항, 인천항, 평택항이 높은 근접 중심성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

내항근접 중심성(수입)

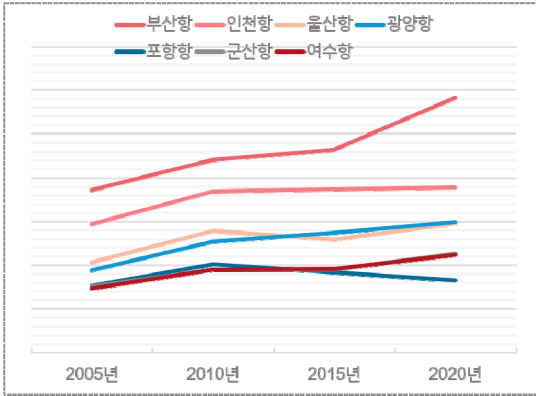


그림 6 국내항만 내항근접 중심성

2005년의 경우 포항항과 군산항이 내항 근접 중심성이 높은편이었으나 2010년부터 떨어지며 평택항의 근접 중심성이 높아지기 시작했다. 2010년부터 평택항이 해운 네트워크의 핵심이 되는 중국과 동남아시아의 허브항 및 피더항과의 연결이 많아지면서 근접 중심성이 높아진 것으로 해석된다.

표 24. 국내 항만 외항 근접 중심성 결과

순 위	2005년		2010년		2015년		2020년	
	지역	Index	지역	Index	지역	Index	지역	Index
1	부산항	0.40295	부산항	0.39236	부산항	0.37132	부산항	0.32401
2	울산항	0.33604	울산항	0.34943	울산항	0.33603	울산항	0.29951
3	광양항	0.32927	광양항	0.31369	광양항	0.31193	광양항	0.27496
4	인천항	0.31531	인천항	0.31217	인천항	0.29887	인천항	0.25373
5	미산항	0.28418	미산항	0.29524	미산항	0.29173	여수항	0.25276
6	여수항	0.27445	평택항	0.27764	평택항	0.28279	평택항	0.25237
7	포항항	0.27288	포항항	0.27121	여수항	0.28195	미산항	0.25179
8	평택항	0.27064	군산항	0.26525	포항항	0.26835	포항항	0.23887

9	군산항	0.26588	대산항	0.25730	대산항	0.26816	대산항	0.23239
10	목포항	0.26247	여수항	0.25426	군산항	0.26515	군산항	0.22354
11	대산항	0.25751	목포항	0.24837	목포항	0.25446	목포항	0.22263
12	동해항	0.25087	동해항	0.24337	동해항	0.24795	동해항	0.21296
13	진해항	0.24873	통영항	0.24245	통영항	0.24270	당진항	0.21078
14	속초항	0.24663	진해항	0.24034	진해항	0.24085	진해항	0.20904
15	고현항	0.24648	고현항	0.23871	속초항	0.24024	통영항	0.20851
16	통영항	0.24604	속초항	0.23827	고현항	0.23963	고현항	0.20732
17	목포항	0.24574	목포항	0.23710	목포항	0.23933	속초항	0.20706
18							목포항	0.20525

외항근접 중심성(수출)

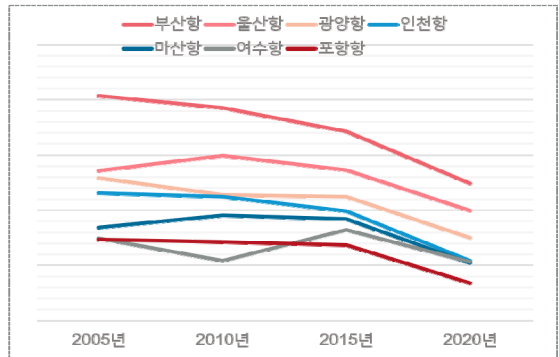


그림 7 국내항만 외항근접 중심성

국내 항만 외항 근접 중심성의 경우 국내 항만 전체적으로 전체적인 하락세를 보였다. 부산항이 내항 근접 중심성과 같이 가장 높았고, 다음으로 울산항과 광양항 등이 외항 근접 중심성이 높은 국내 항만으로 분석되었다.

3) 매개 중심성(Betweenness Centrality)

짧은 연결선으로 다른 노드 사이를 미개하는 역할을 하는 위치에 있는 중심성을 매개 중심성이라고 한다. 해운 항만 분야에서의 다리역할을 하는 중개자 역할의 항만이라고 해석 할 수 있다. 즉, 거점 항만이나 환적항만으로서 적합하다고 볼 수 있으며, 매개

중심성이 높은 항만은 환적 볼동량이 앞으로 높아질 가능성이 있는 항만이라고 판단할 수 있다(Lim, 2011). 또한, 네트워크의 유지와 해체에 직접적인 영향을 미치는 것으로 인식되어 정기선사들의 배선 결정시 경쟁항만에 비해 우선적인 배선적용 가능성이 높은 항만으로 볼 수 있다(Jeon, 2016).

전체적인 매개 중심성의 값이 다른 중심성의 값보다 작은 것을 알 수 있다. 특히 연결 중심성의 값이 그렇다. 매개 중심성의 수치상 차이는 네트워크 내 매개하는 역할을 가진 노드 자체가 적고, 직접적으로 연결된 노드들은 많아 연결 중심성은 높게 나오는 것으로 해석된다. 이는 본 연구의 기본 데이터가 양방향성이 아닌 수출과 수입과 같이 시작과 끝이 있는 데이터이기 때문에 그런 것으로 보인다.

근접 중심성이 높은 항만이 매개 중심성도 대체로 높은 것을 볼 수 있다. 그리고 연결 중심성은 낮지만 매개 역할이 강한 항만들이 있다. 특히, 부산항의 경우 연결 중심성 보다 근접 중심성과 매개 중심성은 항상 상위권에 위치해 있다. 이 항만을 통해서 네트워크 전체로 전파된다는 의미로 볼 수 있다. 높을수록 중재자로서 네트워크 내의 다른 항만들이 의존하는 정도가 높아져서 네트워크상에서의 그 항만의 영향력이 커진다.

표 25. 국내 항만 매개 중심성 결과

순위	2005년		2010년		2015년		2020년	
	지역	Index	지역	Index	지역	Index	지역	Index
1	부산항	0.24527	부산항	0.23167	부산항	0.24268	부산항	0.26441
2	울산항	0.11211	울산항	0.14408	울산항	0.13028	울산항	0.12201
3	인천항	0.10810	인천항	0.10315	인천항	0.09942	광양항	0.07300
4	광양항	0.09294	광양항	0.06408	광양항	0.08574	인천항	0.07293
5	여수항	0.04161	마산항	0.04084	여수항	0.05072	여수항	0.05126
6	마산항	0.03378	평택항	0.03934	평택항	0.04523	평택항	0.04591
7	포항항	0.02868	여수항	0.03732	마산항	0.03027	마산항	0.02954
8	군산항	0.01960	포항항	0.03674	포항항	0.02703	대산항	0.02047
9	평택항	0.01853	군산항	0.02135	대산항	0.02522	군산항	0.01459

10	목포항	0.01057	대산항	0.01725	군산항	0.01975	포항항	0.00909
11	동해항	0.00763	통영항	0.00912	동해항	0.00812	동해항	0.00621
12	진해항	0.00505	속초항	0.00464	목포항	0.00707	목포항	0.00516
13	대산항	0.00311	진해항	0.00377	통영항	0.00574	통영항	0.00515
14	통영항	0.00305	동해항	0.00377	진해항	0.00182	진해항	0.00226
15	속초항	0.00204	목포항	0.00327	속초항	0.00065	당진항	0.00065
16	고현항	0.00173	목호항	0.00190	고현항	0.00057	고현항	0.00088
17	목호항	0.00035	고현항	0.00140	목호항	0.00003	속초항	0.00003
18							목호항	0.00001

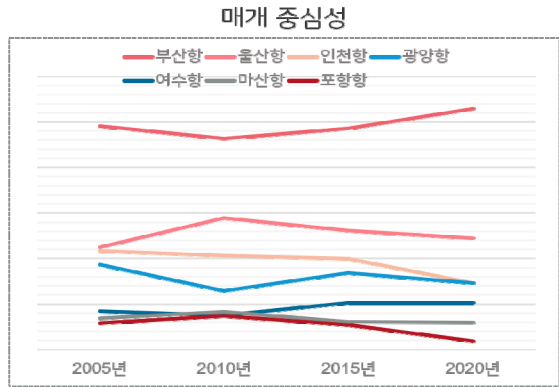


그림 8 국내 항만 매개 중심성

4) 아이겐벡터 중심성(Eigenventor Centrality)

아이겐벡터 중심성은 연결 중심성을 확장하여 항만에 직접 연결된 항만의 개수뿐만 아니라 연결된 항만이 얼마나 중요한지도 함께 고려함으로써 연결 중심성의 개념을 확장한 것이 아이겐벡터 중심성이다. 이것은 어떤 항만과 연결된 다른 항만의 중심성이 높을수록 항만의 아이겐벡터 중심성은 커지게 된다. 항만들간의 보완적 관계를 의미한다(Lee, 2018). 특히 네트워크상에서 강력한 특정 항만과의 연결은 약한 영향력의 항만과의 연결보다 영향력을 더 가져간다고 볼 수 있다. 2005년에 가장 아이겐벡터 중심성이 높은 항만은 울산항이며, 부산, 여수항 순이고, 2010년과 2015년은 광양항, 여수, 울산 순이다. 2010년에 포항항이 아이겐벡터 중심성에서 높게 분석되

었고, 2010년, 2015년의 광양항과 2020년의 부산항과 연결된 항만을 보았을 때, 상하이와 홍콩항이 공통적으로 연결된 항만으로써 아이겐벡터 중심성 지표에 주요 요인으로 작용한 것으로 보인다.

표 26. 국내 항만 아이겐벡터 중심성 결과

순위	2005년		2010년		2015년		2020년	
	지역	Index	지역	Index	지역	Index	지역	Index
1	광양항	0.57452	광양항	0.38210	광양항	0.32412	광양항	0.28536
2	여수항	0.33190	여수항	0.31677	여수항	0.29673	여수항	0.27809
3	울산항	0.12167	울산항	0.08051	울산항	0.17220	울산항	0.19986
4	인천항	0.08945	포항항	0.04421	인천항	0.09231	인천항	0.05723
5	부산항	0.08522	부산항	0.08982	광양항	0.06935	부산항	0.05258
6	군산항	0.02485	인천항	0.03473	부산항	0.05236	광양항	0.04071
7	목포항	0.01390	대산항	0.01540	포항항	0.04143	대산항	0.03615
8	포항항	0.01355	목포항	0.01497	대산항	0.03052	군산항	0.01262
9	통영항	0.01079	광양항	0.01295	군산항	0.00974	당진항	0.00832
10	광양항	0.00575	통영항	0.01157	목포항	0.00916	동해항	0.00606
11	마산항	0.00345	군산항	0.00728	통영항	0.00854	목포항	0.00592
12	동해항	0.00221	고현항	0.00238	동해항	0.00741	통영항	0.00359
13	고현항	0.00217	진해항	0.00206	마산항	0.00328	포항항	0.00325
14	진해항	0.00184	마산항	0.00198	고현항	0.00102	마산항	0.00108
15	대산항	0.00159	속초항	0.00040	진해항	0.00064	고현항	0.00047
16	목호항	0.00006	동해항	0.00020	목호항	0.00008	목호항	0.00026
17	속초항	0.00003	목호항	0.00009	속초항	0.00002	진해항	0.00022
18							속초항	0.00000

아이겐벡터 중심성

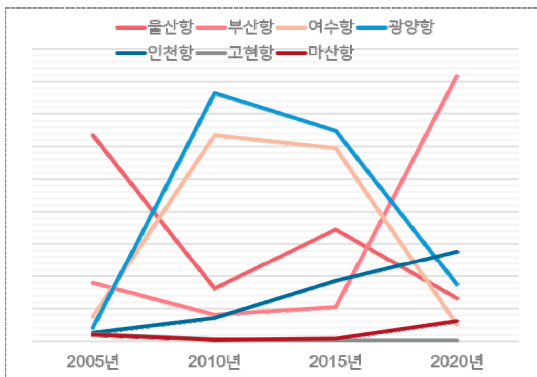


그림 9 국내항만 아이겐벡터 중심성

III. 결론

본 연구에서는 국내 수출입 교역데이터를 이용하여 국내 해상화물 네트워크와 국내 항만의 중심성 변화를 분석하였다. 사용된 사회네트워크 지표는 중심성 분석을 통한 연결 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성, 아이겐벡터 중심성 지표이다. 이 네가지 지표는 수출입 네트워크에 있어서 중심이 되는 항만과 중심이 될 수 있도록 영향을 주는 상대 항만간의 상호영향력을 측정하는데 사용된다. 그 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 해상화물 네트워크 분석에서는 2005년에서 2010년의 변화로는 연결되는 항만과 항로가 다양해졌고, 물동량 규모 역시 증가해서 복잡한 네트워크로 형성되어있다. 2010년에서 2015년의 변화로는 세계 환경의 영향과 한진해운 사태 등으로 물동량이 감소했으며, 연결 항만과 항로가 간소화된 네트워크를 볼 수 있었다. 2015년에서 2020년의 변화는 다시 물동량이 회복되었으며, 2015년에 정리되었던 네트워크에 밀도가 높아진 네트워크로 나타났다. 둘째, 연결 중심성의 경우 물동량의 규모와 비슷한 양상을 보여줬다. 벌크화물이 주로 입항하여, 중량기준 처리물동량이 높은 울산항, 광양항, 여수항 등이 연결 중심성이 높은 것으로 분석되었다. 셋째, 부산항의 경우 다른 국내 항만에 비해 중량기준 물동량 규모가 비교적 작지만, 근접 중심성이나 매개 중심성이 높은 것으로 분석되었다. 이를 토대로 부산항은 해상 수출입 네트워크 내에 의존도가 높은 항만으로 부산항을 통해 네트워크 전체로 전파되는 허브 항만을 증명할 수 있다.

넷째, 여수항의 경우 수출관련 항만이 2015년에는 다양한 국가의 허브항만과 연결이 되다가 2020년에는 피더항만과 연결이 되어있는 것을 해상화물 네트워크 분석에서 알 수 있었다. 이는 높은 중심성을 가진 항만과 연결이 되어있는지를 보는 아이겐벡터 중심성 분석의 값에서 바로 차이가 나타난다. 하지만

피더항만과의 연결도 매개 중심성에서는 긍정적인 영향을 끼치기 때문에 매개 중심성은 큰 변화가 없이 분석되었다. 국가 정책과 환경 그리고 개별 항만의 운영 방향이 네트워크와 중심성에 어떤식으로 영향을 미치는지 알 수 있다. 국내 해상화물 네트워크에 대해 기존에 경험했던 유사한 방향성이 보여진다면, 네트워크의 패턴과 중심성의 변화 분석내용을 바탕으로 국내 항만의 발전방향과 불확실한 미래에 대한 리스크 대비를 할 수 있을 것이다.

이후 후속 연구는 물류 및 무역관련 정책과 규제가 국내 해상화물 네트워크와 국내 항만 중심성의 변화에 어떠한 영향을 끼칠 수 있는지 알아보고자 한다. 또한, 수출입 지역별 데이터를 통해 지역 내 항만 연결성과 품목별 데이터를 통한 항만의 중심성을 추가적으로 분석한다면 국내 개별 항만에 영향력이 높은 지역권을 살펴볼 수 있을 것이며, 항만의 운영 방향을 결정하고, 경쟁력을 높일 수 있을 것이다. 화물 내에서도 전체적으로 바라보지 않고 구분하여 품목별 데이터를 통한 국내 항만의 중심성의 변화를 분석한다면 품목 특성에 따라 어떤 항만을 주로 활용하고 있는지 파악할 수 있을 것이다. 추가적인 연구의 결과로 항로를 확대하거나 기항지 선정시 활용 가능할 것이며, 항로 편성시 개선 및 보완해야 할 부분으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 해양수산부 제4차 해운항만물류 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- 김대현·김상열·장현미(2019), “SNA를 활용한 정기선사의 전략적 제휴 체편에 따른 항만 네트워크 변화분석”, 『무역학회지』, 제44집, 제6호, 267-283.
- 김용학(2011), 『사회연결망분석』, 제3판, 박영사.
- 류기진·남형식·조상호·류동근(2018), “사회연결망 분석을 이용한 컨테이너 정기선 항로 패턴 분석에 관한 연구 : 부산항을 중심으로”, 『한국항만학회지』, 제42집, 제6호, 529-538.
- 박선율(2022), “소셜네트워크분석을 활용한 수상운송서비스 무역 네트워크 분석 연구”, 『무역학회지』, 제47집, 제3호, 75-92.
- 이호상(2010), “항공교통을 통한 도시 간 국제적 상호작용 패턴”, 『국토연구』, 163-179.
- 임병학(2011), “컨테이너항만 네트워크가 항만 생산성에 미치는 영향에 대한 연구: 사회 네트워크 분석을 중심으로” 『로지스틱스연구』, 제19집 제3호, 45-56
- 임병학(2012), “사회 네트워크 분석 접근법을 이용한 효율적인 항만의 영향력과 순위 측정에 관한 연구”, 『한국SCM학회지』, 제12집 제1호, 37-47.
- Ducruet, C & Notteboom, T. E.(2010), The Worldwide maritime network of container shipping: Spatial structure and regional dynamics, *GaWC Research Rulletin*, 364.
- Freeman, Linton C (1978-79). “Centrality in Social networks Conceptual Clarification,” *Social Network*, 1(3), 215-239
- Jasmine Siu Lee Lam, et al.(2011), “Dynamics of liner shipping network and port connectivity in supply chain systems: analysis on East Asia”, *Industrial Marketing Management*, 41(4), 589-598.
- Low, J. M., Lam, S. W. and Tang, LC. “Assessment of hub status among Asian ports from a network perspective,” *Transportation Research Part : Policy and Practice*, Vol.43, 2009, pp.593-606.
- S. Wasserman and K. Faust(1997), *Social Network Analysis: methods and applications*, Cambridge University Press, pp.3-27.
- Wasserman, Stanley and Katherine Faust(1998), *Social network ananlysis methods and applications*, Cambridge Cambridge University Press.
- Zhao, T. T., Yun, K. J., Chen, M. W., Lee, H.W.(2020), “Belt and Road network analysis

using SNA method: Focusing on China's Freight Airport City", *Korea Logistics Review*, Vol. 30, No. 2, pp. 127-135.

SNA 분석을 이용한 해상 수출입화물의 네트워크 구조와 국내 항만의 중심성 분석

김주혜 · 김치열

국문요약

과거와 달리 물류를 공간적, 서비스 영역의 확장에 따라 네트워크 관점으로 해석해야하는 노력이 필요하다. 또한 다양한 환경의 변화로 물류 네트워크 역시 급변하고 있다. 따라서 본 연구는 사회네트워크 분석을 이용하여 해상 수출입화물의 구조와 국내 항만의 중심성의 변화 추이를 분석하는데 목적을 두었다. 2005~2020년 기간에 5년 간격의 국내 해상 수출입화물의 전체 교역데이터를 사용하여, 우리나라 해상 수출입화물의 네트워크 구조의 변화를 알아보았으며, 국내 항만의 중심성에 영향을 끼치는 주요 요인을 알 수 있었다. 분석결과로는 연결 중심성은 울산항이 가장 높으며, 내항 근접 중심성은 부산, 인천항, 외항 근접 중심성은 부산, 울산항 순으로 분석되었다. 중개자 역할의 항만이라고 볼 수 있는 매개 중심성이 가장 높은 항만은 부산, 울산항 순으로 나타났다. 본 연구는 항만의 중심성 지표의 변화와 해상화물 네트워크 파악을 토대로 20년간의 국내 수출입화물 교역에 관련한 일련의 패턴을 예측하고 리스크를 대비하는 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

주제어: 물류네트워크, 네트워크구조, 수출입화물, SNA분석, 사회네트워크분석, 중심성, 항만중심성, 물류산업