

선사 국적을 기반으로 한 아시아 주요 항만 네트워크 비교: 사회네트워크분석(SNA) 접근법을 중심으로

임병학*, 김삼문**, 홍한국***

요약

사회네트워크분석은 네트워크에 있는 행위자들의 관계에 대한 연구이다. 이 연구는 행위자들 간 관측된 관계를 기반으로 사회적 구조를 파악하는데 중점을 두고 있다. 본 연구는 국적 선사들의 물동량 이동을 기반으로 항만 네트워크를 구축과 분석을 통해, 4개국 국적 선사들에 의한 항만 네트워크 구조를 비교하고 시사점을 찾는 데 목적을 두고 있다. 항만 네트워크 구조 비교는 네트워크 중심성 (연결정도, 근접, 매개, 아이겐벡터)과 구조적 공백 (네트워크 효과 크기) 및 네트워크 응집성 (네트워크 제약성) 지표에 의해 비교하였다.

Comparison of Asia Port Networks based on National Shipping Companies: Social Network Analysis(SNA) Perspective

Byung-Hag Leem*, Sam-Moon Kim**, Han-kuk Hong***

ABSTRACT

Social network analysis is a study on relationship between actors in network. This study focuses on examining social structure based on relation between actors. This paper builds and analyzes networks with throughput of four national shipping companies. And then compares network characteristics and finds managerial insights. Port network structure attributes compared in this study are network centrality (degree, closeness, betweenness, eigenvector), structural hole, and network closure.

Keywords : Social Network Analysis, Range, Brokerage, Cohesion.

* 부산외국어대학교 경영학부(✉bhleem@pufs.ac.kr)

** 동의대학교 경영정보학과 박사과정

*** 동의대학교 경영정보학과

· 제1저자(First Author) : 임병학 · 교신저자(Correspondent Author) : 홍한국

· 접수일(2011년 8월 17일), 수정일(1차 : 2011년 9월 19일), 게재확정일(2011년 9월 22일)

I. 서론

항만의 물동량에는 소재 국가 및 지역의 경제 성장을, 수출입 교역량, 항만 서비스 품질, 항만 비용 그리고 지정학적 위치 등의 영향을 미치는 다양한 요인들이 있다. 그러나 해운산업의 파생수요로서 역내 시장 속의 항만 경쟁력 확보를 위해서는 항만 네트워크 분석을 통한 해운산업에 대한 고찰이 필요하다. 따라서 우리나라 컨테이너항만의 지속적 성장을 확보하기 위해서는 해운시장을 직접적으로 경쟁 또는 협력해야 하는 동북아시아 지역내 주요 항만을 중심으로 최근의 해운항만의 네트워크를 실증적으로 분석하는 일은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 또한 이러한 연구는 향후 우리나라 컨테이너항만의 경쟁력 제고 전략을 수립하는데 있어 매우 중요한 역할을 수행할 것이다.

최근 오성열[1]은 동북아 국적선사의 서비스 네트워크에 관한 심층적인 연구를 수행하였지만 사회 네트워크 관점에서의 분석과는 거리가 멀었다. 본 연구는 국적선사의 물동량 이동을 기반으로 동북아의 주요 항만 네트워크를 비교 분석하고자 한다.

따라서 본 연구는 그래프 분석기법을 좁은 세상 네트워크(Scale free Small world network) 혹은 척도 없는 네트워크에 기반을 둔 새로운 개념인 사회네트워크분석(SNA) 기법을 국적 선사의 항로를 기반으로 사회 네트워크를 구성하고, 네트워크의 속성에 대한 지표들에 의해 대만, 중국, 일본, 한국 항만을 비교 분석하고자 한다.

II. 선행연구

해운나라간 대규모의 화물은 해양 혹은 항공에 의해 운송되고 있어, 해양과 항공 운송은 세계 무역과 경제 발달에 중요한 역할을 해왔다. 오늘날 대부분의 항공사들 혹은 해운선사들은 복잡한 컨테이너 운송네트

워크 시스템을 형성하고 있는 거점과 지점(hub-and-spoke) 운영구조를 채택하고 있어, 공항간 혹은 항만간 네트워크와 밀접한 관계를 가지고 있다. 지금까지 사회 네트워크 관점에서 항만과 항공 네트워크에 대한 연구는 주로 네트워크 유형의 위상변화를 이해하기 위해 항만[6] 혹은 항공 네트워크를 연구하였다[7][10]. 이들 연구 중 일부가 항만 네트워크와 항만의 물동량과의 상관관계 분석과 항공 네트워크 분석 지표와 항공승객수, 도시인구, 지역 총생산간 상관관계 분석을 통해 네트워크 구조의 이용성을 제시하고 있다.

우선 항만과 항공의 네트워크 위상변화 연구를 살펴보면 다음과 같다. Amaral, et al. [2]은 공항에 도착하고 공항을 떠나는 화물수와 승객수를 기반으로, 공항노드로, 직항(nonstop)을 연결로 하는 세계 공항네트워크가 좁은 세상 네트워크와 멱함수 법칙(power law)을 따르고 있음을 보이고 있다. Guimerà & Amaral [8]은 3,883 도시와 500,000회 직항을 가지는 27,051의 두 도시를 쌍으로 하는 공항네트워크를 구축하여 세계 공항네트워크가 좁은 세상 네트워크와 멱함수 법칙을 따르고 있음을 보이고, 가장 많은 연결을 갖는 도시(가장 높은 연결정도를 갖는 도시)가 가장 중심이 되는 도시(가장 큰 매개중심성)가 아님을 보이고 있다. 그들은 높은 매개중심성을 갖는 노드가 높은 연결중심성을 갖는 노드보다 네트워크 연결을 유지하는데 중요한 역할을 하고 있음을 보이고 있다. Guimerà, et al.[8]은 세계 항공네트워크는 척도없는 좁은 세상 네트워크임을 보이고, 가장 많이 연결된 도시가 반드시 가장 중심적인 도시가 아님을 밝혔다. 이는 항공네트워크의 커뮤니티 구조분석을 통해 지정학적 및 정치적 요인에 의한 것으로 해석하였다. Li-Ping, et al. [11]은 노드를 공항으로, 두 공항을 연결하는 항공을 링크로 하는 방향성과 가중치가 있는 미국 공항네트워크를 분석하였다. 미국 공항네트워크는 평균 최단 경로 길이는 2.4, 군집계수는 0.618로 좁은 세상 네트워크

크을 따르고 있음을 보였고, 연결정도 분포가 멱함수 법칙을 따르고 있음을 보였다. Guida & Maria[9]는 각 공항을 노드로, 두 다른 공항간 승객을 연결하는 직항 운행을 연결로 하는 이태리 공항 네트워크를 구축하고 이 네트워크가 척도없는 네트워크이면서 좁은 세상 네트워크임을, 연결정도 및 매개중심성의 분포가 멱함수 분포를 따르고 있음을 보이고 있다. 이런 분포의 의미는 허브공항이 존재함을 입증해 준다. Fremont[7]은 세계적 선사인 Maersk사를 기반으로 항만과 항만(port-to-port)의 네트워크와 거점 과 지점(port & spoke) 네트워크를 연구하였다. Bagler [3]는 항공기에 의해 연결하는 인도국내 공항네트워크의 연결정도 분포가 멱함수 법칙을 따르고 있음을, 평균 최단 경로 길이와 군집계수에 의해 좁은 세상 네트워크임을 보였다. 또한 연결정도가 8이상인 인도 국내공항은 높은 연결정도를 갖는 노드는 낮은 연결정도를 갖는 대다수의 이웃노드와 연결되고 있는 속성인 부조화 혼합(disassortative mixing)의 속성이 있음을 밝혔다. 이는 낮은 연결정도를 가지는 국내 공항과 연결된 허브공항의 존재를 나타낸다. Xu & Harris [15]는 노드를 도시로, 링크를 도시간 항공연결로 하는 방향과 평균승객량, 직항거리, 평균 편도운임을 가중치로 하는 미국 국내 도시간 승객 항공운송 네트워크를 구축하여, 부조화 혼합(disassortative mixing)과 부익부 빈익빈(rich-club phenomenon) 속성을 갖는 좁은 세상 네트워크임을 밝혔다. 이는 높은 연결정도를 갖는 도시(허브 도시)들은 높은 교통량을 형성하고 있고 높은 연결정도를 갖는 도시는 많은 낮은 연결정도를 갖는 도시와 연결하고 있음을 의미한다. Hu와 Zhu[10]는 해운선사들의 항로를 기반으로 항만간 해운 운송네트워크를 구축하여, 이 네트워크가 멱함수 법칙을 따르는 좁은 세상 네트워크(small-world network)임을 찾아냈다. 또한 중심성 지표들-연결정도, 근접, 매개 중심성-간 강한 상관관계가 있음을 밝혔고, 항만 네트워크는 다른 운송 네트워크와 같이 계층형 구조와 부익

부 빈익빈(부의 불평등 현상) 현상이 있음을 제시하고 있다. Ducruet과 Notteboom [6]은 직접 기항에 의한 선박 운항을 기반으로 항만을 노드(node)로 하고, 선박 이동 경로를 연결(edge)로 하는 글로벌 항만 네트워크를 구축하였다.

본 연구는 중심성 지표 분석을 통해 글로벌 항만네트워크에서 항만의 견고성(robustness) 수준을 나타내는 상대적 위치를 분석하였다. 또한 대륙간 항만네트워크 분석을 통해 항만 네트워크는 항공 네트워크와는 달리 대륙간 강한 연결의 현격한 결여가 있음을 발견하였다. Hu와 Zhu[10]는 항공네트워크의 위상과 집중도를 분석하였다. 이들은 시간에 따른 네트워크의 변화를 보여주고 있다. 오성열과 박용화[1]은 아시아 내 6개 국가의 공항 네트워크를 대상으로 네트워크의 밀도와 거리, 집중도 등의 지표를 사용하여 분석하였다. Park, S. [13]는 2006년부터 2010년 동안 각 년도에 운행되었던 전 세계 항공노선 자료를 이용하여 시간 변화에 따른 항공네트워크 구조 변화에 대해 분석하였다. 네트워크 구조분석은 중심성 지표와 집중도 지표를 사용하여 분석하였다.

최근의 항만과 항공의 네트워크 구조가 미치는 영향에 대한 연구는 Ducruet, C. [6]와 Wang, et al. [14]에서 찾아 볼 수 있다. Ducruet, C. [6]은 항만간 선사 이동 자료를 기반으로 항만네트워크를 구축하고 SNA 관점에서 네트워크 지표를 분석하여 항만의 위치를 제시하였다. 항만네트워크의 위치를 알려주는 연결정도 및 중심성 지표와 항만 물동량 간 상관관계를 비교하였다. Wang, et al. [14]은 중국 공항 네트워크를 통해 개별 도시의 네트워크 구조와 노드 중심성 연구를 통해, 누적 연결정도 분포는 지수함수를 따르고, 평균 경로길이와 군집 계수에 의해 좁은 세상 네트워크를 따르고 있음을 보이고 있다. 네트워크의 연결정도, 근접, 매개중심성은 항공승객수, 도시인구, 지역총생산과 높은 상관관계가 있음을 밝혀냈다.

본 연구는 지금까지 검토한 항만 및 항공 네트워크

분석을 기반으로 한국, 중국, 일본, 대만 국적선사들의 물동량 이동을 기반으로 항만네트워크를 구축하고 SNA 지표에 의해 4개국 항만네트워크를 비교한다.

III. 사회 네트워크 분석

사회 네트워크는 개인이나 조직이 친구관계, 거래 관계, 공동 소속관계 등과 같은 사회적 관계에 의해 형성된 사회구조이다. 이 네트워크는 행위자(actor) 혹은 노드(node)와 관계(tie) 혹은 링크(link)에 의해 표현된다. 이런 네트워크의 종류는 일반적으로 많이 연구되어지고 있는 것으로 기술 네트워크 (technological networks), 사회 네트워크 (social networks), 정보 네트워크 (information networks), 그리고 생태 네트워크 (biological networks)로 분류된다 [12]. 기술 네트워크라 함은 지난 세기 동안 가장 빠르게 성장한 물리적 하부구조 네트워크를 말한다. 여기에는 인터넷네트워크, 전화네트워크, 수송네트워크 등이 포함된다. 사회 네트워크는 노드가 사람이나 사람의 집단을, 링크가 우정과 같은 사람들 간 상호 작용의 형태를 갖는 네트워크이다. 이런 종류의 네트워크는 자아중심네트워크 (ego-centered networks), 관계중심네트워크 (affiliation networks) 등이 있다. 정보네트워크는 웹 (web)을 통하여 만들어진 네트워크이다. 일부 정보네트워크는 사회네트워크의 특징도 가지고 있다. 이런 네트워크의 종류는 e-mail과 같은 통신 네트워크, 페이스북이나 트위터와 같은 사회네트워킹 사이트, 블러그나 온라인 저널의 네트워크 등이다. 인용네트워크, 추천네트워크, 키워드 색인 등도 이 정보 네트워크에 속한다고 할 수 있다. 마지막으로 생태네트워크는 생물학적 요소들간 상호작용에 의해 표현되는 네트워크라 할 수 있다. 이런 네트워크의 특징은 끊임없이 진화하고 자기 조직화가 일어나는 역동성, 네트워크 내에 공통의 경험과 관심사에 의해 형성되는 군집화, 그

리고 네트워크 내에 소수 핵심세력이 존재하여 응집력 있는 행동을 유발하는 중심성의 특징을 가지고 있다.

사회 네트워크는 관계적 속성(relational properties)과 구조적 속성(structural properties)에 중점을 두고 연구되어 왔다. 이러한 본원적인 지표들은 사회 연구의 다양한 추세에서 SNA에 있는 특성을 묘사하기 위해 사용된다. 관계적 속성은 네트워크 구성원(노드)간 관계의 형태나 내용에 중점을 둔다. 네트워크의 관계적 속성은 두 측면 즉 거래 내용(transaction content)과 관계 본질로 이루어진다. 거래 내용은 네트워크에서 교환되는 모든 것을 말하고, 자원(물적 상품, 인적자원, 서비스), 정보(기술서, 아이디어, 사실 등), 영향력(권력, 위세, 충고 등), 사회적 지원(위로, 동기 부여 등)이 포함된다. 관계의 본질은 네트워크 구성원 간 관계의 특성을 말하고, 중요성 (관계의 중요도), 빈도(발생율), 형식성(공식적 인식), 표준화(교환 단위) 등이 포함된다.

네트워크의 구조적 속성은 세 분석 수준(자아중심의 개별 구성원), 하부 그룹, 전체 네트워크로 연구되고 있다. 개별 구성원(노드)의 연구는 네트워크의 다른 구성원들과 개별적인 연결의 차이를 기술하고, 연락 (liaison), 교량(bridge), 게이트키퍼(gatekeeper)와 같은 개별적인 역할을 정의한다. 이는 네트워크 노드 수준과 관련된 네트워크 지표로 중심성(centrality), 연결성(connectedness), 거리(distance)등에 의해 측정한다. 하부그룹은 전체 네트워크 내에 군집의 구조적 속성을 표현한다. 하부그룹은 그룹의 수, 그룹의 크기, 하부 그룹이 연결하고 있는 정도에 의해 측정한다. 전체 네트워크는 네트워크 모든 구성원들 간 전반적인 관계 유형을 나타내는 것으로 네트워크 크기, 밀도, 네트워크 계층, 중앙성(centralization, 네트워크에서 몇 개의 중심 노드에 연결 정도) 등에 의해 측정한다.

IV. 항만 네트워크 비교

4.1 데이터 및 네트워크 생성

본 연구에서 한국, 중국, 일본, 대만 국적 선사들의 물동량을 기반으로 항만간 네트워크를 생성하고 분석하여 이들 나라간 네트워크 분석 지표를 기반으로 비교하고자 한다. 선사 국적별 현황을 표에 정리하였다. 서비스 수 기준으로 중국이 100으로 가장 많고, 한국, 대만, 일본 순이다. 총 운항 선복량 순도 중국이 96,629 TEU로 가장 많고, 다음으로 한국, 대만, 일본 순이다. 사회 네트워크를 구축하기 위한 데이터는 Containerisation International Yearbook (2010)에서 4개국 국적 선사들의 항만간 물동량 이동을 수집하여, 항만을 노드로, 물동량 이동경로를 연결로 하는 사회 네트워크를 구축하였다.

선사들이 이용하는 항로의 특징을 보면, 미주항로의 경우 미주에서 아시아로 오는 항로에서 선사들은 주로 일본 항만을 제일 첫번째 콜(call)로 이용하는 비율이 높고, 아시아에서 미주 항으로 가는 항로에서는 부산항과 카오슝항을 마지막 콜로 이용하는 비율이 높았다. 구주항로의 경우에 부산항은 중간경로로 하는 비율이 높았다.

아시아 및 기타 항로의 경우, 선사들은 한국의 부산항, 광양항, 울산항을, 중국의 칭다오항, 상하이항, Ningbo항, 홍콩항, 세코우항을, 일본의 도쿄항, 요코하마항, 나고야항, 오사카항, 고베항 등을 주 기항 루트로 하고 있다. 부산항을 중심으로 한 북중국, 남중국, 일본 서안, 동남아, 러시아를 운항하는 네트워크가 형성되고 있음을 볼 수 있다. 중국과 일본 항로의 경우는 일본 동안의 고베항, 요코하마항 등 일본동안 일부 지역에 편중되고 있음도 볼 수 있다.

수집한 데이터를 기반으로 아시아 항만을 노드로, 선사들의 구간별 투입 선복량을 연결과 연결의 강도로 하는 사회 네트워크를 Netminer 4.0을 활용하여 <그림 1> 처럼 시각화 하였다. 연결의 강도는 편의상 10,000 TEU 미만을 '1'로, 10,000에서 20,000 TEU를 '2'로, 20,000에서 30,000 TEU를 '3'으로, 30,000에서 40,000 TEU를 '4'로, 40,000에서 50,000 TEU를 '5'로, 50,000 TEU 이상을 '6'으로 가중치를 부여하였다. <그림 1> 은 한국 국적선사들이 운항하는 항만네트워크를 보여주고 있다. <그림 1>에서 원은 항만을 나타내고, 그 크기는 영향력 정도를 의미한다. 선은 항만과 항만을 연결하는 항로를 의미하고 그 굵기는 연결강도인 가중치를 의미한다.

표 1. 선사 국적별 현황
Table. 1 National Shipping Co. Report

구분	서비스 수	백분율 (%)	누적 서비스 수	누적 백분율 (%)	평균값 (TEU)	최소값 (TEU)	최대값 (TEU)	총운항 선복량 (TEU)
한국	77	28	77	28	988.7	80	4,112	76,132
중국	100	36	177	65	966.2	134	4,152	96,629
일본	42	15	219	80	1,122	165	3,971	47,155
대만	55	20	274	100	1,213	338	4,639	66,735

출처) Containerisation International Yearbook 2010

연결이 되지 않은 고립된 항만들은 각 국적 선사들이 기항하지 않는 항만을 의미한다.

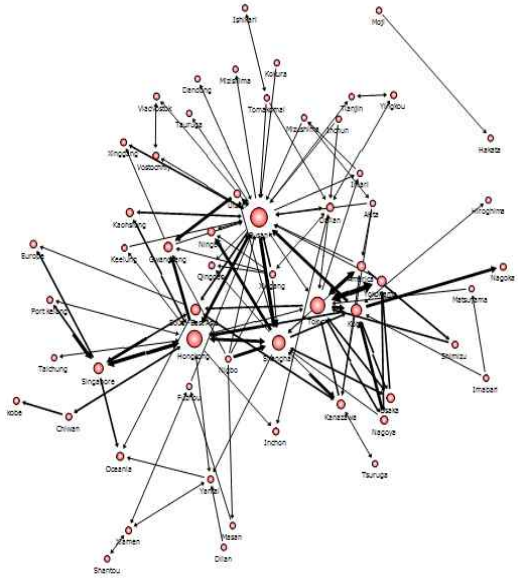


그림 1. 한국 국적선사들에 의한 아시아 항만네트워크
Fig 1. Asia Ports Network by Korea Shipping companies

4.2 항만 네트워크 분석 및 비교

4.2.1 항만 네트워크 일반적 특성 비교

먼저 <표 2> 는 일반적인 항만 네트워크의 특성의 비교를 보여주고 있다.

노드의 수가 가장 많은 나라는 한국이다. 한국 국적 선사들이 아시아 내 가장 많은 항만을 운영하고 있다고 볼 수 있다. 연결의 수는 한국과 중국이 비슷한 것으로 나타났다. 중국 국적선사들이 34개의 항만과 158개의 연결 수는 항만 간 중복된 연결이 많은 것으로 볼 수 있다. 중국 국적 선사들의 운행에 의한 항만 네트워크의 밀도, 평균연결정도, 군집계수가 각각 0.141, 4.647, 0.497로 가장 높은 것으로 나타났다. 중국 국적 선사에 의한 항만네트워크에서 항만들의 연결정도가

다른 네트워크보다 두 배 정도 높다. 이는 중복된 항로가 많음을 알 수 있다. 군집계수가 높다는 것은 가장 근접한 항만 간 항로가 가장 많다고 볼 수 있다. 항만의 군집 정도를 나타내는 군집계수와 노드와 노드 간 평균 길이인 평균 경로길이는 네트워크 모형의 특성을 결정해 준다[4].

표 2. 항만 네트워크의 일반적 특성 비교
Table 2. Comparison of Port Network Attributes

	중국	한국	대만	일본
노드의 수	34	57	36	29
연결의 수	158	157	77	65
밀도	0.141	0.049	0.061	0.08
평균연결정도	4.647	2.754	2.139	2.241
군집계수	0.497	0.472	0.223	0.271
평균경로길이	2.358	2.82	3.452	2.985

4.2.2 항만네트워크 중심성 비교

1) 연결정도 중심성

연결정도 중심성은 앞에서 언급한 바와 같이 한 노드가 다른 노드와 공유하고 있는 링크의 수로, 네트워크 내에서 노드의 중요성을 나타낸다[7].

노드 i 의 연결정도 중심성은 네트워크 내에서 노드의 연결성을 나타낸다. 노드 i 와 노드

j 간 직접 연결이 존재할 때 $a_{ij} = 1$, 존재하지 않을 때는 $a_{ij} = 0$ 으로 연결정도 중심성은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

네트워크가 방향성이 있을 경우, 연결정도 중심성은 내향 연결정도 중심성과 외향 연결정도 중심성으로 분리하여 측정할 수 있다.

표 3. 연결정도 중심성 비교
Table 3. Comparison of Degree Centrality

한국국적선사			중국국적선사			일본국적선사			대만국적선사		
항만명	내향	외향	항만명	내향	외향	항만명	내향	외향	항만명	내향	외향
Busan	0.714	0.643	Hongkong	1.485	1.273	Singapore	0.750	0.607	Kaohsiung	0.600	0.343
Hongkong	0.625	0.696	Shanghai	1.030	1.212	Tokyo	0.643	0.464	Taichung	0.514	0.514
Tokyo	0.607	0.554	Busan	0.788	0.697	Hong Kong	0.536	0.571	South-East Asia	0.457	0.571
Shanghai	0.464	0.446	Kaohsiung	0.727	0.697	South-East Asia	0.464	0.357	Keelung	0.429	0.571
Kobe	0.339	0.357	Keelung	0.606	0.515	Kaohsiung	0.429	0.250	Yokohama	0.400	0.286
South-East Asia	0.268	0.268	Singapore	0.515	0.455	Busan	0.393	0.321	Singapore	0.400	0.314
Singapore	0.250	0.304	Yokohama	0.515	0.515	Nagoya	0.393	0.000	Hong kong	0.314	0.000
Yokohama	0.214	0.196	Ningbo	0.485	0.455	Shanghai	0.357	0.286	Shanghai	0.257	0.486
America	0.196	0.214	Qingdao	0.485	0.576	America	0.321	0.321	Busan	0.229	0.286
Gwangyang	0.196	0.036	Kobe	0.455	0.303	Yokohama	0.321	0.571	Hongkong	0.229	0.514

내향 연결정도 중심성은 노드로 향하고 있는 링크의 수로, 외향 연결정도 중심성은 노드가 다른 노드로 향하고 있는 링크의 수에 의해 측정된다.

연결정도 중심성에서 내향 연결정도는 항만으로의 귀향을, 외향 연결정도는 항만에서의 출항을 의미한다고 볼 수 있다. <표 3>은 각 국적선사에 의해 형성된 항만네트워크의 내향 연결정도 중심성의 상위 10개 항만을 보여주고 있다. 한국 국적 선사는 부산항으로, 중국 국적선사들은 홍콩항으로, 일본 국적선사들은 싱가포르항으로, 그리고 대만 국적선사들은 카오슝항으로 가장 많은 물동량을 가지고 귀항하는 것을 볼 수 있다. 반대로 한국국적 선사는 홍콩항으로, 중국 국적선사들도 홍콩항으로, 일본 국적선사들은 싱가포르항으로, 그리고 대만 국적선사들은 동남아시아 항들로 가장 많은 물동량을 가지고 출항하는 것으로 볼 수 있다. 외향 연결정도를 볼 때 홍콩항의 물동량의 이동이 다른 항만에 비해 많음을 알 수 있다.

4.2.2 근접중심성

근접중심성은 노드가 가장 짧은 경로로 모든 다른 노드들과 근접해있는 정도로 측정한다. 이 근접 중심성은 주어진 네트워크에서 노드의 접근성을 반영한다고 볼 수 있다.

노드 i 의 근접중심성은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_c(i) = \frac{n-1}{\sum_{v_j \in V, i \neq j} d_{ij}}$$

다시 말해서, 노드의 근접성은 주어진 네트워크에서 노드 i 에서 모든 다른 노드에 이르는 가장 짧은 평균거리의 역이다. 노드 i 의 근접 중심성의 값이 크면 클수록 다른 노드에 도달하는데 가장 빠르다고 할 수 있다. 이 중심성은 사회 네트워크에서 노드의 자치성 혹은 독립성과 관련이 있다[7]. 높은 근접 중심성을 갖는 노드는 다른 노드의 영향력과 독립적 행동에 대한 높은 역량과는 무관하며, 다른 노드들에 덜 의존적이다. 근접중심성은 선사들이 도착하는데 가장 빠른 항만을 의미하는 것으로 볼 수 있다.

귀항지로 가장 빠른 항만으로 한국 국적선사들은 부산항, 중국 국적선사들은 상하이항, 일본 국적선사들은 홍콩항, 그리고 대만 국적선사들은 킬룽항으로 각각 보여주고 있다. 반대로 가장 빠른 출항지로는 한국 국적선사들은 부산항, 중국 국적선사들은 상하이항과 홍콩항, 일본 국적선사들은 홍콩항, 그리고 대만 국적선사들은 상하이항으로 각각 나타났다.

표. 4. 근접중심성 비교
Table. 4 Comparison of Closeness Centrality

한국국적선사			중국국적선사			일본국적선사			대만국적선사		
항만명	내항	외항	항만명	내항	외항	항만명	내항	외항	항만명	내항	외항
Busan	0.487	0.430	Shanghai	0.560	0.571	Hong Kong	0.416	0.348	Keelung	0.316	0.247
Tokyo	0.412	0.416	Hongkong	0.549	0.571	Shanghai	0.409	0.322	Kaohsiung	0.311	0.254
Hongkong	0.412	0.425	Busan	0.502	0.477	Singapore	0.383	0.300	Hong kong	0.308	0.000
Shanghai	0.384	0.377	Kaohsiung	0.485	0.477	Tokyo	0.366	0.293	South-East	0.293	0.339
South-East	0.364	0.306	Ningbo	0.462	0.455	Busan	0.360	0.280	Taichung	0.289	0.245
Dalian	0.353	0.323	Tokyo	0.462	0.470	Nagoya	0.357	0.000	Osaka	0.271	0.216
Ningbo	0.332	0.000	Kobe	0.462	0.394	Xingang	0.350	0.125	Yokohama	0.267	0.339
Qingdao	0.332	0.000	Keelung	0.462	0.502	America	0.340	0.293	Tokyo	0.260	0.267
Kobe	0.329	0.358	Yantai	0.455	0.477	South-East	0.340	0.280	Singapore	0.260	0.250
Kaohsiung	0.329	0.323	Osaka	0.448	0.455	Kaohsiung	0.340	0.234	Moji	0.260	0.221

근접중심성을 볼 때 상하이와 홍콩항이 선사들의 귀항과 출항하기에 가장 빠른 것으로 물동량뿐만 아니라 빠른 서비스를 할 수 있는 항만으로 판단된다 (<표 4> 참조).

다른 노드들 사이에서 가장 짧은 많은 경로상에 있는 노드들은 그렇지 않은 노드보다 높은 매개중심성을 가지고 있다.

4.2.3 매개중심성

매개중심성은 네트워크에서 특정 노드가 다른 노드들 사이에 놓여있는 정도를 측정한다. 노드가 많은 노드 쌍(node-pair)를 연결하는 가장 짧은 경로상에 있으면 좀더 강력해지는 경향이 있다. 이 노드는 이 노드 쌍들 사이에서 연결을 매개하거나 중재하는 위치에 있을 수 있다. 노드 i 의 매개 중심성, $C_B(i)$ 은 노드를 지나는 가장 짧은 모든 경로의 비율로 나타난다. 이는 전이성(transitivity)을 반영한다고 할 수 있다. σ_{kj} 가 노드 v_k 와 v_j 간의 가장 짧은 모든 경로의 합이고, $\sigma_{kj}(i)$ 는 노드 v_k 를 지나는 가장 짧은 경로의 수라고 할 때 근접중심성은 다음 식과 같이 표현된다.

$$C_B(i) = \sum_{k \neq i \neq j \in N} \frac{\sigma_{kj}(i)}{\sigma_{kj}}$$

이 매개중심성 지표는 중재자로서의 노드 역할에 중점을 두고 있다. 이 지표는 보통 네트워크에서 노드의 잠재적 통제 혹은 영향력을 의미한다. 높은 매개중심성을 갖는 노드는 다른 노드들간 상호작용을 촉진시키거나 억제시킬 수 있는 역량을 가지고 있다고 볼 수 있다[7].

매개중심성은 선사들에 의해 항만과 항만을 연결시켜 주는 것으로 볼 수 있다. 다시 말해서 매개 중심성이 높을수록 환적 물동량을 높일 수 있는 항으로 볼 수 있다. <표 5>와 같이 한국 국적선사들은 부산항에서, 중국과 일본 국적선사들은 상하이항에서, 대만 국적선사들은 대부분 동남아시아 항만들에서 물동량을 항만과 항만간 매개해 주는 역할을 가장 많이 하고 있음을 알 수 있다.

표 5. 매개 중심성 비교
Table 5. Comparison of Betweenness Centrality

한국국적선사		중국국적선사		일본국적선사		대만국적선사	
항만명	매개	항만명	매개	항만명	매개	항만명	매개
Busan	0.311	Shanghai	0.232	Shanghai	0.249	South-East	0.257
Hongkong	0.209	Hongkong	0.217	Hong Kong	0.215	Shanghai	0.189
Tokyo	0.130	Busan	0.130	Singapore	0.140	Hongkong	0.151
Shanghai	0.082	Keelung	0.117	Tokyo	0.113	Yokohama	0.142
Yantai	0.067	Xiamen	0.088	Busan	0.093	Singapore	0.120
Kobe	0.060	Singapore	0.085	Xiamen	0.086	Busan	0.115
Dalian	0.059	Kaohsiung	0.064	South-East	0.080	Keelung	0.098
Xiamen	0.042	Dalian	0.055	Dalian	0.075	Kaohsiung	0.089
South-East	0.039	Yantai	0.041	Qingdao	0.066	Tokyo	0.074
Kanazawa	0.033	Tokyo	0.033	Yokohama	0.060	Nagoya	0.068

4.2.4 아이겐벡터 중심성

아이겐벡터 중심성은 네트워크에서 노드의 중요성을 측정한다. 이 중심성은 높은 점수를 갖는 노드에 대한 연결이 낮은 점수를 갖는 노드에 대한 연결보다 노드의 점수에 더 많은 공헌을 한다는 원칙을 기반으로 네트워크의 모든 노드들에 상대적 점수를 부여하는

방법이다. x_i 를 노드 i 의 점수, $M(i)$

를 노드 i 와 연결된 모든 노드들의 집합, λ

를 상수, N 을 모든 노드들의 집합이라고 할 때 아이겐 벡터 중심성은 다음과 같이 표현된다.

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

항만 네트워크에서 아이겐벡터 중심성은 이웃하고 있는 항만의 연결정도를 고려하여 항만의 중요도 혹은 영향력을 평가하는 지표이다. <표 6>에 의하면, 국적선사들의 물동량에 의해 가장 높은 영향력을 가진 항만으로 한국 국적선사들에 의한 네트워크에서는 부산항이, 중국 국적선사와 일본 국적선사들에 의한 네트워크에서는 홍콩항이, 그리고 대만 국적선사들에 의한 네트워크에서는 카오슝항이 각각 가장 높은 영향

력을 행사하고 있음을 볼 수 있다. 높은 영향력이 있는 항만들과의 제휴나 협력은 항만의 물동량을 높일 수 있는 기회를 찾을 수 있을 것으로 판단된다.

표 6. 아이겐벡터 중심성 비교
Table 6. Comparison of Eigenvector Centrality

한국국적선사		중국국적선사		일본국적선사		대만국적선사	
항만명	아이겐벡터	항만명	아이겐벡터	항만명	아이겐벡터	항만명	아이겐벡터
Busan	0.402	Hongkong	0.476	Hong Kong	0.360	Kaohsiung	0.426
Shanghai	0.372	Shanghai	0.397	Tokyo	0.351	Taichung	0.382
Hongkong	0.367	Yantai	0.304	Singapore	0.337	Hongkong	0.381
Tokyo	0.350	Kaohsiung	0.280	Yokohama	0.319	Keelung	0.362
Kobe	0.321	Busan	0.248	Kaohsiung	0.310	South-East	0.313
South-East	0.228	Ningbo	0.243	Busan	0.276	Shanghai	0.205
America	0.182	Keelung	0.207	South-East	0.253	Singapore	0.188
Yokohama	0.178	America	0.178	Kobe	0.250	Yokohama	0.182
Osaka	0.168	Xiamen	0.176	America	0.244	Tokyo	0.166
Kanazawa	0.167	Qingdao	0.176	keelung	0.179	Busan	0.148

4.3 구조적 공백과 네트워크 응집성

4.3.1 구조적 공백

구조적 공백은 일반적으로 조밀성이 낮은 자아중심 네트워크와 낮은 평균 연결강도를 갖는 노드들에 의해 만들어지고 많은 다른 노드들과 연결하는 경향이 있다. Bagler[3]는 구조적 공백을 두 연결간 중복이 없는 관계로 정의하고 있다. 구조적 공백은 본질적으로 사회 구조에서는 텅 빈 공간이다. 일반적으로 알려져 있는 공백(hole)은 다른 노드와 네트워크 연결이 없는 곳을 말한다. 이 공백은 두 노드가 연결되지 않은, 전자회로의 절연체(insulator)와 같은 완충재로 묘사할 수 있다. 이 공백으로 두 중복이 없는 연결은 중복된 연결보다 더 추가적인 혜택을 제공해 주고 있다 [3]. 따라서 구조적 공백과 많이 연결하면 할수록 네트워크로부터 더 풍부한 정보혜택을 얻을 수 있다. 구조적 공백은 네트워크의 효과적 크기와 효율성에 의해 측정된다. 우선 효과 크기는 한 행위자의 네트워크에서 해

당 행위자가 가지고 있는 노드 수에서 상대방 노드가 가지고 있는 연결 정도의 평균값을 제외한 값으로 측정된다. 효율성은 효과크기를 노드 수로 나눈 값으로 측정된다. 따라서 효율성이 높은 노드는 해당 노드가 연결하고 있는 각 노드들에 대한 투자에 비해 산출되는 효과가 높다는 의미를 나타낸다.

표 7. 구조적 공백 비교
Table 7. Comparison of Structural Hole(Effective Size)

한국국적선사		중국국적선사		일본국적선사		대만국적선사	
항만명	효과크기	항만명	효과크기	항만명	효과크기	항만명	효과크기
Busan	27.985	Shanghai	14.727	Hong Kong	8.891	South-East	9.167
Hongkong	12.695	Hongkong	13.274	Singapore	8.829	Shanghai	8.494
Shanghai	11.848	Keelung	10.568	Shanghai	8.807	Hongkong	8.035
Tokyo	11.831	Busan	10.356	Busan	6.622	Keelung	7.847
Kobe	7.265	Xiamen	6.893	Kobe	5.918	Taichung	5.580
Dalian	6.519	Osaka	6.268	Tokyo	5.705	Tokyo	5.522
Xingang	5.759	Kobe	5.972	South-East	5.517	Yokohama	5.465
South-East	5.454	Dalian	5.731	Yokohama	5.484	Singapore	5.156
Kanazawa	5.172	Kaohsiung	5.543	America	4.096	Moji	4.680
Gwangyang	4.938	Yokohama	4.811	Kaohsiung	3.511	Busan	4.454

4.3.2 네트워크 응집성

네트워크 응집구조는 조밀한 자아중심 네트워크를 갖는 노드에 의해 나타난다. 이 노드는 소수의 다른 노드들과 여러번 연결하는 경향이 있다. Coleman [5]에 의하면 응집은 공동체 내에서 발달한다. 특히 책임공유와 높은 신뢰관계에 의해 특징지어지는 공동체에서 응집을 찾아 볼 수 있다. Coleman[5]은 사회적 관계는 의무, 기대 및 신뢰설정, 정보 채널 구축, 규범(norm) 설정 같은 과정을 통해 유용한 자본 자원의 원천을 만든다고 주장하고 있다. Coleman[5]은 또 사회적 자본의 창출을 의도하지 않은 과정으로 보고 있다. 응집은 네트워크의 제약에 의해 측정된다. 네트워크 제약은 노드가 가지고 있는 연결의 중복 정도에 의해 측정하기 때문에, 네트워크 크기, 밀도, 계층에 따라 다르다.

소규모 네트워크(크기), 강한 연결 네트워크(밀도), 중앙 집중의 계층형 네트워크 일수록 네트워크 제약은 높다. 높은 네트워크 제약은 높은 네트워크 결집을 가지고 구조적 공백은 적다.

노드 i 의 네트워크 제약을 C_i , 노드 j 에 노드 i 의 종속성을 C_{ij} 라 할 때 네트워크 제약성은 다음과 같이 측정한다.

$$C_i = \sum_j C_{ij} = \sum_j (P_{ij} + \sum_q P_{iq} P_{qj})^2, i \neq q \neq j$$

여기서 P_{ij} 는 노드 i 의 네트워크 시간과 노드 j 와의 연결을 위해 소비되는 에너지의 비율이다.

국적선사들에 의한 항만네트워크에서 네트워크 응집성은 국적선사들이 항만과 강한 신뢰관계를 기반으로 귀항과 출항하는 것으로 볼 수 있다. <표 8>에 의하면, 한국 국적선사들은 단둥항, 다련항, 산토우 등의 항만들과, 중국 국적선사들은 요카이, 니가다 등의 항만들과, 일본 국적선사들은 쉐미츄, 카와사키 등의 항만들과, 그리고 대만 국적선사들은 아이카리, 쉐코우 등의 항만들과 투터운 신뢰관계에 의한 운항하고 있음을 알 수 있다. 이는 구조적 공백인 효과적 크기와 반대되는 개념이다. 항만 개별적으로는 높은 물동량 처리를 하고 있지는 못하지만, 이들 항만들 간 강한 결집성으로 인해 이들 항만들 간의 높은 신뢰를 기반으로 한 협력은 높은 물동량 처리를 이끌어 낼 수 있는 역량을 가지고 있다고 볼 수 있다.

표 8. 네트워크 응집성 비교
Table 8. Comparison of Network Closure

한국국적선사		중국국적선사		일본국적선사		대만국적선사	
항만명	네트워크계약성	항만명	네트워크계약성	항만명	네트워크계약성	항만명	네트워크계약성
Dandong	1.000	Yokkachi	1.000	Shimizu	1.000	Yahkari	1.000
Dian	1.000	Ningta	1.000	Kawasaki	1.000	Shekou	1.000
Shantou	1.000	Oceania	0.866	Shibushi	1.000	Dalian	1.000
Kobe	1.000	Taichung	0.727	Keelung	1.000	Osaka	1.000
Taichung	1.000	Kawasaki	0.724	Tanjung Pe	1.000	Iwakuni	1.000
Tauraga	1.000	Shekou	0.691	Chivan	1.000	Port Kelang	1.000
Mizushima	1.000	Port Kelang	0.685	Yokkachi	1.000	Daling	1.000
Yahkari	1.000	Yingkou	0.658	Port Kelang	0.662	Port Kelang	0.909
Tsuruga	1.000	South-East	0.633	Shekou	0.640	Tanjung pe	0.899
Kokura	1.000	Chivan	0.628	Oceania	0.607	Hakata	0.680

V. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 국적선사들의 물동량 이동에 의한 항만 네트워크를 구축하고 분석하여 각 SNA 지표들 중 중심성 지표 (연결정도, 근접, 매개, 아이겐벡터)와 구조적 공백 (효과적 크기) 및 네트워크 응집성 지표(네트워크 제약성)에 의해 한국, 중국, 일본, 대만 국적선사에 의한 항만네트워크를 비교하였다.

연결정도 중심성에서 대체적으로 홍콩항으로 들어 오고 나가는 물동량 이동이 다른 항만에 비해 많음을 알 수 있다. 근접중심성을 볼 때 상하이와 홍콩항이 선사들의 귀항과 출항하기에 가장 빠른 항으로 볼 수 있었다. 매개중심성은 각 국적선사들에 의한 항만네트워크에서 한국 국적선사들은 부산항에서, 중국 국적선사와 일본 국적선사들은 상하이항에서, 대만 국적선사들은 대부분 동남아시아 항만들에서 높은 수치를 보이고 있었다. 이는 물동량을 항만과 항만간 매개해주는 역할을 가장 많이 하고 있다고 볼 수 있다. 아이겐벡터중심성으로 부터, 국적선사들의 물동량에 의해 가장 높은 영향력을 가진 항으로 한국 국적선사들에 의한 네트워크에서는 부산항이, 중국 국적선사와 일

본 국적선사들에 의한 네트워크에서는 홍콩항이, 그리고 대만 국적 선사들에 의한 네트워크에서는 카오슝항이 각각 가장 높은 영향력을 행사하고 있음을 알 수 있었다. 마지막으로 각 국적선사들에 의한 항만네트워크 효과적 크기를 볼 때, 한국 국적선사들은 부산항을, 중국 국적선사들은 상하이, 일본 국적 선사들은 홍콩항을, 대만 국적선사들은 동남아시아 항만들을 거점항만으로 하고 있음을 알 수 있었다.

SNA 지표들의 측정으로 항만의 역할과 중요도를 파악할 수는 있었지만 사회학적 해석에서 벗어나지 못하였다. 따라서 향후에 항만 네트워크 구조의 특성이 무엇을 의미하는 지, 즉 항만네트워크 구조가 우리에게 무엇을 말해주고 있고, 네트워크 구조가 어떻게 이용될 수 있는지에 대한 연구가 있어야 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 오성열과 박용화, *아시아 주요국가의 공항네트워크 구조 및 집중도 분석*, 한국항공경영학회지 제8권 제2호, pp. 43-58, 2010.
- [2] Amaral, L. A. N., Scala, A., Barthélemy, M., Stanley, H. E., "Classes of small-world networks", *PNAS*, 97, 21, pp. 11149-11152, 2000.
- [3] Bagler, Ganesh, "Analysis of Airport Network of India as Complex Weighted Network", *Physica A*, 387, pp. 2972-2980, 2008.
- [4] Chi, L.P., Wang, R., Su, H., Xu, X.P., Zhao, J.S., Li, W., Cai, X., "Structural properties of US flight network", *Chin. Phys. Lett.* 20, 8, pp. 1393-1396, 2003.
- [5] Coleman, J.S., "Social Capital in the Creation of Human Capital", *American Journal of Sociology*, Vol. 94, pp. S95-S120, 1988.
- [6] Ducruet, C., Lee, S.W., Ng, K.Y.A., "Centrality and vulnerability in liner shipping networks", *Maritime Policy and Mgt*, Vol. 37, No. 1, pp. 17-36, 2010.
- [7] Fremont, A., "Global Maritime Networks; The case of

Maersk Journal of Transport Geography, Vol. 15, No. 6, pp. 431-442, 2007.

- [8] Guimerà, R., Amaral, L. A. N., "Modeling the world-wide airport network", *Eur.Phys.J.B*,38,pp.381-385, 2004.
- [9] Guida, M., Maria, F., "Topology of the Italian airport network", *Chaos, Solutions and Fractals*,31,pp.527-536, 2007.
- [10] Hu, Y., Zhu, D., "Empirical analysis of the worldwide maritime transportation network", *Physica A*,Vol. 88,No.10,pp.2061-2071, 2009.
- [11] Li, W., Cai, X., "Statistical analysis of airport network of China", *Physical Review*, V69, 2004.
- [12] Newman, M. E. J., , *Network An Introduction*, OXFORD, 2011.
- [13] Park, S., *Analysis of Configuration of the Airline Networks* 2006-2010, POSRI 경영경제연구, 제11권 제2호, pp. 87-124, 2011.
- [14] Wang, j., Mo, H., Wang, F.,and Jin, F., "Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport network", *Journal of Transport Geography*, 19, 712 - 721, 2011.
- [15] Xu, Z. & Harris, R., *Exploring the structure of the U.S. intercity passenger air transportation network: a weighted complex network approach*, 87-102, 2008.



김삼문 (Sam-Moon Kim)

1990년 동명대 경영정보 (학사)
 2011년 동의대 경영정보 (석사)
 1996년~현재 : (주) SK 브로드밴드
 2011년~현재 동의대학교 경영정보학과 박사과정
 ※ 관심분야: DEA, 데이터마이닝, CRM, SCM

홍한국(Han-Kuk Hong)



1988년 고려대학교 졸업(경제학사)
 1990년 KAIST 산업공학과 (석사)
 2000년 KAIST 경영공학과 (박사)
 1990년~1996년 : 삼성경제연구소 선임 연구원
 1997년~1998년 : 삼성화재 과장
 2000년~현재 동의대학교 경영정보학과 교수
 ※ 관심분야: DEA, 데이터마이닝, CRM, SCM

저자소개



임병학(Leem, Byunghak)

1987년 고려대 산업공학 (학사)
 1996년 KAIST 경영공학 (석사)
 2002년 University of Texas at Arlington (공학박사)
 1989년 3월 ~ 1997년 : 삼성 전자 과장
 2002년 ~ 현재 부산외국어대학교 경영학부 교수
 ※ 관심분야: 생산관리, 공급망관리, 성과관리