

아시아 주요공항의 저비용항공사 네트워크 분석

배현준 · 박용화 · 김영인
인하대학교 물류전문대학원

Analyzing the LCC Network at Asian Major Airports

BAE, Hyeon Jun · PARK, Yonghwa* · KIM, Young In

Graduate School of Logistics, Inha University, Inchoen 22212, Korea

*Corresponding author: air@inha.ac.kr

Abstract

This study analyzed the network of low cost carriers (LCCs) to investigate the structural characteristics of airport networks. 71 LCCs in Asian major airports from January 2010 to January 2016 were queried from the SRS Analyzer Schedule Database of IATA's Airport Intelligence Service, and analyzed international routes excluding domestic flights. We analyzed the network connection mechanism focusing on Incheon International Airport, Hong Kong, Singapore, Narita, Kansai, Pudong, Kaohsiung, Gimpo and Jeju airports as well as structural changes in the LCC network using four centrality analysis concepts. The outcomes showed that the LCC network is formed in these airports and the density of connectivity to other airports increased. In recent years, LCC has launched LCCs-Alliances and would be considered to operate a hub-and-spoke network.

Keywords: airport, centrality, hub-and-spoke, low cost carrier, network

초록

본 연구는 네트워크 연결망 관점에서 저비용항공사에 따른 공항 네트워크의 구조적 특성을 파악하고자 진행하였다. IATA의 Airport Intelligence Service의 SRS Analyser Schedule Database를 이용하여 2010년 1월부터 2016년 1월까지 아시아 주요공항을 운항하는 71개 저비용항공사(LCC)를 선정하여 국내선을 제외한 국제선 노선을 대상으로 하여 네트워크 분석을 실시하였다. 본 논문에서는 인천국제공항을 비롯하여 홍콩, 싱가포르, 나리타, 간사이, 푸둥, 가오슝, 김포, 제주공항 등을 중심으로 네트워크 연결 메커니즘을 파악하고, 4가지 중심성 분석을 통해 LCC 네트워크의 구조적 변화를 분석하였다. 분석결과에 따르면 이들 공항에서는 LCC 네트워크가 형성되어 있고 타 공항과의 연결성 밀도가 높아진 것으로 나타났다. 최근 저비용항공사들도 기존 항공사들의 동맹체(Alliance)와 같은 형태의 LCC-Alliance를 출범함에 따라 허브-앤-스포크 네트워크를 지원하는 운영방식을 확대할 것으로 보인다.

주요어: 아시아 주요공항, 중심성, 허브 앤 스포크, 저비용항공사, 공항 네트워크 구조

J. Korean Soc. Transp.
Vol.35, No.3, pp.247-259, June 2017
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.3.247>
pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 15 May 2017

Revised: 20 June 2017

Accepted: 27 June 2017

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

항공운송에서 공항은 여객이나 화물의 첫 관문이자 공급사슬 상 모든 재화의 흐름을 교차시키는 노드(Node)이다. 항공사의 활동은 주로 공항에서 이루어지며, 하나의 공항(Origin airport)에서 다른 공항(Destination airport)을 이어주는 링크(Link)의 역할을 수행하게 된다. 이러한 관점에서 공항의 주요 고객은 항공사가 되는 것이며, 항공사의 노선 구성에 따라 공항 네트워크(Network)가 형성되는 것이다. 현재 아시아-태평양 지역을 중심으로 항공수요의 지속적인 증가 현상이 나타나며, 이 지역에 속해 있는 주요 공항들은 보다 다양하고 밀도 높은 네트워크를 구축하여 이용객들의 만족도를 높임으로써 공항경쟁력을 높이려는 다양한 노력들을 해왔다. 따라서 공항네트워크 구축은 해당 공항의 경쟁력을 나타내는 매우 중요한 지표로 인식되었다.

아시아 지역에서 저비용항공사(LCC: low cost carrier)가 발달함으로 이 지역 공항들의 네트워크 구조에 변화가 일어나기 시작하였다. 왜냐하면 전통적인 저비용항공사들은 소형항공기(narrow-body fleet)를 중심으로 서비스를 제공하였으나, 최근에는 점차 중장거리 노선으로 네트워크를 확장하면서 중형항공기를 투입하는 경우가 늘어나기 시작했기 때문이다. 이를 설명하듯, 대형항공사들의 전유물로 여겨왔던 항공사간 전략적 제휴가 LCC 시장에서도 나타나기 시작하였다.

아시아·태평양지역의 대표 LCC인 제주항공, 세부퍼시픽, 녹에어, 녹스쿠트, 스쿠트, 타이거에어 싱가포르, 타이거에어 오스트레일리아, 바닐라에어 등 8개 항공사들이 'Value Alliance'의 회원사로 참여하면서 2017년부터 예약시스템 통합 및 노선연계를 실시하고 있다. 2016년 1월에는 HK express, Lucky Air, Urumqi Air, 그리고 West Air는 세계 최초로 전략적 제휴를 맺어 동남아시아를 시작으로 2020년까지 항공기 보유대수를 2,018대로 확대함과 동시에 1일 운항편수 298편, 85개 지역 168개 도시로 네트워크를 확장할 계획임을 밝힌바 있다. 이에 따라, 주요 허브공항이라 할지라도 향후 공항 경쟁력 제고 전략을 수립하기 위해서는 저비용항공사의 네트워크 특성을 주요 요소로 고려해야만 할 것이다.

본 연구의 목적은 첫째로 네트워크 연결망 관점에서 저비용항공사에 따른 공항 네트워크의 구조적 특성을 파악하는 것이며, 둘째로 주요공항을 대상으로 LCC 네트워크의 구조적 변화를 분석하는 것이다. 또한, 4가지 네트워크 중심성 결과를 토대로 공항 경쟁력을 평가하고자 한다.

본 논문의 수행 과정은 첫째, 네트워크 연결망 관점에서 저비용항공사에 따른 공항 네트워크의 구조적 특성을 밝히기 위해 아시아 주요공항에서 서비스를 제공하고 있는 71개 LCC 항공사를 선정하였다. 네트워크 분석을 위한 자료의 대상기간은 2010년 1월부터 2016년 1월까지로서 월간 61개(19,436개) 스케줄 자료를 확보하였다. 둘째, 19,436개 자료 중 아시아 주요공항을 운항하는 71개 LCC 항공사들의 국내선을 제외한 국제선 노선자료로 가공을 하였다. 셋째, 71개 LCC 항공사들의 기종점 운항횟수(O-D flight frequency)를 각 노선마다 가중치를 부과하여 단일모드 네트워크(single mode network)로 분석하였다. 마지막으로 네트워크 과학에 활용되는 범용 소프트웨어인 NetMiner 4.0을 이용하여 네트워크 도식화(visualization)와 중심성(centrality) 분석을 실행하였다.

이론적 배경 및 선행연구

1. 네트워크 관련 선행연구

일반적으로 사회연결망분석(SNA: social network analysis)은 개별 네트워크 형태의 특성을 도출하고 관계성으로 해당 시스템의 특성을 설명하거나 구성단위의 행위를 설명하기 위해 다양한 분야에서 적용되고 있다. 공항은 국내 및 국제간 운항하는 항공기가 뜨고 내릴 수 있는 시설로서 항공사 노선망(route network)을 통해 국내·외를 연결한다는 점에서 네트워크 분석의 대상이 되어왔다.

Zhang(2003)은 중국과 아시아 태평양 지역의 네트워크 측면에서 홍콩공항의 항공화물 네트워크 패턴을 분석하

였으며, Guimera(2004)는 전 세계 공항네트워크는 멱함수의 법칙과 매개 중심성 분포를 포함하는 좁은 세상 네트워크임을 설명하였다. Li(2004)는 128개의 중국 내 공항과 1,165개의 노선으로 구성된 공항 네트워크 연구를 진행하였고, Dobruszkes(2006)는 유럽의 LCC 항공사들의 토폴로지(topology)분석 및 네트워크 차이를 연구하였다. Matsumoto(2007)는 전 세계 항공 네트워크 구조와 국가 간 항공교통 밀도를 분석하기 위해 중력모형을 적용하였으며, Bagler(2008)는 인도 공항의 네트워크 관점에서 토폴로지를 탐색하기 위해 복잡계 가중 네트워크 분석을 실시하였다. 국내 연구로는 Oh(2010, 2014)은 아시아 주요국가의 공항네트워크 구조와 집중도 분석 및 구조적 등위성을 적용한 공항네트워크의 특성을 아시아-태평양 지역의 주요공항들을 8개 블록으로 나누어 분석을 실시한 바 있다. Leem(2011)은 SNA를 이용하여 선사 국적을 기반으로 한 아시아 주요 항만 네트워크 분석을 실시하였으며, Chung(2015)은 공항의 집중도 및 항공 유동성 자료를 이용하여 아시아 지역 주요공항의 네트워크 구조변화와 화물 전이현상을 분석하였다. Choi(2013)는 DEA(Data Envelopment Analysis)와 SNA를 접목하여 세계 주요공항의 효율성과 영향력 측정에 관한 연구를 수행하였으며, Pearson(2014)은 아시아 지역의 주요 저비용항공사를 대상으로 인지 성과와 실제 성과를 비교하여 저비용항공사의 네트워크 경쟁역량을 측정하였다. Lordan(2015)은 전서비스항공사(FSC: full service carriers)와 저비용항공사의 글로벌·지역별 네트워크 비교를 실시하였고, Cong(2016)은 중국의 항공교통 네트워크는 멱함수 법칙을 따른다는 분석 결과를 제시하였다.

본 연구는 네트워크 연결망 관점에서 저비용항공사에 따른 공항 네트워크의 구조적 특성을 파악하는 동시에 네트워크 중심성 결과를 기반으로 하여 선정된 공항들의 경쟁력을 평가하고자 하였다. 공항의 네트워크 메커니즘을 파악하고, 구조적 특성을 고려하기에 적합한 연결, 근접, 매개, 위세 중심성 등과 같은 중심성 분석(centrality analysis)이 본 연구 주요한 부분을 이루게 된다.

2. 주요공항의 저비용 항공사 현황

저비용항공사 시장은 2010년 이래로 고성장을 이어 오고 있으며, 항공운송산업의 큰 축으로 자리매김하였다. Figure 1과 Table 1은 2010년부터 2014년까지 주요공항들의 LCC 여객처리실적을 나타낸 것이다. 아시아 지역의 주요공항인 인천, 나리타, 홍콩, 푸둥공항 등의 2010년부터 2014년까지의 LCC 여객처리실적 증가율은 유럽의 주요공항인 프랑스 샤를드골, 독일의 프랑크푸르트, 영국 히드로공항 등의 증가율보다 월등히 높아 빠르게 성장하고 있음을 알 수 있다.

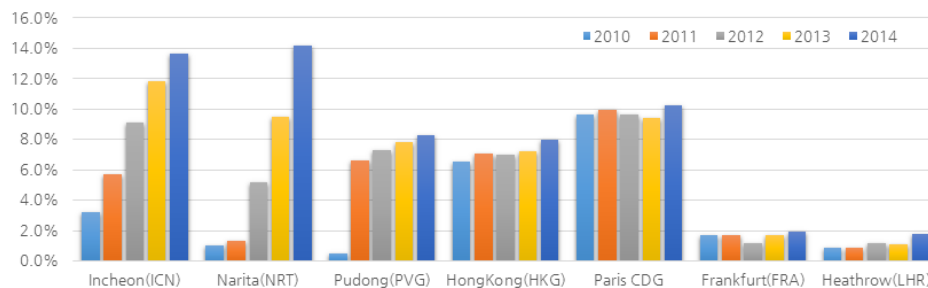


Figure 1. Annual growth rate of LCC passenger throughput

Table 1에서 보듯이 유럽 주요공항들의 LCC 점유율은 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 런던의 예를 들어보면, 히드로공항(LHR)은 주요 허브공항이므로 상대적으로 전서비스항공사(FSC)들이 주로 운항하고 LCC들은 상대적으로 혼잡이 덜하고 도심으로부터 이격되어 있는 스탠스테드(STN)나 루턴(LTN) 공항 등을 이용하기 때문이다. 아시아권의 인천, 홍콩, 나리타공항 등은 주변에 LCC를 전담하는 부속공항들(secondary airports)이 없기 때문에

Table 1. Passenger throughputs and share rate of LCC at the major airports (thousand passengers)

Airport	2010		2011		2012		2013		2014	
	LCC (%)	Total	LCC (%)	Total	LCC (%)	Total	LCC (%)	Total	LCC (%)	Total
ICN	1,067 (3.2)	33,479	2,010 (5.7)	35,062	3,545 (9.1)	38,971	4,885 (11.8)	41,483	6,168 (13.6)	45,512
NRT	270 (1.0)	26,925	340 (1.3)	25,534	1,493 (5.2)	28,765	2,861 (9.5)	30,024	4,524 (14.2)	31,905
PVG	146 (0.5)	30,141	2,407 (6.6)	36,425	2,863 (7.3)	39,174	3,189 (7.8)	41,060	3,855 (8.3)	46,733
HKG	2,483 (6.5)	38,362	3,129 (7.1)	44,286	3,273 (7.0)	46,611	3,498 (7.2)	48,589	4,340 (8.0)	54,522
CDG	4,108 (9.6)	42,784	4,672 (9.9)	47,348	4,560 (9.6)	47,435	4,444 (9.4)	47,402	5,241 (10.2)	51,269
FRA	603 (1.7)	35,723	658 (1.7)	39,646	496 (1.2)	40,798	701 (1.7)	41,152	836 (1.9)	44,599
LHR	492 (1.0)	52,988	535 (0.9)	58,704	713 (1.2)	60,149	671 (1.1)	61,816	1,151 (1.8)	63,176

source: Incheon International Airport, Airport Traffic Report, 2011-2015.

LCC 승객들의 점유율이 크게 증가하고 있음을 알 수 있다.

아시아 주요공항의 저비용항공사 운송실적 추이를 살펴보면, 싱가포르 창이국제공항은 2010-2015년까지 운항 빈도수가 연평균 14.2%로 꾸준히 성장하였다. 특히, 2012년에는 전년 대비 27.3%로 가장 높은 증가율을 기록하였다. 창이공항에서 저비용항공사가 공급하는 좌석 수는 2015년 기준 112,404석으로서 홍콩, 인천, 푸둥, 나리타공항 보다 많은 것으로 나타났다.

인천국제공항의 LCC 운항실적은 2010-2015년까지 연평균 48.3%로 높은 성장률을 보였다. 특히 2010년 대비 2016년 저비용항공사 운항 빈도수는 98.2%로 성장하였으나, 홍콩공항이나 싱가포르 창이공항과 비교하면 절반 수준에도 미치지 못하고 있는 실정이다. 일본 나리타국제공항의 경우에는 동 기간 평균 64.2%로 가장 높은 성장률을 보인 것으로 분석되었다. 특히 2013년의 경우에는 저비용항공사 운항 빈도수가 223.9%를 기록하였다. 2015년 4월 운영을 개시한 LCC 전용 터미널(제3터미널)로 인해 30%가 넘는 높은 성장률을 지속적으로 보이고 있어 창이공항과 홍콩공항에 이어 LCC 중심공항으로 자리 매김 할 것으로 전망된다. 이렇듯 아시아 지역의 저비용항공시장은 매우 높은 성장세를 보이고 있다. 저비용항공시장의 역할과 비중이 점차 늘어나면서 공항 패러다임이 변하고 있기 때문에 향후 공항운영에 있어서 저비용항공사와 공항운영주체 사이의 새로운 전략적 접근이 필요할 것으로 보인다.

연구방법론

네트워크(network)의 개념은 연결점(node)과 링크(link)의 조합으로 완성된다(Yoon, 2012). 따라서 네트워크란 서로 연결되고 작용하는 것들의 체계 즉, 여러 관계에서의 연결체계라고 정의할 수 있다. 항공산업을 형성하는 주요 요소 중에서 항공사는 항공노선이라는 링크(link)로 승객에게 서비스를 제공하며 공항은 이러한 링크의 집결지(node)가 되는 것이다.

네트워크 과학은 복잡한 현실 세계를 논리적으로 체계화하여 명료하게 수리적으로 표현하는 분야로서 해당분야 연구자들에게 유용한 분석 수단을 제공하고 있다. 본 논문은 이러한 네트워크 과학의 장점을 활용하여 공항의 LCC 네트워크 분석을 위해 중심성 이론을 적용하고 실증적 분석을 통해 이를 증명해 보이고자 하였다. 네트워크 과학에서는 노드가 하나의 점으로만 취급된다. 이러한 조건 하에서 정립된 중심성(centrality) 개념은 현실세계에서 특정 노드인 공항의 경쟁력 내지는 역량으로 평가할 수 있는 근거가 될 수 있을 것이다. 즉, 특정 공항의 경쟁력이 높다는

의미는 다양한 요소로 평가될 수 있겠으나 네트워크 측면에서는 얼마나 많은 링크(항공사 노선)가 집중되어 있는지, 주변의 주요 허브공항들과 얼마나 밀도 높게 연결되어 있는지가 판단의 기준이 될 것으로 판단된다.

네트워크의 유형 중에서 중심구조 분석은 어떤 노드가 가장 중요한 노드인지를 찾고, 네트워크 구조가 얼마나 소수의 중요한 노드에게 집중되어 있는지의 정도를 파악할 수 있는 분석이다. 중심구조의 정의에서 노드는 공항을 의미하고, 네트워크 구조는 LCC에 의해서 형성된 구조를 뜻한다. LCC 네트워크에 따라 어느 공항이 소수의 중요한 노드에게 집중되어 있는지를 파악할 수 있는 분석으로 사회 네트워크 분석 중 중심구조 분석을 선택하였다.

사회 네트워크에서 연결되었다는 의미는 두 노드가 서로 직접적으로 연결하고 있다는 것을 의미한다. 한 노드에 인접해 연결된 노드들을 이웃이라고 정의하며, 이 때 한 노드의 이웃인 모든 노드들의 합을 그 노드의 연결정도라고 한다. 연결정도에 의해 한 노드의 중심성을 측정하는 방법을 연결 중심성 분석(degree centrality analysis)이라고 한다. 연결 중심성($C_D(n_i)$)은 직접 연결된 이웃 노드가 많을수록 연결 중심성이 높아지며, 직접적인 영향력의 크기를 측정하는 개념이다. 식은 Equation(1)과 같다.

$$C_D(n_i) = \frac{d(n_i)}{g-1} \quad (1)$$

- g : 네트워크 규모로서 전체 노드 수
- $d(n_i)$: 노드 i 의 연결정도

따라서 분자는 해당 노드가 가진 값을 나타내며, 분모($g-1$)은 해당 노드 이외의 모든 노드와 연결되었을 때를 말하며, 이는 한 노드가 연결 가능한 최대값을 의미한다.

근접 중심성(closeness centrality)은 각 노드간의 거리를 근거로 하여 중심성을 측정하는 방법을 의미한다. 직접적으로 연결된 노드뿐만 아니라 네트워크 내 간접적으로 연결된 모든 노드들 간의 거리를 계산하여 중심성(centrality)을 측정한다. 이렇게 간접적인 연결까지 포함하는 근접 중심성을 이용하여 한 노드가 네트워크 전체의 다른 노드와의 연결된 거리를 모두 고려할 수 있게 된다. 근접 중심성($C_C(n_i)$) 식은 Equation(2)와 같다.

$$C_C(n_i) = \frac{g-1}{\left[\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]} \quad (2)$$

- g : 전체 노드의 수
- $d(n_i, n_j)$: 노드 i 에서 j 까지 거리

매개 중심성(betweenness centrality)이란 네트워크 내에서 한 노드가 담당하는 매개자 혹은 중재자 역할의 정도를 나타내는 것이다. 한 노드가 네트워크의 구성원들에 대한 실제적인 혹은 잠재적인 중재역할의 중요성이 클수록 의사소통을 제어할 수 있는 통제력은 그만큼 커지게 되며 다른 노드들의 의존성도 커지게 된다. 따라서 구성원들을 중재 혹은 매개할 수 있는 위치에 있는 행위자들도 네트워크에서 중요한 중심 위치에 있다고 볼 수 있는 것이다. 매개 중심성($C_B(n_i)$)은 다른 노드 간의 최단 경로에서 많이 등장할수록 중심성이 높아진다. 식은 Equation(3)과 같다.

$$C_B(n_i) = \frac{\sum_{j>k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}}{[(g-1)(g-2)/2]} \quad (3)$$

- g_{jk} : 노드 j 에서 k 를 연결하는 최단 경로의 개수
- $g_{jk}(n_i)$: 노드 j 에서 k 를 연결하는 최단 경로 중에서 노드 i 를 거치는 경로의 수

Equation(3)의 분모($\sum_{j>k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}$)는 각각 노드 쌍(pair)의 최단 경로 상 i 가 포함될 확률의 누적 합이며, 분자 $((g-1)(g-2)/2)$ 는 n_i 를 포함하지 않는 노드 쌍의 수(방향성이 없는 네트워크의 경우)를 나타낸다.

위세 중심성(eigenvector centrality)은 Prestige Index 또는 보나시치(Bonacich) 중심성 지수라고도 한다. 각 노드가 연결망에서 중요한 위치에 있는 다른 노드와의 연결된 정도를 나타낸다. 위세 중심성은 자신이 연결 중심성으로서 지니는 영향력과 자신과 연결된 타 행위자의 영향력을 합하여 결정된다. 따라서 한 노드의 연결 중심성과 매개 중심성이 낮은 경우에도 해당 연결망에서 중심성 지표가 높거나 또는 다른 이유에 의해 중요하다고 판단되는 노드와 연결되어 있는 경우, 위세 중심성은 높게 나올 수 있다. 즉, 위세가 높은 노드와 많이 연결(접촉)될수록 그 노드의 위세가 높아진다. 위세 중심성(C_i)은 Equation(4)와 같이 정의한다. 위세 중심성은 연결된 노드의 개수 뿐 아니라 연결된 노드가 얼마나 중요한지도 함께 고려함으로써 연결정도 중심성의 개념을 확장했다고 볼 수 있다. 자신과 연결된 이웃의 중심성을 가중치로 하여 자신의 중심성을 판단하는 방식을 취하며, 위세가 높은 노드와 많이 연결될수록 그 노드의 위세는 높아지는 것이다.

$$c_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in N(i)} c_j = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^n c_j z_{ij}, \quad 0 \leq c_i \leq 1, \quad \lambda C_I = Z C_I \tag{4}$$

- λ : 노드 i 의 아이겐 값(eigen value)이며 알고리즘으로 측정이 되는 상수
- $N(i)$: 노드 i 의 이웃 노드들의 집합
- Z_{ij} : $n \times n$ 방향 인접 행렬 Z 에서 노드 i 와 j 의 연결 여부 (1=유, 0=무)
- c_i : 노드 i 의 아이겐벡터 중심성 값

사회네트워크 분석 결과

1. 아시아 주요 공항 네트워크 전체 시각화

네트워크 시각화는 노드 간 연결이 잘 드러나도록 보여주는 것으로 연결구조의 특성을 직관적으로 표현할 수 있도록 노드와 링크를 시각화하는 것이다. 본 연구는 NetMiner 4.0을 이용하여 다차원 시각화를 활용하였다. 다차원 시각화를 시도하는 이유는 네트워크 전체 구조에서 링크의 집중도, 노드의 독점 정도를 산출·분석하고 연결망 중심의 노드가 무엇인지에 대한 파악 등에 있다. 본 연구의 시각화는 반복연산(iteration)을 노드 수의 5-10배 이상 조정하는 방식의 반복적 알고리즘(iterative algorithm)을 통해 보다 정밀하게 수행되었다. LCC 네트워크 시각화를 위한 기초자료는 해당 공항별 연결공항(Target), 운항항공사(Operation Airline), 항공기 종류(Aircraft Type), 총 공급 좌석수 등을 입력하게 된다.

Figure 2의 시각화를 살펴보면 LCC 네트워크 측면에서 홍콩공항(HKG)과 싱가포르 창이공항(SIN)을 중심으로 네트워크가 집중되어 있으며, 인천(ICN), 간사이(KIX), 푸둥(PVG), 그리고 나리타공항(NRT)은 그 다음으로 연결성이 좋은 공항임을 알 수 있다. 2010년도에는 홍콩, 싱가포르, 인천, 간사이, 푸둥, 나리타공항 등은 허브공항의 연결성보다 인접공항과의 연결 즉, 지점 대 지점 연결 형태를 보이는 것으로 나타났다.

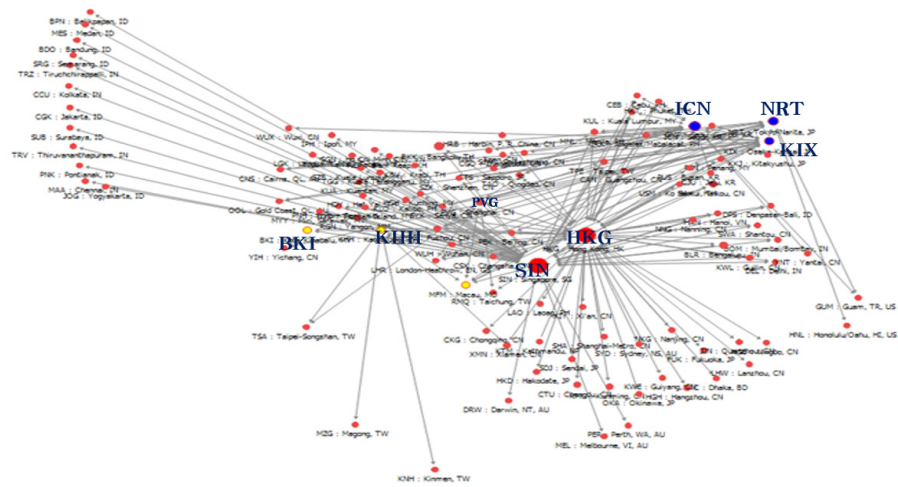


Figure 2. Visualization of airport network of LCC in 2010

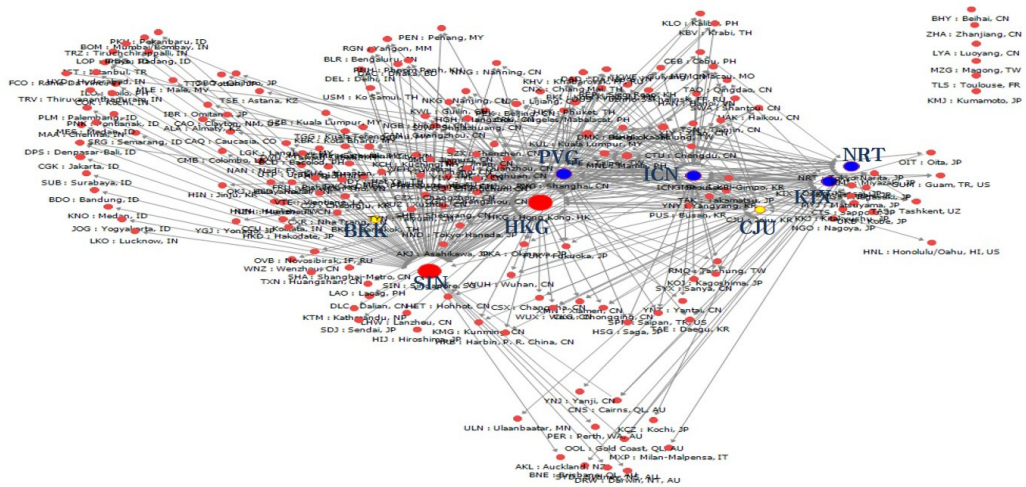


Figure 3. Visualization of airport network of LCC in 2015

Figure 3은 2015년 공항 네트워크 시각화를 구현한 결과를 보여 주고 있다. 전체 반복연산(iteration)은 100,000 번 수행하였다. 2010년도의 공항 연결성과 비교할 때, Figure 3에서 나타난 2015년도의 공항 연결성 정도가 훨씬 복잡하게 구성되어 있음을 알 수 있다. 창이(SIN), 홍콩(HKG), 푸둥(PVG), 간사이(KIX), 제주(CJU), 나리타공항(NRT) 등을 중심으로 더 많은 공항들이 상호 연결되어 있음을 알 수 있다.

저비용항공사의 네트워크 확장 전략은 일반항공사 또는 전서비스항공사들(full service carriers)이 추구해 온 전략과는 차이가 있겠으나, 특정 공항을 중심으로 항공기 운항이 집중된다는 공통점을 보이고 있다. 점차 네트워크 범위를 단거리(short-haul) 뿐만 아니라 중거리(mid-haul) 이상으로 확장하려는 추세가 뚜렷이 나타나고 있다. 최근 저비용항공사들은 전서비스항공사와 유사한 항공사동맹체(LCCs-Alliance)를 형성함에 따라 허브-앤-스포크(hub-and-spoke) 네트워크로의 발전을 꾀하려는 시도라고 볼 수 있겠다.

Figure 4는 2010-2015년까지 아시아 주요공항에서의 LCC 네트워크 구조를 나타낸 것이다. SIN의 네트워크 구조를 살펴보면 아시아 주요 공항인 PVG, HKG, KIX와의 연결성이 뛰어난 공항으로 나타났다. 특히, 이들 공항들은 인도 내 공항과의 연결성이 높은 것으로 나타났다. 전반적으로 SIN에 취항하고 있는 LCC들은 인도, 호주, 뉴질랜드, 스리랑카 등 중·장거리 공항들과 연결하는 역할을 수행하고 있음을 알 수 있었다.

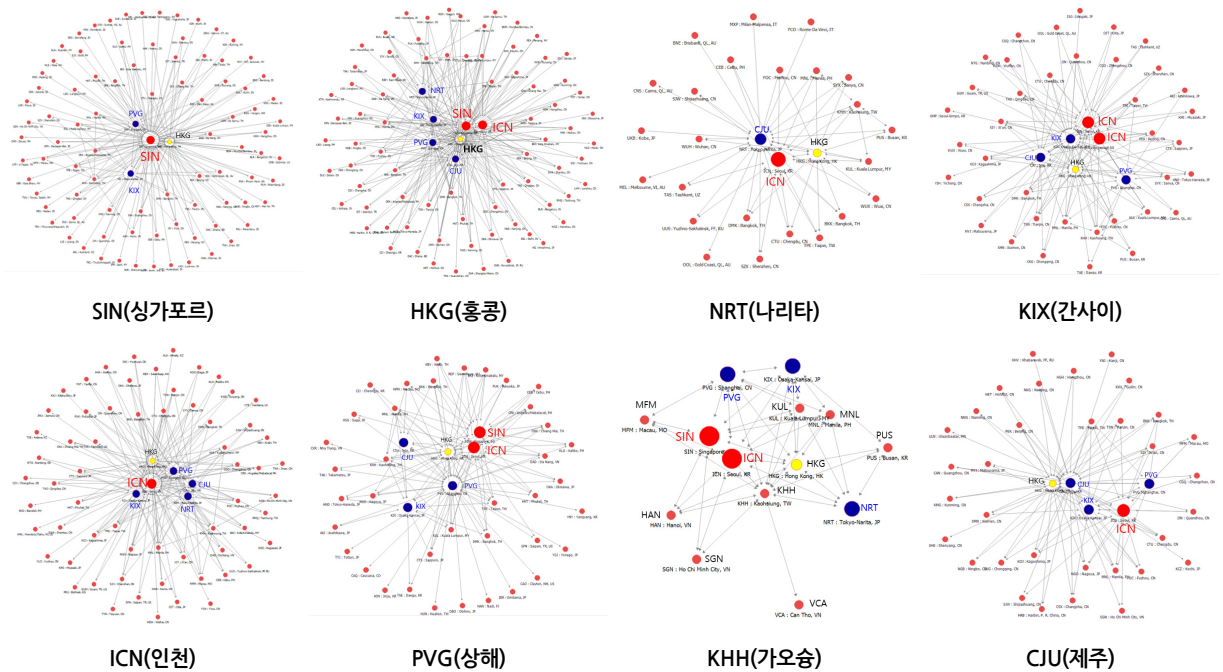


Figure 4. Network structure of the Asian Major Airports

홍콩국제공항(HKG)의 네트워크 구조는 SIN, ICN과의 연결성이 아주 강하다는 특성을 보여준다. 그리고 PVG, CJU, KIX, NRT와의 연결성 또한 우수한 것으로 분석되었다. HKG는 중국의 지방공항과 연결성이 좋은 것으로 분석되었다. HKG의 특성은 ICN과 SIN을 통한 중국노선 연계성이 우수한 것으로 분석되었으며, CJU와의 연결 밀도가 매우 높은 것으로 분석되었다.

인천국제공항(ICN)의 네트워크를 살펴보면 NRT, CJU, KIX, PVG와의 연결성 밀도가 매우 높게 나타났다. ICN의 경우, SIN이나 HKG와의 저비용항공사 네트워크 연결성이 다소 뒤떨어지는 것으로 분석되었다. ICN과 연결된 공항을 보면 역시 중국 지방공항과의 연결이 많다는 것을 알 수 있다. SIN 또는 HKG와 비슷한 노선이 연결되어 있음을 알 수 있었으며, 네트워크 측면에서 살펴보면 중국 지방공항이 아시아 주요공항인 HKG, SIN, ICN 등과의 연결을 선제적으로 하고 있다는 사실을 도출하였다. NRT-ICN-SPN(사이판), NRT-ICN-GUM(괌), NGO(나고야)-ICN-GUM 또는 SPN 등의 연결 네트워크를 볼 때, 인천공항을 연계한 괌과 사이판 수요가 일본으로부터 발생하는 것을 알 수 있다. 일본 도쿄나 나고야에서는 괌과 사이판으로 저비용항공사의 취항이 활성화되지 못해 이 지역 LCC 수요가 인천공항을 경유하는 것으로 판단된다.

아시아 국가들의 경제성장으로 인해 중산층이 확대됨과 동시에 저비용항공사의 중·장거리 네트워크 확대라는 변화를 고려할 때, 향후 ICN, SIN, HKG 등을 연계한 노선이 더욱 확대될 것으로 전망된다. 또한 이 지역 전서비스항공사(FSC) 중 LCC를 자회사 형태로 보유하고 있는 항공사들은 제한적이긴 하더라도 FSC-LCC의 네트워크 공유 및 통합이 가능할 것으로 판단된다.

상하이 푸둥공항(PVG)의 네트워크를 보면 CJU 및 KIX와의 연결성 밀도가 높은 것으로 분석되었다. CJU, KIX, ICN 등과의 연결을 통해 GUM으로 네트워크를 확대하고 있었으며, HKG를 통해 호주의 케언스공항(CNS)까지 네트워크 연결이 되어 있는 것으로 분석되었다. PVG는 제주-인천-마닐라(MNL)-오이타(OIT) 등과 같은 저비용항공사들의 노선연계를 통해 아시아 역내 거점 공항들과 연결되는 특성을 발견할 수 있었다.

저비용항공사 전용터미널이 있는 오사카 KIX의 네트워크 특성을 살펴보면, ICN 및 SIN과의 연결 밀도가 가장 높은 공항으로 분석되었다. PVG 및 CJU와의 연결성 밀도는 그 뒤를 따르는 것으로 분석되었다. KIX는 아시아 역내 지

역 공항과의 직접적인 연결 보다는 HKG, ICN, SIN 노선을 연계한 간접적인 네트워크가 많은 것으로 나타났다.

도쿄 나리타공항(NRT)의 경우, 일본 내 KIX에 비해 저비용항공사를 통한 공항 연결성이 낮은 것으로 보인다. NRT는 공항의 특성과 활주로 활용 문제 등으로 LCC 네트워크 측면보다 FSC 네트워크에 더욱 집중하고 있는 것으로 분석되었다.

카오슝공항(KHH)은 일본의 KIX와 마찬가지로 LCC 네트워크 확장은 아직 미미한 상태이지만 SIN, ICN, KIX, NRT, PVG, MFM(마카오), MNL(마닐라), PUS(김해), KUL(쿠알라룸푸르), 그리고 HAN(하노이) 등 아시아 역 내 허브공항들과의 직접적인 연결성 밀도가 매우 높은 것으로 분석되었다. 향후 저비용항공사 동맹체(LCCs alliance) 및 FSC들과의 편명공유(code sharing)가 더욱 활발해 진다면 LCC 네트워크 측면에서 빠른 확장성이 기대되는 공항으로 볼 수 있다.

마지막으로 제주공항(CJU)은 제주도가 유네스코 세계자연유산으로 등재되어 아시아 지역 내 지방공항과의 직접적인 연결뿐만 아니라 ICN, HKG, KIX, PVG 등과 연계한 간접적인 연결성이 높은 공항으로 나타났다. 향후 신공항(제2공항)이 운영되고, KHH와 같이 저비용항공사 동맹체 및 FSC들과의 공동운항이 더욱 활발해 진다면 LCC 네트워크 측면에서 확장성이 기대되는 공항으로 꼽을 수 있다.

Table 2. Results of the network centrality analysis of LCC in Asian Major Airports(2011-2015)

Ranking	Degree Centrality			Closeness Centrality			Betweenness Centrality	Eigenvector Centrality		
	Airport	Inbound	Outbound	Airport	Inbound	Outbound				
1	HKG	1,948.77	1,980.99	HKG	0.610623	0.615080	SIN	0.398384	HKG	0.615107
2	SIN	1,824.27	1,864.56	SIN	0.577164	0.583155	HKG	0.298446	PVG	0.472125
3	PVG	650.521277	652.154255	PVG	0.533329	0.535022	ICN	0.207129	SIN	0.390645
4	ICN	582.952128	580.473404	KIX	0.528313	0.531646	PVG	0.145197	KUL	0.219529
5	KIX	382.042553	379.957447	ICN	0.512255	0.515388	KIX	0.102284	KHH	0.168354
6	KUL	328.680851	328.728723	MNL	0.484287	0.484287	CJU	0.080472	MNL	0.158434
7	BKK	243.606383	243.819149	KHH	0.482899	0.485683	NRT	0.034229	BKK	0.143683
8	MNL	240.611702	240.776596	TPE	0.481520	0.48152	KHH	0.015123	ICN	0.129170
9	KHH	211.664894	211.468085	BKK	0.476079	0.476079	MNL	0.003125	PEK	0.120252
10	NRT	162.909574	160.079787	KUL	0.474738	0.477428	TPE	0.003027	KIX	0.117362
11	CGK	154.510638	154.574468	DMK	0.472078	0.474738	BKK	0.002964	HKT	0.101691
12	HKT	137.015957	136.845745	CTU	0.466847	0.465558	CTU	0.002792	CGK	0.099261
13	TPE	126.478723	146.175532	CJU	0.465558	0.468144	KUR	0.002142	TPE	0.079616
14	PEK	120.462766	120.441489	TSN	0.463000	0.461731	DMK	0.002142	PEN	0.063225
15	SGN	108.085106	108.101064	XIY	0.463000	0.461731	CEB	0.002078	SGN	0.062423
16	PEN	90.409574	90.547872	CRK	0.461731	0.461731	MFM	0.002042	HGH	0.058072
17	SZB	79.877660	79.877660	BKI	0.461731	0.461731	SGN	0.002042	DMK	0.05477
18	DMK	79.148936	77.994681	CNX	0.461731	0.461731	TSN	0.001945	XMN	0.051655
19	CJU	77.095745	80.675532	HKT	0.461731	0.461731	XIY	0.001945	CRK	0.051534
20	CRK	65.712766	66.148936	DAD	0.461731	0.461731	JJN	0.001945	SZB	0.051294

Airport Code & Name BKI(Kota Kinabalu, MY), BLR(Bengaluru, IN), BKK(Bangkok, TH), CEB(Cebu, PH), CGK(Jakarta, ID), CJU(Jeju, KR), CNX(Chiang Mai, TH), CRK(Angeles/Mabalacat, PH), CTU(Chengdu, CN), DAD(Da Nang, VN), DMK(Bangkok, TH), FOC(Fuzhou, CN), HAK(Haikou, CN), HGH(Hangzhou, CN), HKT(Phuket, TH), ICN(Seoul, KR), JJN(Quanzhou, CN), KHH(Kaohsiung, TW), KIX(Osaka-Kansai, JP), KUL(Kuala Lumpur, MY), MFM(Macau, MO), MNL(Manila, PH), NRT(Tokyo-Narita, JP), PEK(Beijing, CN), PEN(Penang, MY), PVG(Shanghai, CN), SGN(Ho Chi Minh City, VN), SIN(Singapore, SG), SZB(Kuala Lumpur, MY), TPE(Taipei, TW), TSN(Tianjin, CN), XIY(Xi'an, CN)

2. 네트워크 중심성 분석

아시아 지역 주요공항들의 LCC 네트워크를 분석하기 위해서 연결, 근접, 매개, 위세 중심성 분석을 실시하였다. Equation(1)-(4)까지 정의된 각각의 중심성 분석을 실시한 결과는 Table 2와 같이 요약할 수 있다.

1) 연결 중심성(Degree Centrality)

2010년 저비용항공사에 따른 공항 네트워크의 연결 중심성 순위는 SIN, HKG, BKK, ICN, PVG, BLR (Bengaluru), KIX, HAK(Haikou), NRT, FOC(Fuzhou) 순으로 나타났다. SIN의 연결 중심성은 402.698로 아시아 내 공항들과 직접적으로 연결된 정도가 제일 높은 공항으로 분석되었으며 HKG(394.038), BKK(112.368), 그리고 ICN(80.991)이 뒤를 이었다. 2010년 결과에서 인도의 벵갈루루(BLR, 62.8019)가 아시아 지역 내에서 직접 연결성이 좋은 공항으로, 중국의 하이커우(HAK, 51.5660)는 NRT(38.1887)나 MNL(22.191)보다 LCC 연결성이 우수한 공항으로 분석되었다.

Table 1에 나타난 바와 같이 2011-2015년에는 2010년과 비슷한 결과로 HKG, SIN, PVG, ICN, KIX 순으로 분석되었다. HKG(1948.77, 1980.99)는 SIN(1824.27, 1864.56)보다 LCC 네트워크 측면에서 눈에 띄게 성장하였다. HKG, SIN의 뒤를 이어 3위는 PVG(In-650.521, Out-652.145), ICN(In-582.952, Out-580.473)이 4위, KIX(In-382.042, Out-379.957)가 5위를 차지하였다. ICN은 HKG 및 SIN과 비교할 때, 연결 중심성이 1/3 수준에 머무르는 것으로 분석되었다. 상위 20위권 이내의 공항들에서는 출발-도착(Out-Inbound) 연결 중심성 지수가 비슷한 수준임을 감안할 때, 균형적인 네트워크를 형성하고 있음을 알 수 있겠다.

2) 근접 중심성(Closeness Centrality)

근접 중심성은 다른 노드들과 거리가 짧을수록 노드의 중심성이 높다. 이는 연결 중심성의 직접적인 영향력뿐만 아니라 간접적인 영향력을 모두 포함한 좀 더 포괄적인 지표라 할 수 있을 것이다. 2010년 공항 네트워크의 근접 중심성 분석 결과에서는 HKG가 0.6672로 가장 높은 공항으로 나타났으며, SIN이 2위(0.5622)로 그 뒤를 이었다. 근접 중심성 지수가 높은 HKG와 SIN은 LCC 네트워크 측면에서 가장 핵심 위치에 자리 잡고 있는 허브공항의 역할을 수행하고 있는 곳이다. 연결 중심성에 비해 근접 중심성은 공항 간 큰 격차가 나지 않음을 알 수 있었다. 2010년과 2011-2015년까지의 근접 중심성을 분석한 결과에서는 1, 2위를 차지한 공항은 여전히 HKG와 SIN으로 나타났다.

연결 중심성과 달리 근접 중심성은 직접적인 공항 간의 연결뿐만 아니라 공항의 잠재적 파트너 공항을 포함한 직·간접적인 연결을 의미한다고 설명한 바 있다. 근접 중심성이 높은 공항인 HKG, SIN, PVG, KIX, ICN 등은 네트워크에서 핵심 역할을 수행하므로 주요 정보와 지식을 빠르게 확보할 수 있게 된다. 따라서 전체 LCC 네트워크 내에서 가장 중심에 위치하는 HKG, SIN, PVG, KIX, ICN 등은 정보, 영향력, 경쟁지위, 항공수요에 대한 확보 등에서 상대적으로 유리하기 때문에 LCC 네트워크에 미치는 영향력이 크다고 설명할 수 있겠다.

3) 매개 중심성(Betweenness Centrality)

매개 중심성은 다른 노드 간의 최단 경로에 많이 포함 될수록 중심성이 높아지게 된다. 매개 중심성이 높은 노드는 흐름에 대한 통제력을 가지며 노드가 제거될 경우 네트워크 전체 연결과 흐름에 큰 영향을 미치게 된다. 2010년 매개 중심성 분석 결과에서 HKG는 0.56으로 가장 강한 통제력을 가지는 공항으로서 노선 운영에 있어 LCC가 서로 다른 공항을 이어주는 매개자 역할을 수행하는 공항으로 분석되었다. 이어 SIN, ICN, KIX, MFM(Macao), KHH, NRT, PVG, MNL, SZX(Shenzhen), TPE(Taipei), FOC(Fuzhou) 순으로 아시아 역내 공항들 사이에서 매개 역할을 수행하는 공항으로 분석되었다. HKG와 SIN은 지리적으로 아시아 중심에 위치한 공항으로서 환승 수요가 상대적으로 높은 공항들이다.

2010년과 달리 2015년에는 SIN이 0.3983으로 매개 중심성이 가장 높은 공항으로 도약하였다. 그 다음은

HKG(0.2984), ICN(0.2071), PVG(0.1451), KIX(0.1022), CJU(0.0804) 순으로 나타났다. 제주공항(CJU)이 6위로 급부상 했다는 점은 매우 고무적인 현상이라 할 수 있겠다. 그 만큼 아시아 권역에서 제주공항에 취항하는 LCC가 많이 늘어나고 있다는 증거인 것이다.

4) 위세 중심성(Eigenvector Centrality)

위세 중심성이 높은 공항일수록 네트워크 상에서 영향력이 높은 공항들과 많은 연결을 맺고 있다고 볼 수 있다. 위세 중심성이 높은 공항과 연결되어 지는 특정 공항은 이로 인하여 중심성이 높아지는 기회를 포착하게 되어 해당 공항의 수요를 늘리는 좋은 조건을 갖추게 되는 것이다.

2015년 저비용항공사 네트워크에 따른 위세 중심성이 높은 공항을 순서대로 나타보면 HKG, PVG, SIN, KUL, KHH, MNL, BKK, ICN, PEK, KIX 등이다. 아시아 지역에 위치한 공항들 중에서 HKG, PVG, SIN 등에는 저비용항공사들의 운항이 집중되며, 이로 인해 항공수요도 매우 높다는 사실을 알 수 있다.

3. 네트워크 분석결과

저비용항공사(LCC)는 모든 범위의 서비스를 제공하는 항공사(FSC)와는 기본적으로 운영형태가 다를 수밖에 없다. LCC는 제공되는 서비스를 최소화하여 운영비용을 줄임으로써 저렴한 항공요금의 혜택을 이용객에게 돌려주는 새로운 비즈니스 모델인 것이다. 유럽과 아시아 지역에서 LCC 시장의 확대는 기존 항공사들에게 많은 영향을 주었다. FSC들은 비즈니스 전략을 새롭게 수립하게 되었고 네트워크 구조도 중장거리 중심으로 변화를 꾀하기 시작하였다. 상대적으로 LCC들은 국내선 및 단거리 국제선에서 시장 점유율은 지속적으로 늘려가고 있는 양상이다. 따라서 초기의 LCC 네트워크 구조는 단순한 지점 간 연결(point-to-point)로 구축되어 왔으나, 최근 들어 LCC들의 '전략적 제휴(alliance)' 및 시장점유율 확대에 인하여 점차 복잡한 네트워크 구조를 갖추기 시작하였다.

본 논문은 아시아 지역의 LCC 네트워크 구조가 어떤 형태로 변해 가는지를 실증해 보고자 하였다. 2010년도 아시아 지역의 LCC 네트워크를 분석한 결과(Figure 2)에서는 허브-앤-스포크 방식의 네트워크가 형성되지 못하였으나 싱가포르 창이공항(SIN)과 홍콩공항(HKG)에 상대적으로 LCC 운항이 집중되어 있다는 사실을 확인하였다. 그 이후 LCC 운항이 증가하고 네트워크가 확장되면서 2015년도의 네트워크 구조는 2010년과는 다른 형태를 보였다. Figure 3에서 보여 주듯이 핵심공항들을 중심으로 LCC 운항이 집중되고 있을 뿐 아니라 노선의 길이도 점차 늘어나고 있음을 알 수 있다.

이러한 네트워크 구조의 변화는 LCC 시장의 확대에 따라 나타나는 현상으로 해석할 수 있겠다. LCC 규모가 확대되면서 다양한 서비스 상품을 이용객에게 제공하기 시작하였는데, 그 대표적인 사례가 LCC들의 '전략적 제휴'일 것이다. 여러 LCC들이 전략적 제휴를 통해 공동 예약시스템 및 마케팅 활동을 전개함으로써 추가적인 이익을 도모하게 되었다. 이를 기초로 LCC들도 제한적이긴 하나 허브-앤-스포크 네트워크를 구축하기 시작했다고 보아야 할 것이다. 이렇듯 LCC들의 허브-앤-스포크 시스템 전략은 단거리 노선 중심에서 중·장거리 노선으로의 확장 뿐 아니라 항공기재 운영에 따른 연료 효율성 및 안전성 담보 등의 이유들로 인해 중·대형 기재 도입에 어느 정도 영향을 미칠 것으로 보인다.

결론

본 연구는 네트워크 연결망 관점에서 저비용항공사에 따른 공항 네트워크의 구조적 특성을 분석하고자 진행하였다. 인천국제공항(ICN)을 비롯하여 홍콩(HKG), 싱가포르(SIN), 나리타(NRT), 간사이(KIX), 푸둥(PVG), 가오슝(KHH), 김포(GMP), 제주국제공항(CJU) 등을 대상으로 이들의 네트워크 연결 구조를 파악하는데 목적을 두었다. 네트워크의 가시화 및 집중도 계수(Gini coefficient) 분석을 통해 저비용항공사들의 네트워크가 지점 대 지점

(point-to-point)에서 허브-앤-스포크(hub-and-spoke) 연결구조로 변화 중인지 밝혀보고자 하였다. 또한 4가지 네트워크 중심성 결과를 토대로 공항의 경쟁력을 가늠해 보고자 하였다.

본 연구에서 저비용항공사(LCC) 네트워크에 따른 공항 연결성을 시각화한 결과, 홍콩공항과 싱가포르 창이공항을 중심으로 네트워크가 연결되어 있으며, 인천, 간사이, 푸둥, 그리고 나리타가 그 다음으로 연결성이 좋은 공항으로 분석되었다. 2010-2016년 공항 네트워크를 시각화한 결과, 싱가포르, 홍콩, 푸둥, 나리타, 인천공항 등을 중심으로 LCC 네트워크가 형성되어 있으며, 주요 공항들 간 연결성 밀도가 높아짐에 따라 LCC 네트워크가 주요공항을 중심으로 허브-앤-스포크(hub-and-spoke) 형태로 바뀌고 있음을 알 수 있었다.

LCC 네트워크에 대한 보다 심층적인 분석을 위해 연결(Degree), 근접(Closeness), 매개(Betweenness), 그리고 위세 중심성(Eigenvector Centrality) 등을 적용하였다. 2010년과 2015년으로 구분하여 중심성 분석을 실시한 결과는 싱가포르, 홍콩, 푸둥, 인천, 간사이공항 등이 모든 지표에서 높은 성과를 보였다. 이 공항들은 전서비스항공사(FSC) 운항 측면에서도 매우 높은 성과를 보이는 주요 공항들로서 항공 네트워크 구성에 있어서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다.

2015년도 근접 중심성을 분석한 결과, 2010년도 분석 결과와 마찬가지로 1, 2위 공항은 변동 없이 HKG와 SIN으로 나타났다. 근접 중심성이 높은 HKG, SIN, PVG, KIX, ICN 등은 네트워크 상에서 핵심 공항이 될 뿐 아니라 이 공항들은 서로 높은 연결성을 지니고 있으므로 주요 정보와 지식을 빠르게 교환하게 된다. 따라서 아시아 지역의 LCC 네트워크 상에서 HKG, SIN, PVG, KIX, ICN 등은 정보, 권력, 영향, 지위, 출·도착 여객수요 등에 대한 확보와 접근이 용이하므로 상대적 영향력이 크다고 할 수 있을 것이다.

본 연구는 LCC 확대에 따라 공항 패러다임이 변해가는 시점에서 LCC 네트워크를 통한 공항 중심성을 분석한 선도적인 연구로서 향후 유사한 네트워크분석에 유용한 기초자료가 될 수 있을 것이다. 전통적으로 전서비스항공사(FSC)들은 협력체(Alliance)를 구축하여 네트워크를 발전시켜 왔으나, 최근 들어 LCC의 협력체가 별도로 구축됨에 따라 앞으로는 이 두 협력체가 서로 수직적인 결합(vertical integration)으로 새로운 상생모델을 만들어 낼 수 있을 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2011-413-B00008).

알림: 본 논문은 Air Transport Research Society 20th World Conference(2016.6.23-26)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

- Casanueva C., Gallego A., Castro I., Sancho M. (2014), Airline Alliances: Mobilizing Network Resource, *Tourism Management*, 44, 88-98.
- Choi S. G. (2013), An Study on Measurement for the Efficiency of the World Major Airports (세계 주요공항의 효율성과 영향력 측정에 관한 연구), Master Thesis, Graduate School of Logistics, Inha University.
- Chung T. W. (2015), Competitive Composition of Main Airports in North Asia - Focused on Air Cargo (동아시아 주요공항의 항공화물 경쟁구도 분석에 관한 연구), *Journal of Korea Port Economic Association*, 31(3), 93-105.
- Cong W., Hu M., Dong B., Wang Y. (2016), Empirical Analysis of Airport Network and Critical Airports, *Chinese Journal of Aeronautics*, 29, 512-519.

- Dobruszkes F. (2006), An Analysis Europe Low Cost Airlines and their Networks, *Journal of Transport Geography*, 14, 249-264.
- Guimera R., Amaral L. A. N. (2004), Modelling the World-wide Airport Network, *The European Physical Journal B*, 38, 381-385.
- Incheon International Airport, Airport Traffic Report 2011-2015.
- Leem B. H., Kim S. M., Hong H. K. (2011), Comparison of Asia Port Networks based on National Shipping Companies (선사 국적을 기반으로 한 아시아 주요 항만 네트워크 비교): Social Network Analysis(SNA) Perspective, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 6(5), 45-56.
- Li W., Cai X. (2004), Statistics Analysis of Airport Network of China”, *Physical Review E*, 69(4), 046106.
- Lordan O., Sallan J. M., Escorihuela A., Gonzalez-Prieto D. (2015), Robustness of Airline Route Networks, *Physica A*, 455, 18-26.
- Matsumoto H. (2007), International Air Network Structures and Air Traffic Density of World Cities, *Transportation Research Part E*, 43, 269-282.
- Oh S. Y., Park Y. H. (2010), An Analysis for the Framework and Centralization of Airport Network in the Major Asian Countries (아시아 주요국가의 공항네트워크 구조 및 집중도 분석), *Journal of Aviation Management Society of Korea*, 8(2), 43-58.
- Oh S. Y., Park Y. H. (2014), Analyzing Airport Network Characteristics Applied to the Structural Equivalence, *J. Korean Soc. Transp.*, 32(2), Korean Society of Transportation, 162-169.
- Pearson J., O’Connel J. R., Pitfield D., Ryley T. (2015), The Strategic Capability of Asian Network Airlines to Compete with Low Cost Carriers, *Journal of Air Transport Management*, 47, 1-10.
- Yoon S. (2012), An Evaluation of Supply Adequacy for Aircargo Route based on the Demand Characteristics of Nodes, Unpublished Ph.D. Thesis, Inha University.
- Zhang A. (2003), Analysis of International Air-cargo Hub : the case of Hong Kong, *Journal of Air Transport Management* 9, 123-138.