

2단계 네트워크 DEA를 이용한 세계 주요 공항 성과 분석

유석천 · 맹결 · 임성묵†

동국대학교-서울캠퍼스 경영대학 경영학과

An analysis of the performance of global major airports using two-stage network DEA model

Seuck-Cheun Yoo · Jie Meng · Sungmook Lim†

Dongguk Business School, Dongguk University-Seoul

ABSTRACT

Purpose: The performance of global major airports is evaluated and several research questions are examined relative to the measures characterizing airport performance.

Methods: The two-stage internal structure of airport performance is considered by decomposing it into physical operations and revenue generation. In the physical operations stage, operating costs, number of runways, terminal area and number of employees are used as inputs, while passenger throughput, cargo throughput and aircraft movements are taken as outputs. Subsequently, in the revenue generation stage, the outputs from the preceding stage are taken as inputs, while revenue is used as output.

Results: Based upon this two-stage modeling of airport performance, a multiplicative two-stage network data envelopment analysis model is employed to calculate the overall and stage efficiencies of 59 airports using the recent data in the 2014 Airport Benchmarking Report published by the Air Transport Research Society. Several internal and external factors are also considered such as airport size, airport geographical location, proportion of international passengers, ownership (listed or not) and management style, and statistical analysis is performed to examine their impacts on airport performance.

Conclusion: It is shown that the airports exhibit statistically significant difference across regions, and also some statistically significant factors affecting airport performance are identified.

Key Words: Airport performance, Efficiency, Data envelopment analysis, Two-stage network

● Received 22 February 2017, 1st revised 25 February 2017, accepted 26 February 2017

† Corresponding Author(sungmook@dongguk.edu)

© 2017, The Korean Society for Quality Management

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.

※ 이 논문은 2015년도 동국대학교 연구년 지원에 의하여 이루어졌음.

1. 서 론

급속한 성장을 이루어온 항공운송산업에서 공항은 가장 기초적이고 중요한 요소 중 하나로서, 지역 경제 개발에서도 핵심적인 부분을 차지한다. 이러한 공항에 대한 성과 평가는 공항을 둘러싼 이해당사자들에게 다양한 정보를 제공한다. 공항의 주요 고객 중 하나인 항공사들은 보다 효율적인 공항을 선택하여 운항하고자 할 것이고, 공항이 위치한 지역의 행정당국은 공항이 보다 효율적으로 운영되어 더 많은 비즈니스와 고객을 유치하여 지역 경제에 이바지하기를 원할 것이다(Sarkis, 2000).

공항의 성과를 평가하기 위해 그간 제안되어 왔던 다양한 방법들 중에서 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)은 공항과 같이 동일 표준 상에서의 비교가 불가능한 다수의 투입과 산출을 가지는 의사결정단위(Decision Making Unit, DMU)들의 상대적 효율성을 단 하나의 지수로 표현할 수 있다는 장점으로 인해 많이 활용되어 왔다. DEA는 투입요소와 산출요소 간 함수적 관계를 명시적으로 가정할 필요가 없고, 실제 관찰되는 투입-산출 데이터에 기초하여 효율적 경계선(또는 베스트프랙티스 프런티어)을 실증적으로 추정한 후 이로부터의 거리를 토대로 효율성을 측정하는 비모수적 특징을 가지고 있다. 특히, 비효율적인 DMU에 대해서는 어떤 효율적인 DMU들을 참조하여, 어떤 투입-산출요소에서, 얼마만큼의 개선이 필요한지와 같은 성과 벤치마킹에 필요한 유용한 정보를 제공해 준다.

최근 들어 가장 주목받고 있는 DEA 관련 연구주제 중 하나는 네트워크 DEA 모형이다. 통상적인 DEA는 단일 단계를 가지는 DMU를 대상으로 하는 반면, 네트워크 DEA는 다단계 네트워크 구조를 가지는 DMU를 대상으로 한다. 내부적으로 네트워크 구조를 가지는 DMU일지라도 그것을 하나의 블랙박스처럼 간주하여 통상적인 DEA 모형을 적용하여 효율성 분석을 할 수도 있지만, 비효율성이 DMU 내 어느 내부 단계에서 초래되는지 세부적으로 분석하기 위해서는 네트워크 DEA 분석이 요구된다. 네트워크 DEA 모형 중에서 가장 기초적인 모형은 DMU의 내부 구조를 단순한 2단계 구조로 간주하는 2단계 네트워크 DEA 모형이다. 공항의 효율성을 DEA로 평가할 때 공항의 전체 프로세스를 하나의 블랙박스로 간주하여 통상적인 DEA 모형으로 분석할 수도 있지만, 다단계 프로세스로 간주하여 보다 세분화된 효율성 분석을 할 수 있다.

본 연구에서는 공항의 프로세스를 2단계 구조로 모형화하고 그 효율성을 분석하고자 한다. 첫 번째 단계는 시설, 인력 등 물리적 자원을 이용하여 여객 및 화물의 처리, 항공기 운항 등 물리적 산출물을 생성하는 운영 단계이고, 두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 생성된 물리적 산출물을 재무적 수익으로 전환하는 수익 단계이다. 2014년 세계항공공교통학회에서 펴낸 전 세계 공항 데이터를 이용하여 상기와 같이 모형화되는 공항의 효율성을 2단계 네트워크 DEA 모형으로 측정한다. 또한, 공항의 지역적 위치, 공항 규모, 상장 여부, 그룹화 경영 여부, 국제선 비율 등 공항의 환경변수와 효율성 간의 관계를 분석한다.

본 연구가 가지는 기존 연구와의 차별적 요소로는 데이터의 신규성이 있다는 점, 운영과 수익 단계로 세분화한 2단계의 구조로서 공항의 효율성을 분석하였다는 점, 그리고 지역적 위치, 규모 등과 같이 기존에 종종 사용되었던 환경변수 이외에 그룹화 경영 여부, 상장 여부, 국제선 비율 등 새로운 환경변수를 고려하여 효율성과의 관계를 분석하였다는 점 등이 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 공항 효율성 분석과 관련한 기존 문헌을 소개하고, 3절에서는 본 연구에서 분석하고자 하는 연구문제를 제시한다. 4절에서는 공항 효율성 분석에 사용할 2단계 네트워크 DEA 모형을 제시하고, 5절에서는 분석 데이터에 대해 소개한다. 이어서 6절에서 실증분석 결과 및 연구문제에 대한 분석 결과를 제시

한 후, 7절에서 요약 및 결론을 제시한다.

2. 문헌 연구

본 절에서는 공항의 효율성 측정 및 분석과 관련한 기존 연구 문헌을 검토하며, 이를 통해 공항 효율성 측정에 적합한 투입요소 및 산출요소를 식별하고 효율성에 영향을 미치는 주요 환경변수를 탐색하고자 한다.

Gillen and Lall (1997)은 미국의 21개 공항들을 대상으로 5년간에 걸쳐 터미널 효율성 및 에어사이드(airside) 효율성을 측정하고, 토빗 회귀분석을 통해 허브공항 여부, 소음정책, 보딩 게이트의 수, 활주로의 수 등 각종 공항 경영 변수들이 효율성에 미치는 영향을 분석하였다.

Sarkis (2000)는 미국 44개의 주요 공항들을 대상으로 운영효율성을 측정하면서 공항의 운영효율성에 영향을 미치는 요소들을 연구하였는데, 주요 항공사의 허브 공항일수록, 복수공항시스템의 일원일수록, 호설지역(snow belt)에 위치하지 않은 공항일수록 효율성이 더 높다는 것을 보였다. Martín and Roman (2001)은 민영화 이전의 스페인 공항들을 대상으로 효율성을 측정하면서 공항 소유권이 운영효율성에 미치는 영향을 연구한 바 있다.

Bazargan and Vasigh (2003)는 미국의 45개의 상업 공항을 미국 연방항공청의 분류기준에 의해 대형/중형/소형 공항으로 분류하고 각 집단별로 효율성을 측정하여 소형공항이 대형/중형공항보다 효율성이 더 높다는 것을 밝혔다. Oum, Yu and Fu (2003)는 아시아, 북미, 유럽 지역에 위치해 있는 50개의 공항을 대상으로 총요소생산성(Total Factor Productivity: TFP)분석법을 사용하여 효율성을 측정하고, 영향변수들을 탐색하였다. 그 결과 공항의 규모가 클수록 규모의 경제 효과로 인해 TFP가 높고, 국제 운송 비율이 높은 공항일수록 TFP가 낮다는 것을 보였다. 반면, 공항의 소유 구조가 공항의 생산성에 미치는 영향은 통계적으로 유의하지 않았다. 또한, 공항 내 매점 등 여러 상업적 서비스와 같은 비항공분야의 활동으로 다각화하고 확대하는 공항일수록 더 높은 TFP를 달성하는 경향이 있고, 처리능력 제약을 가진 공항일수록 항공기 및 고객 지연현상을 초래함에도 불구하고 더 높은 TFP를 보였다.

Pels, Nijkamp and Rietveld (2003)는 확률적 프론티어 분석(stochastic frontier analysis)과 DEA를 이용하여 유럽 공항의 효율성을 측정하였는데, 유럽의 공항들은 평균적으로 비효율적으로 운영되고 있다는 점을 밝혔다. 또한, 항공사의 낮은 좌석이용률로 인한 비효율성이 항공여객수송량 측면에서의 공항 비효율성을 유발하는 주된 요인인 점을 보였고, 유럽의 평균적인 공항은 항공수송 측면과 항공여객수송 측면에서 각각 규모수의 불변과 체증의 특징을 가짐을 보였다.

Yoshida (2004)는 기존의 효율성 분석 모형인 TFP 및 DEA의 단점을 보완한 내생적 가중치 TFP 모형을 개발하여 일본의 67개 공항을 대상으로 효율성을 분석하였다. 분석 결과 일본 국내 장거리 간선 수송 공항들이 지역 공항들보다 더 효율적이라는 것을 보였고, 일본 공항들이 규모수의 체증 특성을 보이므로 최적의 공항 서비스의 제공을 위해서는 정부의 개입이 필요함을 주장하였다.

Lin and Hong (2006)은 세계 20개의 공항을 허브공항과 비허브 공항으로 분류하여 운영성과를 측정하였는데, 공항의 규모와 소유구조는 공항의 효율성과 큰 관계가 없는 반면 허브공항 여부, 공항의 지리적 위치, 그리고 공항이 위치한 국가의 경제성장률은 공항의 운영성과와 강력한 관계가 있다는 것을 제시한 바 있다. Barros and Dieke (2007)는 2001년부터 2003년까지 3년간의 패널 데이터를 이용하여 31개 이탈리아 공항의 효율성을 측정하면서, 공항의 규모, 경영 형태, 단위처리량 등이 효율성에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. 그 결과, 공항의 규모가 클수록, 민간 경영 형태일수록, 단위처리량이 많을수록 효율성이 상대적으로 높다는 것을 보였다.

Table 1. Inputs and outputs in existing literature on airport efficiency (Meng, 2016)

Literature	Airports	Inputs	Outputs
Gillen and Lall (1997)	21 US airports	Number of runways, number of gates, terminal area, number of employees, number of baggage collection belts, number of public parking spots, airport area, runways area	Passenger throughput, cargo throughput, aircraft movements
Sarkis (2000)	44 US airports	Number of runways, number of gates, number of employees, operating costs	Operating revenue, aircraft movements, general aviation movements, passenger throughput, cargo throughput
Marín and Roman (2001)	37 Spanish airports	Labor, capital, and materials costs	Passenger throughput, cargo throughput, aircraft movements
Bazargan and Vasigh (2003)	45 US commercial airports	Operating expenses, non-operating expenses, number of runways, number of gates	Number of air carrier operations, number of other operations, passenger throughput, aeronautical revenue, non-aeronautical revenue, percentage of on time operations
Oum et al. (2003)	50 airports in Asia, North America, and Europe	Number of employees, number of runways, terminal area, number of gates, soft cost	Aircraft movements, passenger throughput, cargo throughput, Non-aviational revenue
Pels et al. (2003)	17 European airports	Airport surface area, number of aircraft parking positions, number of remote aircraft parking positions, number of check-in desks, number of baggage claim units	Passenger throughput, aircraft movements
Yoshida (2004)	67 Japanese airports	Length of runways, terminal area	Passenger throughput, cargo throughput, aircraft movements
Lin and Hong (2006)	20 airports worldwide	Number of employees, number of check-in counters, number of runways, number of parking spaces, number of baggage collection belts, number of boarding gates, terminal area	Passenger throughput, cargo throughput

Barros and Dieke (2007)	31 Italian airports	Labor costs, capital invested, operating costs	Passenger throughput, cargo throughput, aircraft movements, aviational revenue, non-aviational revenue
Lam et al. (2009)	11 Asia-Pacific airports	Number of employees, capital invested, other expenses, trade	Passenger throughput, cargo throughput, aircraft movements
Assaf (2009)	27 UK airports	Number of employees, fixed assets, operating costs, other costs	Operating income
Fung et al. (2008a)	46 Chinese airports	Length of runways, terminal area, parking space, cargo facility space	Passenger throughput, cargo throughput, aircraft movements
Chi-Lok and Zhang (2009)	25 Chinese airports	Length of runways, terminal area	Passenger throughput, cargo throughput, aircraft movements
Fung et al. (2008b)	25 Chinese airports	Length of runways, terminal area	Passenger throughput, cargo throughput, aircraft movements

Lam, Low and Tang (2009)은 2001년부터 2005년까지 5년간에 걸쳐 아시아 태평양지역의 11개 주요 공항을 대상으로 DEA를 이용하여 효율성을 측정하였는데, 기존 연구들과는 달리 효율성을 기술적 효율성, 규모 효율성, 혼합 효율성, 비용 효율성, 배분 효율성 등으로 세분화하여 측정하였다. 그 결과 대부분의 공항들이 기술적 효율성, 규모 효율성, 혼합 효율성이 전반적으로 높았던 반면, 비용 효율성은 지역적 편차가 컸다. Assaf (2009)는 영국의 27개 공항의 효율성을 분석하기 위해 메타프론티어(metafrontier) 모형을 사용하였는데, 이 모형은 공항간 기술적 이질성을 고려하여 효율성을 측정할 수 있다는 장점이 있다. 효율성 측정 결과, 대형 공항이 소형 공항에 비해 일반적으로 더 효율적이라는 점을 보였다.

Fung, Chow, Van Hui and Law (2008a)는 DEA와 내생적 가중치 TFP 모형을 사용하여 중국 공항들의 운영 효율성을 분석하였는데, 실증 분석 결과 중국 공항들 간에는 통계적으로 유의한 효율성 차이가 존재하고 강한 규모수익 체증의 특징이 나타나고 있음을 보였다.

Chi-Lok and Zhang (2009)은 DEA를 이용하여 1995년부터 2006까지 12년간에 걸쳐 25개 중국 공항의 효율성을 측정하면서, 경쟁의 강도와 공항 지역화 및 주식시장 상장 등 정부의 항공 개혁 정책이 공항의 효율성에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과, 상장된 공항, 경쟁이 치열한 상황에 있는 공항의 효율성이 더 높았고, 공항의 효율성 및 기술적 진보는 정부의 공항 지역화 정책과 양의 상관관계를 나타내었다. 반면, 항공 자유화 협정과 항공사 합병이 공항 효율성에 미치는 영향은 유의하지 않았다.

Fung, Wan, Van Hui and Law (2008b)는 중국의 25개 지역 공항들을 대상으로 1995년부터 2004년에 걸친 생산성 변화를 측정하였는데, 매년 3% 이상 생산성이 향상되었음을 보였다. 또한 맘퀴스트 생산성 지수를 분석한 결과, 이러한 생산성 향상의 원인은 효율성 향상 보다는 기술적 진보에 있음을 밝혔다.

상기와 같이 살펴본 공항 효율성 관련 선행연구들에서 선정된 투입 및 산출요소를 정리하면 <Table 1>과 같다.

3. 연구 문제

본 연구에서는 세계 주요 공항들을 대상으로 운영 효율성을 측정하고, 그 효율성에 영향을 미치는 공항 내외부 변수들을 식별하고자 한다. 분석하고자 하는 5가지 연구문제는 다음과 같다.

연구문제 1. 공항의 지리적 위치가 효율성에 미치는 영향

공항이 위치한 지역별, 국가별 경영환경, 수요환경, 법제도적 환경 등은 공항의 효율성에 일정 부분 영향을 미치게 된다. 제2절에서 살펴본 많은 선행연구들에서는 공항이 위치한 지리적 위치 또는 소속 국가에 따라 효율성의 차이를 살펴보고 있다. 본 연구에서도 이와 유사한 연구문제를 상정하는데, 기존 연구와는 달리 아시아, 유럽, 북미 등 보다 광범위한 지역적 구분을 토대로 효율성의 차이를 살펴보고자 한다.

연구문제 2. 공항규모가 효율성에 미치는 영향

규모의 경제성이 발현되면 조직의 비용구조에 큰 영향을 미치고 이에 따라 동일한 투입량에 비해 더 많은 산출량을 가능케 한다. 따라서 공항의 규모가 공항의 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 분석하는 것은 의미가 있고, 공항의 확장, 축소 등 투자 의사결정에 중요한 정보를 제공할 수 있다. Martín-Cejas (2002)는 다음의 수식으로 계산되는 교통운송단위(Units of Traffic transported, UT)로서 공항의 규모를 측정하는 방법을 제안한 바 있다.

$$\text{교통운송단위(UT)} = \text{여객처리량(명)} + \text{화물처리량(kg)}/100$$

Lin and Hong (2006)은 위 수식을 이용해서 큰 공항과 작은 공항을 구분하는 기준을 제시하였는데, $UT \geq 4 \times 10^7$ 이면 큰 공항이고 $UT < 4 \times 10^7$ 작은 공항으로 구분한다. 본 연구에서 이 기준을 이용해서 공항을 대형 및 소형 두 집단으로 구분하고 효율성의 차이가 있는지 분석한다.

연구문제 3. 공항 상장여부가 효율성에 미치는 영향

기업이 상장을 한다는 것은 증권거래소에서 해당 기업의 주식을 매매할 수 있도록 하는 것을 의미하는데, 기업은 주식시장에서 주식 매매를 통해서 자금을 유입할 수 있으며 보다 원활한 현금 유동성을 확보할 수 있다. 또한 이자부담이 줄어들어 더 많은 자금을 연구개발 등 기업의 경쟁력을 향상시킬 수 있는 곳에 투자할 수 있게 된다. 기업이 공개가 되는 만큼 신용도가 높아지고 기업의 브랜드 가치가 올라가는 효과도 부수적으로 발생한다. 이러한 상장의 효과가 공항의 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보는 것은 공항 경영에서 재무적 의사결정을 내리는 과정에서 중요한 정보를 제공할 수 있다. 본 연구에서는 분석 대상 공항을 상장공항과 비상장공항으로 구분하고 그들 간에 효율성 차이가 실제로 발생하는지 실증 분석한다.

연구문제 4. 그룹화 경영(Grouping Management) 여부가 공항 효율성에 미치는 영향

그룹화 경영이란 소유권 관계를 매개로 합자, 협력, 자본투자 등의 방법을 통해 3개 또는 그 이상의 독립기업 법인을 연결시키는 것을 의미한다. 그룹 내 소속 기업들은 연구개발, 제조, 판매, 관리 등의 부문에서 긴밀하게 연결되어 협력적으로 운영되고, 이를 통해 소속 기업들은 자원을 공유할 수 있으며 비용을 줄일 수 있다.

본 연구에서는 공항의 그룹화 경영 여부가 공항의 효율성에 실제로 어떠한 영향을 미치는지 실증적으로 분석하여 공항의 경영관리적 의사결정에 중요한 정보를 제공하고자 한다.

연구문제 5. 국제선 비율이 공항 효율성에 미치는 영향

국제선은 국내선보다 더 많은 시설과 서비스를 제공할 필요가 있는 반면 국내선보다 더 많은 수익을 창출할 수 있다. 따라서 공항의 국제선 비율이 공항 효율성, 특히 수익 효율성에 어느 정도 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 공항의 국제선 비율이 높아짐에 따라 공항 효율성에 어떠한 변화가 나타나는지 분석한다.

4. 모형 및 방법론

4.1 2단계 네트워크 DEA 모형

자료포락분석(DEA)은 다수의 성과척도를 가지는 다수의 의사결정단위(DMU)들 간의 상대적 효율성 또는 복합 벤치마킹 지표를 계산하는 방법론이다. 최근 들어서는 내부 구조를 가지는 DMU를 대상으로 한 네트워크 DEA에 관한 연구가 상당히 많이 진행되어 왔는데, 이 분야에 대한 종합적 고찰 논문으로는 Cook et al. (2010), Castelli et al. (2010), Kao (2014) 등이 있다. 다양한 내부 구조의 형태들 중에서 가장 기본적으로 널리 사용되는 것 중 하나는 2단계 네트워크 프로세스이며 첫 번째 단계로부터의 산출요소(중간요소라고 칭함)가 두 번째 단계의 투입요소가 되는 구조를 가진다.

2단계 네트워크 프로세스의 효율성을 측정하기 위한 여러 가지 접근법들이 문헌에 제시되어 왔는데, 그 중 가장 단순한 방법으로는 표준 DEA 접근법이라 칭하는 것으로서 두 개의 개별 단계들을 독립적인 DMU로 간주하여 그들의 효율성을 별개로 측정하는 방법이다. 예를 들어, Seiford and Zhu (1999)는 미국의 상위 55개 상업은행들의 성과를 평가하면서 독립적 2단계 프로세스 구조를 사용하였는데, ‘수익성’으로 부르는 첫 번째 단계에서는 종업원, 자산, 자본을 투입요소로 사용하여 수익과 이익을 발생시키고, 그 이후 ‘시장성’이라고 칭하는 두 번째 단계에서는 수익과 이익이라는 투입요소를 시장가치, 투자수익, 주당순이익 등의 산출요소로 변환한다. Sexton and Lewis (2003)는 2개의 메이저리그에 속한 30개 야구단의 성과를 평가하였는데, 야구단의 운영을 프런트와 필드 운영의 2단계 프로세스로 간주하였다. Chilingirian and Sherman (2004)은 진료기관을 2단계 프로세스로 간주하여 그 성과를 평가하였는데, 첫 번째 단계는 관리자 통제 프로세스로서 병원 관리자가 병원의 자산을 관리하는 단계를 의미하고, 두 번째 단계는 의료진 통제 프로세스로서 환자들에게 의료 서비스를 제공하기 위해 병원의 자산을 어떻게 언제 활용할지를 결정하는 단계를 뜻한다. 상기의 연구들에서는 CCR(Charnes et al., 1978) 또는 BCC (Banker et al., 1984) 모형과 같은 표준적인 DEA 모형을 이용하여 전체 시스템 효율성을 비롯하여 개별 단계별 효율성을 분리하여 독립적으로 측정하였다.

표준 DEA 접근법은 간단하고 사용하기에 용이하지만, 중간요소로 인해 두 단계 간의 상충 현상을 초래할 수도 있다. 예를 들어, 두 번째 단계의 효율성을 높이기 위해서는 두 번째 단계의 투입요소(즉, 중간요소)의 양을 줄여야

하는데, 이는 첫 번째 단계의 산출요소 양을 줄이는 것을 의미하고 이에 따라 첫 번째 단계의 효율성이 낮아지는 현상이 초래된다(Cook et al., 2010). 이러한 상충 문제를 해결하기 위해 Kao and Hwang (2008)의 2단계 네트워크 DEA 모형을 비롯해 다양한 DEA 모형들이 개발되었다. Kao and Hwang (2008) 모형의 중요한 특징은 각 DMU의 전체 효율성이 두 단계의 효율성의 곱으로 표현되고 중간요소에 부여되는 가중치는 그것이 (두 번째 단계의) 투입요소로 간주되든 (첫 번째 단계의) 산출요소로 간주되든 동일하게 설정된다는 점이다. 이로써 표준 DEA 접근법이 가지는 문제를 해결할 수 있고, 표준 DEA 접근법에 비해 2단계 프로세스의 효율성을 좀 더 타당하게 측정할 수 있으며 비효율성의 원인을 좀 더 정확하게 식별해 낼 수 있게 된다.

2단계 네트워크 DEA 모형에서는 각각의 DMU가 <Figure 1>과 같은 구조를 가진다고 가정한다.

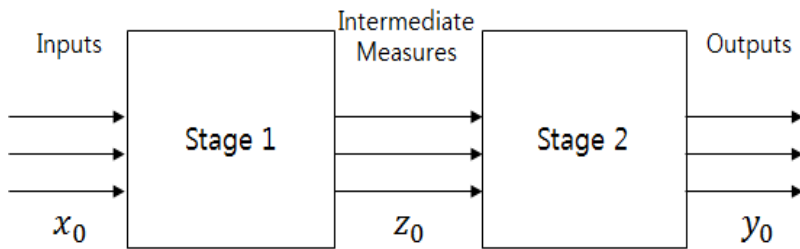


Figure 1. General two-stage process

각각의 DMU j ($j = 1, 2, \dots, n$)는 m 개의 투입요소 x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$)가 첫 번째 단계(Stage 1)에 투입되고 이 단계로부터 D 개의 산출요소 z_{dj} ($d = 1, 2, \dots, D$)가 산출된다. 이 산출요소를 중간요소로 칭하며 두 번째 단계(Stage 2)의 투입요소가 된다. 두 번째 단계로부터의 산출요소는 y_{rj} ($r = 1, 2, \dots, s$)로 표시한다.

Kao and Hwang (2008)이 제시한 불변 규모수의 투입지향 2단계 네트워크 DEA 모형에서 DMU 0의 효율성 점수는 다음의 선형계획 모형을 풀어 산출한다.

$$\begin{aligned}
 & \max \quad uy_0 \\
 & s.t. \quad wZ - vX \leq 0, \\
 & \quad \quad uY - wZ \leq 0, \\
 & \quad \quad vx_0 = 1, \\
 & \quad \quad v, u, w \geq 0.
 \end{aligned}
 \tag{P}$$

여기서 $X = (x_{ij}) \in R^{m \times n}$, $Z = (z_{dj}) \in R^{D \times n}$, $Y = (y_{rj}) \in R^{s \times n}$ 는 각각 투입요소, 중간요소, 산출요소의 데이터 행렬을 나타내고, v, w, u 는 각 요소에의 최적 가중치를 나타내는 적절한 차원의 의사결정변수를 나타낸다. 모형에서 중간요소에 대해서는 그것이 첫 번째 단계의 산출요소로 간주되든 두 번째 단계의 투입요소로 간주되든 동일한 가중치(w)가 부여된다. 모형을 풀어 도출되는 최적 목적함수 값인 $\theta^* = u^* y_0$ 이 DMU 0의 전체 효율성 점수가 되며 첫 번째 단계와 두 번째 단계의 효율성 점수는 각각 $\theta_1^* = w^* z_0$ 와 $\theta_2^* = u^* y_0 / w^* z_0$ 가 된다. 여기서 *는 최적해를 의미한다. 또한, 전체 효율성 점수는 각 단계별 효율성 점수의 곱으로 표현됨을 알 수 있다.

4.2 공항 효율성 평가를 위한 2단계 네트워크 DEA 모형

본 연구에서는 공항의 프로세스를 여객 및 화물의 운송과 관련한 물리적 운영 단계와 이를 통해 수익이 창출되는 단계로 구성되는 2단계 프로세스로 간주하고, 앞서 살펴본 Kao and Hwang (2008)의 2단계 네트워크 DEA모형을 사용하여 전 세계 공항의 효율성을 분석한다. 1단계인 운영 단계는 투입 자원을 이용하여 여객 및 화물 처리 등의 물리적인 산출물을 생성하는 단계이고, 2단계인 수익 단계는 1단계로부터 생성된 물리적 산출물을 금전적인 수익으로 전환하는 단계이다. 일반적인 기업 운영의 관점에서 보았을 때, 1단계는 생산 단계이고, 2단계는 영업 단계라고 볼 수도 있다.

일반적으로 DEA를 통한 효율성 분석에서는 투입요소 및 산출요소의 선정이 아주 중요한데, 각 요소들을 어떻게 선정하느냐에 따라 효율성 측정결과가 크게 달라질 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 운영 단계와 수익 단계로 구성되는 2단계 공항 프로세스에서의 투입요소, 중간요소, 산출요소를 선정하면서 공항 운영에 직접적으로 관여된다고 일반적으로 간주되는 요소들, <Table 1>에서 정리된 기존연구들에서 채택된 요소들, 그리고 데이터의 가용성 등을 고려하여 선정하였다.

먼저, 공항의 운영 효율성이 측정되는 운영 단계에서의 투입요소로는 운영비용, 활주로 수, 터미널 면적, 종업원 수를 채택하였고, 운영 단계의 산출요소이면서 이어지는 수익 단계에서 투입요소가 되는 중간요소로는 여객처리량, 화물처리량, 운항회수를 선정하였다. 다음으로 공항의 수익 효율성이 측정되는 수익 단계에서는 앞서 운영 단계의 산출요소인 중간요소를 투입요소로 하고, 산출요소로는 공항의 수익을 선택하였다.

2단계 공항 프로세스의 구조와 투입, 산출, 중간요소의 선택을 도식화하면 <Figure 2>와 같고, 각 요소별 정의는 <Table 2>와 같다.

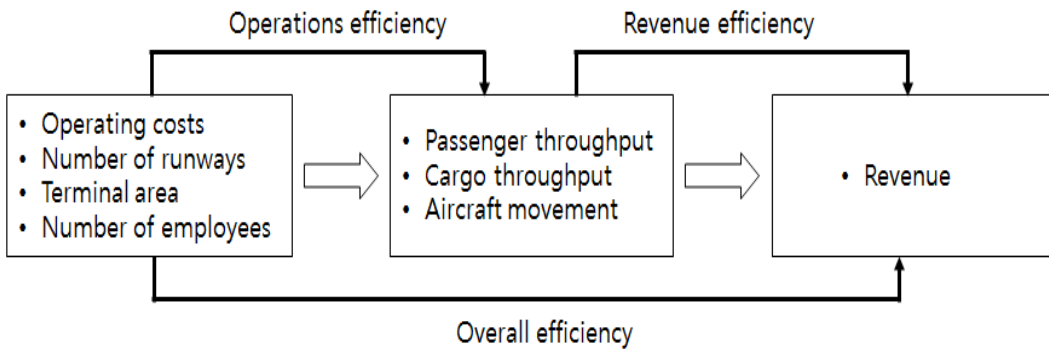


Figure 2. Input, output, and intermediate factors in the two-stage airport process

Table 2. Definition of input, output, and intermediate factors

Type	Factor	Unit	Definition
Inputs	Operational costs	Million dollars	Total annual operating costs including labor and facility costs
	Number of runways	-	Total number of runways in the airport
	Terminal area	m ²	Total terminal area size in the airport
	Number of employees	-	Total number of workers employed in the airport
Intermediates	Passenger throughput	Thousand	Total number of domestic and international passengers carried
	Cargo throughput	Ton	Total amount of domestic and international cargo shipped
	Aircraft movements	Times	Total number of domestic and international aircraft movements
Outputs	Revenue	Million dollars	Total annual airport revenue

Table 3. Sample airports and their characteristics

Airports	IATA Code	Country	Region	Size	Listed?	Group ?	% International
Malaga-Costa del Sol	AGP	Spain	Europe	Small	No	Yes	78.7%
Albany International	ALB	USA	N. America	Small	No	No	0.3%
Alicante	ALC	Spain	Europe	Small	No	Yes	79.6%
Amsterdam Schiphol	AMS	Netherlands	Europe	Large	Yes	Yes	100.0%
Ted Stevens Anchorage International	ANC	USA	N. America	Small	No	No	2.7%
Stockholm-Arlanda	ARN	Sweden	Europe	Small	Yes	Yes	75.2%
Athens International	ATH	Greece	Europe	Small	No	No	66.0%
Hartsfield-Jackson Atlanta International	ATL	USA	N. America	Large	No	No	10.4%
Barcelona El Prat	BCN	Spain	Europe	Small	No	Yes	63.0%
Belgrade Nikola Tesla	BEG	Serbia	Europe	Small	Yes	No	100.0%
Bergamo-Orio al Serio	BGY	Italy	Europe	Small	No	No	69.3%
Birmingham	BHX	England	Europe	Small	Yes	No	86.7%
Suvarnabhumi	BKK	Thailand	Asia	Large	Yes	Yes	73.9%
Bologna	BLQ	Italy	Europe	Small	Yes	No	72.2%

Nashville International	BNA	USA	N. America	Small	No	No	0.5%
Boston Logan International	BOS	USA	N. America	Small	No	No	14.0%
Budapest Ferenc Liszt International	BUD	Hungary	Europe	Small	No	No	100.0%
Bob Hope	BUR	USA	N. America	Small	No	No	0.0%
Guangzhou Baiyun International	CAN	China	Asia	Large	Yes	No	17.6%
Paris Charles de Gaulle Airport	CDG	France	Europe	Large	Yes	Yes	91.3%
Mae Fah Luang–Chiang Rai International	CEI	Thailand	Asia	Small	Yes	Yes	0.5%
Jakarta Soekarno–Hatta International	CGK	Indonesia	Asia	Large	No	Yes	20.5%
Rome Ciampino	CIA	Italy	Europe	Small	Yes	Yes	79.3%
Charlotte Douglas International	CLT	USA	N. America	Small	No	No	7.4%
Bandaranaike International	CMB	Sri Lanka	Asia	Small	No	No	84.5%
Port Columbus International	CMH	USA	N. America	Small	No	No	0.5%
Chiang Mai International	CNX	Thailand	Asia	Small	Yes	Yes	11.3%
Copenhagen Kastrup	CPH	Denmark	Europe	Small	Yes	No	89.3%
Dallas Love Field	DAL	USA	N. America	Small	No	No	0.0%
Ronald Reagan Washington National	DCA	USA	N. America	Small	No	No	2.0%
Denver International	DEN	USA	N. America	Large	No	No	3.4%
Dublin	DUB	Ireland	Europe	Small	No	Yes	99.4%
Düsseldorf	DUS	Germany	Europe	Small	No	No	77.4%
Edinburgh	EDI	Scotland	Europe	Small	No	No	50.4%
Rome Leonardo Da Vinci/Fiumicino	FCO	Italy	Europe	Small	Yes	Yes	65.5%
Gimpo International	GMP	Korea	Asia	Small	No	Yes	21.1%
Meilan International	HAK	China	Asia	Small	Yes	No	4.0%

Hat Yai International	HDY	Thailand	Asia	Small	Yes	Yes	10.7%
Hong Kong International	HKG	China	Asia	Large	No	No	100.0%
Phuket International	HKT	Thailand	Asia	Small	Yes	Yes	52.6%
Incheon International	ICN	Korea	Asia	Large	No	No	98.4%
Istanbul Atatürk	IST	Turkey	Europe	Large	Yes	Yes	63.7%
Kansai International	KIX	Japan	Asia	Small	No	No	68.0%
Kuala Lumpur International	KUL	Malaysia	Asia	Small	Yes	Yes	69.2%
London Gatwick International	LGW	England	Europe	Small	No	No	88.5%
Minneapolis/St. Paul International	MSP	USA	N. America	Small	No	No	6.8%
Central Japan International	NGO	Japan	Asia	Small	No	No	48.7%
Tokyo Narita International	NRT	Japan	Asia	Small	No	No	90.1%
Will Rogers World	OKC	USA	N. America	Small	No	No	0.0%
LA/Ontario International	ONT	USA	N. America	Small	No	No	1.5%
Palm Beach International	PBI	USA	N. America	Small	No	No	1.5%
Beijing Capital International	PEK	China	Asia	Large	Yes	Yes	23.4%
Theodore Francis Green State	PVD	USA	N. America	Small	No	No	0.2%
Shanghai Pudong International	PVG	China	Asia	Large	Yes	No	37.0%
San Diego International	SAN	USA	N. America	Small	No	No	3.1%
Shenzhen Bao'an International	SZX	China	Asia	Small	Yes	No	4.0%
Tampa International	TPA	USA	N. America	Small	No	No	2.7%
Tulsa International	TUL	USA	N. America	Small	No	No	0.0%
Xiamen Gaoqi International	XMN	China	Asia	Small	Yes	No	12.5%

한편, 제3절에서 제시한 연구문제를 해결하기 위해서는 상기와 같은 모형으로 측정된 공항의 효율성 점수와 각 연구문제와 관련한 환경변수와의 관계를 통계적으로 분석할 필요가 있다. 이러한 유형의 연구를 통상적으로 2단계 DEA 분석이라고 칭하는데, 여기서의 ‘2단계 분석’이란 DEA로 효율성 점수를 측정하는 것을 1단계 분석 과정으로 하고 그 후속으로 효율성 점수와 여타 환경변수와의 통계적 관계를 분석하는 것을 2단계 분석 과정으로 한다는 의미를 가진다. 즉, <Figure 1>과 같은 2단계 프로세스에 대한 DEA 모형을 부르는 명칭인 ‘2단계 네트워크 DEA’와는 다른 의미를 가진다.

본 연구에서는 효율성 점수와 연구문제와 관련한 환경변수들 간의 통계적 관계를 분석하기 위해, 이산 환경변수에 대해서는 비모수 통계 검정법인 Kruskal-Wallis 검정법과 Wilcoxon rank-sum 검정법을 적용하고, 연속 환경변수에 대해서는 회귀분석을 적용한다. DEA 모형의 특성상 효율성 점수가 0과 1 사이의 값으로 출력되고 경계값(0 또는 1)에 가까운 값들이 많을 수 있는데, 이 경우 효율성 점수를 종속변수로 하는 통상적인 최소자승 기반의 회귀분석을 적용할 경우 추정계수가 편의성을 가질 수 있다는 우려가 있다. 따라서 이 경우에는 효율성 점수 데이터를 중도절단 자료(censored data)로 간주하여 토빗(Tobit) 회귀분석을 적용하는 것이 적절하다는 견해가 있다. 반면, 효율성 점수 데이터는 경계 범위 밖에 값들을 고의적으로 버리는 중도절단자료에 해당하지 않고 DEA 모형 자체의 특성에 따라 자연스럽게 산출된 값이므로 통상적인 회귀분석을 적용하는데 큰 문제가 없다는 견해도 있다. 이에 본 연구에서는 분석의 편의상 통상적인 회귀분석을 선택하였고, 실제 데이터를 대상으로 산출된 효율성 점수를 살펴보다도 경계값에 근접하는 경우가 드물게 나타난다는 점에 근거하여 통상적인 회귀분석을 사용하여도 큰 문제가 없다고 판단하였다. 한편, 2단계 네트워크 DEA 모형의 계산은 마이크로소프트 엑셀 상에 데이터 입력과 모형 구성을 한 후 해 찾기 도구를 사용하여 수행하였고, 비모수 통계 검정법 및 회귀분석은 R version 3.2.2를 사용하여 수행하였다.

5. 분석 데이터

세계항공교통학회(Air Transport Research Society, ATRS)에서는 항공교통과 관련한 각종 정책 이슈를 연구하는 단체로서, 세계 공항과 관련한 데이터를 수집, 편집, 발간하고 있다. 본 연구에서는 ATRS에서 2014년에 발간한 Airport Benchmarking Report에서 필요한 데이터를 확보하였는데, 보고서에 포함된 200개의 공항들 중에서 연구 모형에서 요구되는 데이터에 대한 가용성과 지역적 안배를 고려하여 아시아 지역 20개, 유럽 지역 20개, 북미 지역 19개, 총 59개의 공항을 선별하였다.

분석 대상인 59개 공항의 이름을 비롯해, 공항별 지리적 위치, 규모, 상장 여부, 그룹화 경영 여부, 국제선 비율 등의 환경변수의 값은 <Table 3>과 같다. 수집된 데이터를 토대로 <Table 2>에 제시된 투입요소, 중간요소, 산출요소의 기술통계량을 산출하면 <Table 4>와 같다.

Table 4. Descriptive statistics for input, output, and intermediate factors

Factors	Average	Standard deviation	Max	Min
Operating costs	232	273	1,522	6
Number of runways	2.4	1.3	6	1
Terminal area	269,383	315,654	1,523,886	7,257
Number of employees	1,192	1,372	6,266	108
Passenger throughput	23,077	20,988	90,477	926
Cargo throughput	520,315	892,834	4,040,000	67
Aircraft movements	208,614	175,372	924,110	6,674
Revenue	197	255	1,136	3

Table 5. Overall, operations, and profitability efficiency scores of airports

Airport IATA code	Scores		
	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
BKK	0.2209	0.8571	0.2577
CAN	0.2357	0.9900	0.2380
CEI	0.0756	0.4404	0.1717
CGK	0.1996	1.0000	0.1996
CMB	0.0403	0.4862	0.0829
CNX	0.1726	0.6235	0.2769
GMP	0.1996	0.7569	0.2638
HAK	0.1340	0.6526	0.2053
HDY	0.1714	0.6389	0.2682
HKG	0.6686	1.0000	0.6686
HKT	0.1733	0.6105	0.2839
ICN	0.4945	0.8653	0.5715
KIX	0.6847	0.6847	1.0000
KUL	0.0449	0.4740	0.0948
NGO	0.4680	0.5329	0.8783
NRT	0.7060	0.9223	0.7654
PEK	0.1473	1.0000	0.1473
PVG	0.1705	0.8683	0.1964
SZX	0.1842	1.0000	0.1842
XMN	0.1625	0.7569	0.2147
AGP	0.0728	0.2617	0.2783
ALC	0.0905	0.3057	0.2960
AMS	0.2234	0.5558	0.4019
ARN	0.1614	0.5680	0.2843
ATH	0.2543	0.3677	0.6916
BCN	0.2101	0.4759	0.4415
BEG	0.1056	0.2652	0.3980
BGY	0.1157	0.6579	0.1759
BHX	0.1560	0.4004	0.3896
BLQ	0.0505	0.4988	0.1013
BUD	0.2183	0.3737	0.5841
CDG	0.2206	0.5792	0.3810
CIA	0.2195	0.6245	0.3515
CPH	0.2707	0.5070	0.5340
DUB	0.1768	0.5248	0.3368

DUS	0.1411	0.3876	0.3642
EDI	0.1887	0.5545	0.3404
FCO	0.1797	0.5081	0.3537
IST	0.1399	0.8120	0.1723
LGW	0.4168	1.0000	0.4168
ALB	0.0559	0.2954	0.1894
ANC	0.0545	1.0000	0.0545
ATL	0.0854	1.0000	0.0854
BNA	0.0257	0.4011	0.0642
BOS	0.1273	0.4610	0.2762
BUR	0.0372	0.5717	0.0650
CLT	0.0915	1.0000	0.0915
CMH	0.0407	0.2839	0.1433
DAL	0.0206	0.4013	0.0514
DCA	0.0978	0.6249	0.1565
DEN	0.1057	0.5356	0.1974
MSP	0.0971	0.6029	0.1611
OKC	0.1305	0.3546	0.3681
ONT	0.0075	0.4878	0.0153
PBI	0.0713	0.3804	0.1874
SAN	0.0597	1.0000	0.0597
TPA	0.2717	1.0000	0.2717
TUL	0.0445	0.2962	0.1504
PVD	0.0911	0.3852	0.2365

6. 실증분석 결과

6.1 효율성 점수 분포

2단계 네트워크 DEA 모형을 통해 분석 대상 59개 공항의 전체 효율성(overall efficiency), 운영 효율성(operations efficiency), 수익 효율성(profitability efficiency)을 측정된 결과는 <Table 5>와 같고, 효율성 분포 및 평균은 <Figure 3, 4, 5> 및 <Table 6>과 같다.

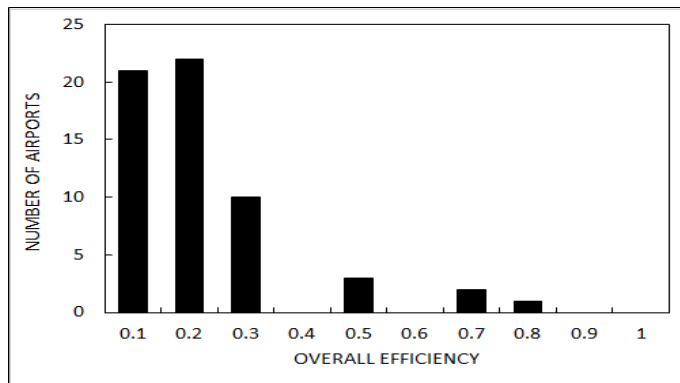


Figure 3. Overall efficiency score distribution

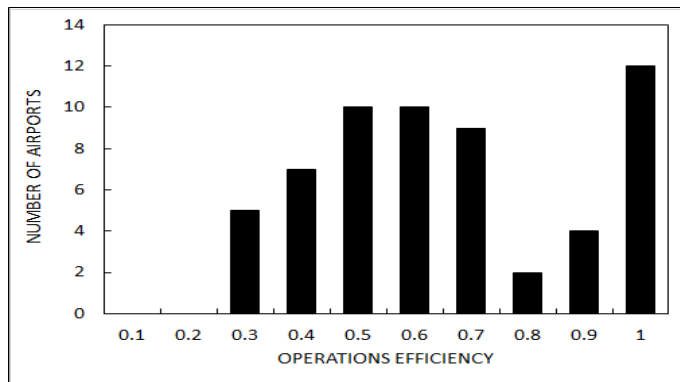


Figure 4. Operations efficiency score distribution

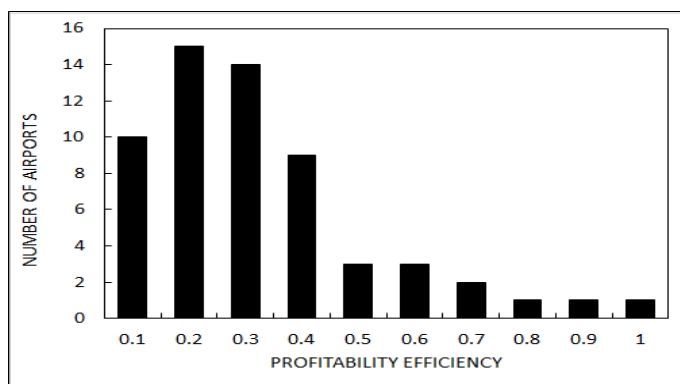


Figure 5. Profitability efficiency score distribution

Table 6. Efficiency score averages

Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
0.1777	0.6181	0.2896

전체 효율성은 전반적으로 매우 낮은 편이고 평균은 0.1777에 불과하였으며 효율적이라고 판별된 공항은 존재하지 않았다. 운영 효율성의 평균이 0.6181인 반면 수익 효율성의 평균은 0.2896에 불과하였고, 운영 단계에서 효율적이라고 판별된 공항은 10개(SAN, CLT, ATL, HKG, LGW, CGK, ANC, SZX, PEK, TPA)인 반면 수익 단계에서 효율적인 공항은 1개(KIX)로 나타났다.

이러한 결과로 볼 때, 세계 공항의 전체 효율성이 낮은 이유가 운영 측면보다는 수익 측면에서 발생하는 비효율성에 기인한다는 것을 알 수 있다.

6.2 연구문제 1: 지리적 위치의 영향

공항이 위치한 지역을 아시아, 유럽, 그리고 북미로 나누고 이에 따른 효율성 분포를 살펴보면 <Figure 6, 7, 8>과 같고, 지역별 효율성 평균은 <Table 7>과 같다.

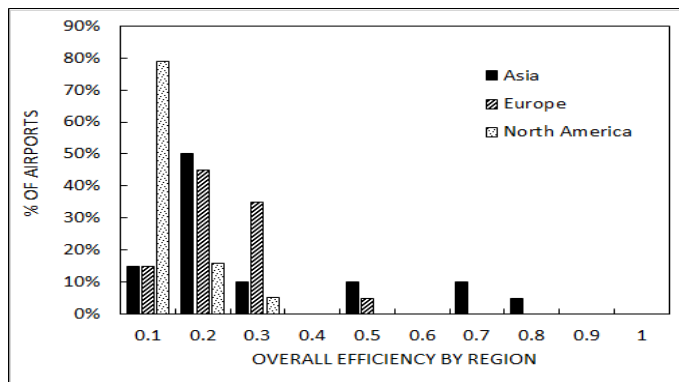


Figure 6. Overall efficiency scores by region

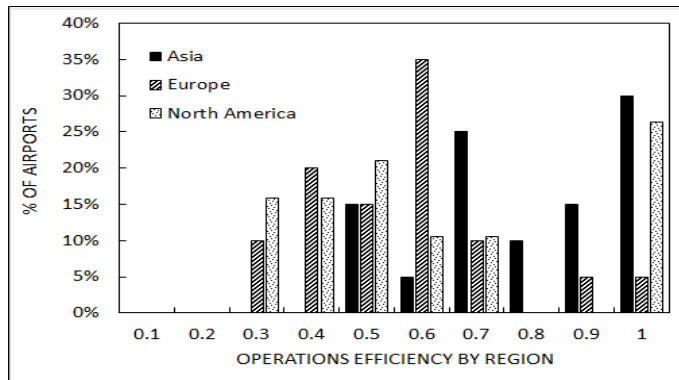


Figure 7. Operations efficiency scores by region

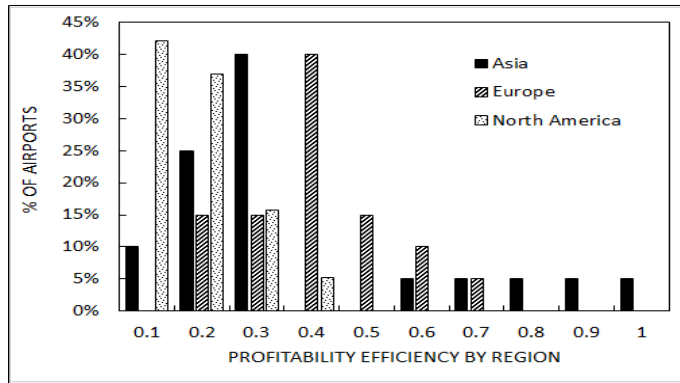


Figure 8. Profitability efficiency scores by region

Table 7. Efficiency score averages by region

Region	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
Asia	0.2677	0.7580	0.3485
Europe	0.1806	0.5114	0.3647
North America	0.0798	0.5833	0.1487

전체 효율성을 비롯해 운영 효율성 측면에서는 아시아 지역에 위치한 공항들의 평균 효율성이 다른 지역에 비해 상대적으로 높았고, 수익 효율성의 경우는 유럽 지역 공항들의 평균 효율성이 아시아 지역에 비해 약간 높은 편이었다. 북미 지역의 경우 전체 효율성과 수익 효율성의 평균이 타 지역에 비해 크게 낮은 반면, 운영 효율성은 아시아 지역에 비해서는 낮았지만 유럽 지역보다는 높은 편이었다.

지역별 효율성 차이를 통계적으로 검정하기 위해 우선 Kruskal-Wallis 검정법을 적용하여 지역 간 공항 효율성에 차이가 없다는 귀무가설(H_0)을 검정하였는데, 그 결과는 <Table 8>과 같다.

Table 8. Kruskal-Wallis test results on efficiency differences by region

H_0 : Asia = Europe = North America	Chi-square	Degree of freedom	p-value
Overall efficiency	20.897	2	2.899e-05
Operations efficiency	10.798	2	0.004522
Profitability efficiency	21.647	2	1.993e-05

검정 결과 전체 효율성, 운영 효율성, 수익 효율성 모든 면에서 지역 간 효율성의 차이가 통계적으로 유의한 것(유의수준 5%)으로 나타났다. 지역 간 쌍별 비교를 위해 Wilcoxon rank-sum 검정법을 적용한 결과는 <Table 9>에 나와 있다. 유의수준 5% 하에서 아시아 지역과 유럽 지역 간 전체 효율성의 차이는 유의하지 않지만, 유럽과 북미 그리고 아시아와 북미 간에는 전체 효율성의 차이가 유의하였다. 운영 효율성의 경우에는 아시아와 유럽, 아시아와 북미 간에는 유의한 차이가 있었지만, 유럽과 북미 간 차이는 유의하지 않았다. 수익 효율성의 경우, 유럽과 북미, 아시아와 북미 간에는 유의한 차이가 나타난 반면, 아시아와 유럽 간에는 유의성이 확보되지 못하였다.

Table 9. Wilcoxon rank-sum test results on pairwise efficiency differences by region

H ₀	p-value		
	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
Asia = Europe	0.4777	0.0004194	0.07178
Europe = North America	3.561E-05	0.6667	1.503E-06
Asia = North America	2.604E-05	0.03789	0.001379

6.3 연구문제 2: 공항 규모의 영향

공항의 규모를 대형과 소형으로 나누고 이에 따른 효율성 분포를 살펴보면 <Figure 9, 10, 11>과 같고, 규모별 효율성 평균은 <Table 10>과 같다. 공항의 규모를 대형과 소형으로 나누는 기준은 3절에서 언급한대로 교통운송단위를 기준으로 판별하였다.

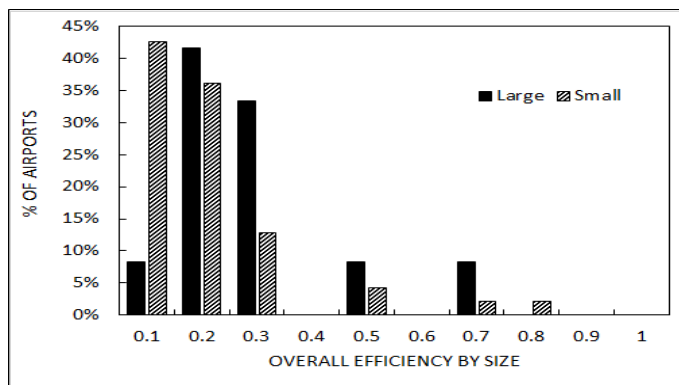


Figure 9. Overall efficiency scores by size

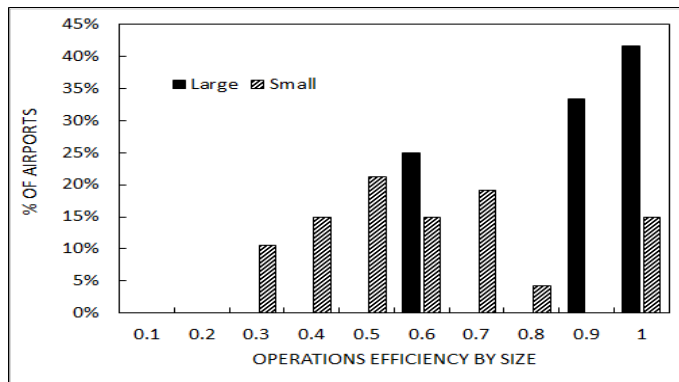


Figure 10. Operations efficiency scores by size

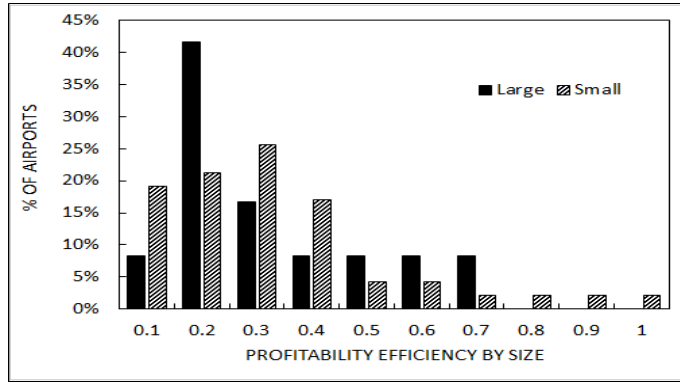


Figure 11. Profitability efficiency scores by size

Table 10. Efficiency score averages by size

Airport size	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
Large	0.2427	0.8386	0.2931
Small	0.1611	0.5619	0.2887

전체 효율성을 비롯해 운영 및 수익 효율성 모든 측면에서 대형 공항의 평균 효율성이 소형 공항을 상회하였다. 효율성 차이를 통계적으로 살펴보기 위해 Wilcoxon rank-sum 검정법을 적용하여 규모 간 공항 효율성에 차이가 없다는 귀무가설(H_0)을 검정하였는데, 그 결과는 <Table 11>과 같다.

Table 11. Wilcoxon rank-sum results on efficiency differences by size

H_0	p-value		
	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
Large = Small	0.02305	0.0008631	0.8163

검정 결과, 전체 효율성과 운영 효율성에 대한 대형 공항과 소형 공항 간 차이가 통계적으로 유의하였고, 수익 효율성의 경우는 유의하지 않았다(유의수준 5%).

6.4 연구문제 3: 상장 여부의 영향

공항의 상장 여부에 따라 효율성에 어떤 차이가 발생하는지 살펴보기 위해, 분석 대상 공항들을 상장 공항과 비상장 공항으로 구분하였다. 북미 지역의 경우 모든 공항을 정부가 소유하고 상장 공항은 없으므로, 유럽 및 아시아 지역 공항만을 대상으로 분석하였다. 상장 공항과 비상장 공항의 효율성 분포를 살펴보면 <Figure 12, 13, 14>와 같고, 상장 여부별 효율성 평균은 <Table 12>와 같다.

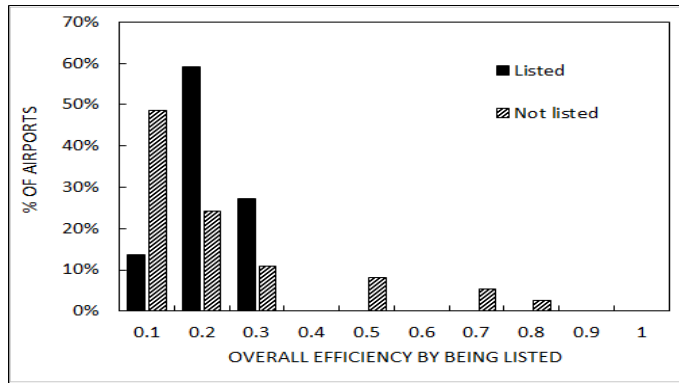


Figure 12. Overall efficiency scores by listed vs. not-listed

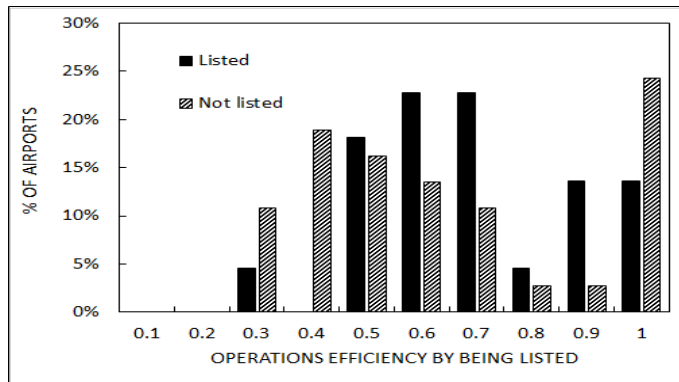


Figure 13. Operations efficiency scores by listed vs. not-listed

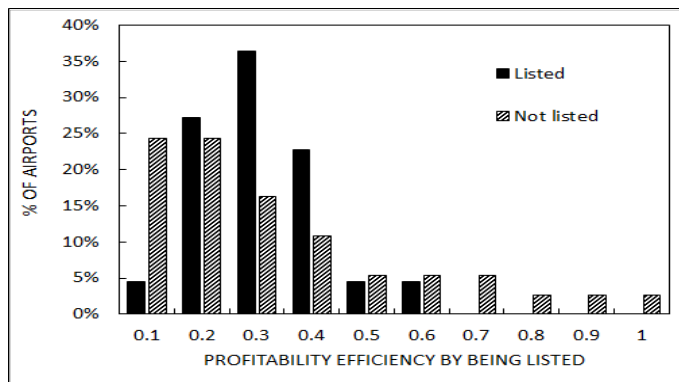


Figure 14. Profitability efficiency scores by listed vs. not-listed

Table 12. Efficiency score averages by listed vs. not-listed

Listed or not	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
Listed	0.1646	0.6469	0.2685
Not listed	0.1855	0.6011	0.3022

전체 효율성 및 수익 효율성의 경우 비상장 공항의 평균 효율성이 상장 공항에 비해 더 높았고, 운영 효율성의 경우는 상장 공항이 더 높았다. Wilcoxon rank-sum 검정법을 적용하여 상장 여부 간 공항 효율성에 차이가 없다는 귀무가설(H_0)을 검정한 결과는 <Table 13>과 같다.

Table 13. Wilcoxon rank-sum test results on efficiency differences by listed vs. not-listed

H_0	p-value		
	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
Listed = Not listed	0.08431	0.6768	0.008345

검정 결과, 상장 여부에 따른 전체 효율성과 운영 효율성의 차이는 유의하지 않은 반면, 수익 효율성의 차이는 유의하였다(유의수준 5%).

6.5 연구문제 4: 그룹화 경영 여부의 영향

공항의 그룹화 경영 여부가 공항의 효율성에 실제로 어떠한 영향을 미치는지 실증적으로 분석하기 위해, 분석 대상 공항들을 그룹화 경영 여부에 따라 두 집단으로 구분하였다. 북미 지역의 경우 모든 공항을 정부가 소유하고 그룹화 경영이 적용되는 공항은 없으므로, 유럽 및 아시아 지역 공항만을 대상으로 분석하였다.

그룹화 경영을 하는 공항과 그렇지 않은 공항의 효율성 분포를 살펴보면 <Figure 15, 16, 17>과 같고, 그룹화 경영 여부별 효율성 평균은 <Table 14>와 같다.

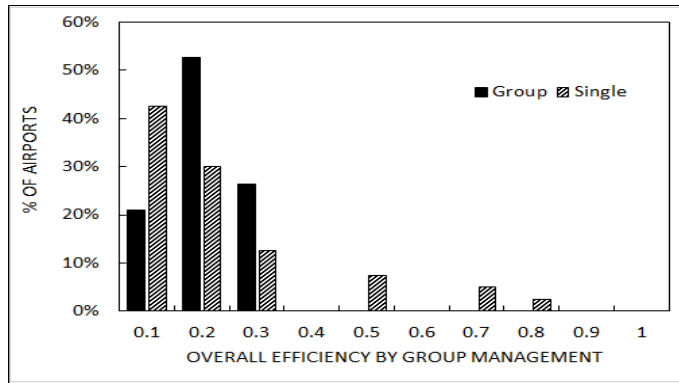


Figure 15. Overall efficiency scores by group vs. single

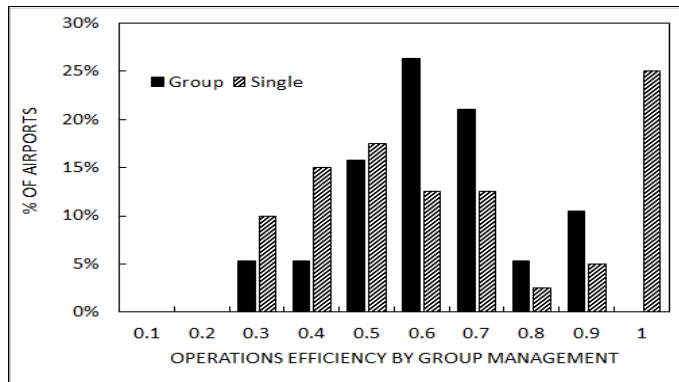


Figure 16. Operations efficiency scores by group vs. single

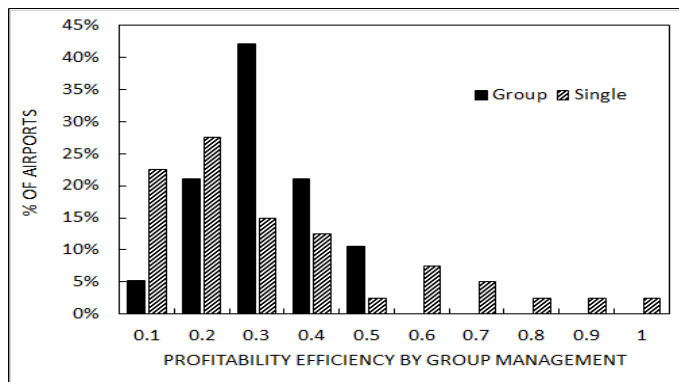


Figure 17. Profitability efficiency scores by group vs. single

Table 14. Efficiency score averages by group vs. single

	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
Group	0.1632	0.6114	0.2769
Single	0.1846	0.6213	0.2957

모든 효율성 측면에서 그룹화 경영을 하는 공항의 평균 효율성이 그렇지 않은 공항에 비해 더 낮았지만, Wilcoxon rank-sum 검정법을 적용하여 그 차이를 검정한 결과는 <Table 15>와 같이 통계적으로 유의하지는 않았다(유의수준 5%).

Table 15. Wilcoxon rank-sum test results on efficiency differences by group vs. single

H ₀	p-value		
	Overall efficiency	Operations efficiency	Profitability efficiency
Group = Single	0.1959	0.6295	0.09334

6.6 연구문제 5: 국제선 비율의 영향

마지막으로, 공항의 국제선 비율이 공항 효율성, 특히 수익 효율성에 어떤 영향을 미치는지 분석하기 위해 공항의 국제선 비율과 효율성 간의 회귀분석을 실시하였다. 공항의 국제선 비율과 효율성 간의 산점도(scatter plot)는 <Figure 18, 19, 20>과 같으며, 회귀분석 결과는 <Table 16, 17, 18>에 나타내었다. 분석 결과 국제선 비율이 높을수록 전체 효율성 및 수익 효율성이 선형적으로 높아지는 관계가 유의하게 나타났고, 운영 효율성의 경우는 유의성이 확보되지 못하였다.

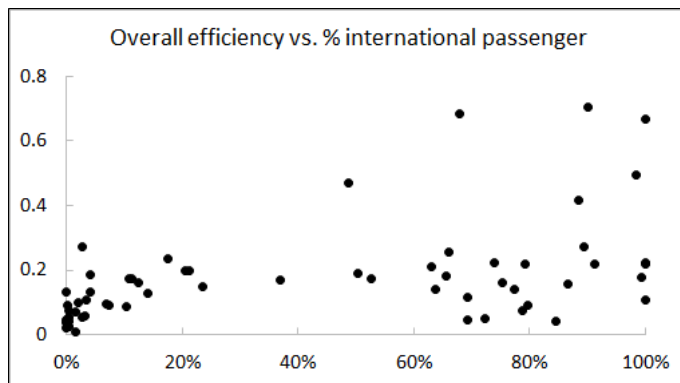


Figure 18. % International passenger vs. overall efficiency

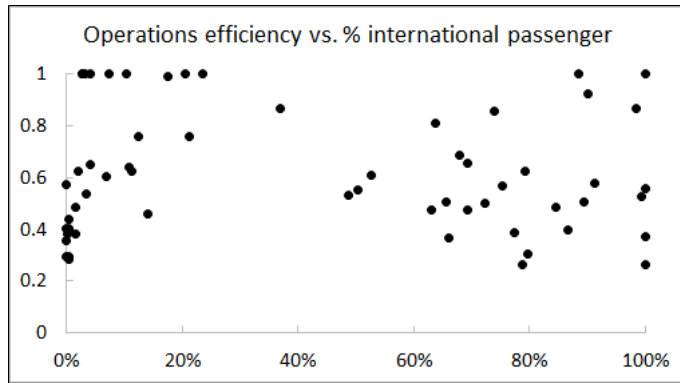


Figure 19. % International passenger vs. operations efficiency

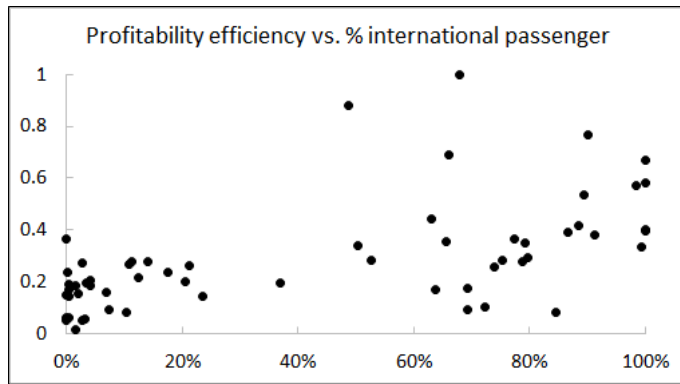


Figure 20. % International passenger vs. profitability efficiency

Table 16. Linear regression on % international passenger vs. overall efficiency

Coefficients:				
	Estimate	Std. Err.	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.09530	0.02682	3.553	0.000772
%International	0.19437	0.04724	4.114	0.000126
Adjusted R-squared: 0.2154, p-value: 0.0001264				

Table 17. Linear regression on % international passenger vs. operations efficiency

Coefficients:				
	Estimate	Std. Err.	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.64095	0.04710	13.608	<2e-16
%International	-0.05380	0.08297	0	0.519
Adjusted R-squared: -0.01009, p-value: 0.5193				

Table 18. Linear regression on % international passenger vs. profitability efficiency

Coefficients:				
	Estimate	Std. Err.	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.15754	0.03329	4.732	1.51E-05
%International	0.31163	0.05864	5.314	1.85e-06
Adjusted R-squared: 0.3196, p-value: 1.85e-06				

7. 요약 및 결론

본 연구에서는 공항의 프로세스를 여객 및 화물의 운송과 관련한 물리적 운영 단계와 이를 통해 수익이 창출되는 단계로 구성되는 2단계 프로세스로 간주하고, 2단계 네트워크 DEA모형을 사용하여 전 세계 공항의 효율성을 분석하였다. 전 세계 59개 공항을 대상으로 효율성을 측정하였으며, 공항의 지리적 위치, 공항의 규모, 상장 여부, 그룹화 경영 여부, 그리고 국제선 비율 등과 같은 공항의 환경적 변수가 공항의 효율성에 어떤 영향을 미치는지 실증 분석하였다.

분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 분석 대상 공항들의 전체 효율성은 전반적으로 매우 낮은 편이었는데, 운영 효율성은 비교적 높은 반면 수익 효율성이 낮은 것이 그 원인이었다. 이는 세계 공항의 전체 효율성이 낮은 이유가 운영 측면보다는 수익 측면에서 발생하는 비효율성에 기인한다는 것을 나타내고, 전체 효율성을 제고하기 위해서는 동일한 여객, 화물 처리량 및 운항 회수를 더 높은 수익으로 전환할 수 있는 경영 개선 노력이 이루어져야 함을 시사한다.

둘째, 공항이 위치한 지역에 따른 공항 효율성 차이는 일정 부분 유의하게 나타났으며, 특히 북미의 경우는 전체 효율성과 수익 효율성이 다른 지역에 비해 크게 낮았다. 북미 지역 공항의 비효율성에 대한 원인을 찾는 것은 본 연구의 범위를 벗어나지만, 해당 지역의 공항 효율성 제고 노력이 요구되고 있다는 사실은 알 수 있다.

셋째, 공항의 규모에 따른 효율성 차이는 운영 효율성에서 주로 나타나고 이것이 전체 효율성의 차이로 이어졌다. 대형 공항이 소형 공항에 비해 더 효율적이었으며 이는 물리적 자원의 대량 이용에 따른 규모의 경제 효과에 기인하는 것으로 판단된다. 반면, 수익 효율성 측면에서는 이러한 규모의 경제 효과가 유의하게 발현되지는 않는 것으로 나타났다.

넷째, 상장 여부에 따른 전체 효율성과 운영 효율성의 차이는 유의하지 않은 반면, 수익 효율성의 경우는 비상장 공항의 효율성이 상장 공항에 비해 유의하게 더 높았다. 자금 조달의 용이성, 인지도 및 신뢰도 향상 등 상장에 따른 여러 가지 경영상의 이점은 유의하게 발현되지 못한 반면, 상장 유지에 따른 추가적인 비용의 발생으로 인해 수익 효율성이 저하된 것으로 판단된다.

다섯째, 그룹화 경영에 따른 자원 공유 및 비용 절감 등의 이점은 공항의 효율성 향상으로 유의하게 이어지지 못한 것으로 나타났는데, 추후 연구에서는 공항의 그룹화 경영이 가지는 실효성을 심층적으로 분석할 필요가 있다.

마지막으로, 국제선 비율이 높은 공항일수록 수익 효율성이 높아지고 이는 전체 효율성이 더 높아지는 결과로 이어졌는데, 국제선이 국내선보다 수익이 높다는 점이 원인으로 작용했다고 판단된다.

본 연구에서는 자료의 한계로 인해 오세아니아, 아프리카 등의 지역에 위치한 공항을 분석 대상에서 포함시키지 못하였고, 2014년 자료만을 이용한 단면적 분석으로 시간적 한계도 가지고 있다. 지역적 확장 분석과 더불어 시계열

적 분석을 통해 효율성의 동적인 변화를 살펴보는 것도 유망한 추후 연구주제가 될 수 있겠다. 또한, 서비스품질 또는 고객만족도 등 정성적인 비수익적 성과지표를 포함시켜 분석하는 것도 유용한 정보를 제공할 수 있겠다. 한편, 본 연구에서는 각각의 연구문제와 관련한 독립변수들을 개별적으로 다루어 종속변수와와의 관계를 살펴보았는데, 통합적인 하나의 회귀분석 모형으로 함께 분석하여 독립변수 간 상대적 중요도를 분석하고 독립변수 간 다중공선성 등을 확인하는 것도 의미있는 연구 주제가 될 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Assaf, A. 2009. "Accounting for size in efficiency comparisons of airports." *Journal of Air Transport Management* 15(5):256-258.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. 1984. "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis." *Management science* 30(9):1078-1092.
- Barros, C. P., and Dieke, P. U. 2007. "Performance evaluation of Italian airports: A data envelopment analysis." *Journal of Air Transport Management* 13(4):184-191.
- Bazargan, M., and Vasigh, B. 2003. "Size versus efficiency: a case study of US commercial airports." *Journal of Air Transport Management* 9(3):187-193.
- Castelli, L., Pesenti, R., and Ukovich, W. 2010. "A classification of DEA models when the internal structure of the decision making units is considered." *Annals of Operations Research* 173(1):207-235.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. 1978. "Measuring the efficiency of decision making units." *European journal of operational research* 2(6):429-444.
- Chi-Lok, A. Y., and Zhang, A. 2009. "Effects of competition and policy changes on Chinese airport productivity: An empirical investigation." *Journal of Air Transport Management* 15(4):166-174.
- Chilingerian, J. A., and Sherman, H. D. 2011. Health-care applications: from hospitals to physicians, from productive efficiency to quality frontiers. In *Handbook on data envelopment analysis*, US: Springer, 445-493.
- Cook, W. D., Liang, L., and Zhu, J. 2010. "Measuring performance of two-stage network structures by DEA: a review and future perspective." *Omega* 38(6):423-430.
- Farrell, M. J. 1957. "The measurement of productive efficiency." *Journal of the Royal Statistical Society. Series A(General)* 120(3):253-290.
- Fung, M. K. Y., Chow, C. K. W., Van Hui, Y., and Law, J. S. 2008a. "Measuring the efficiency of airports in China with the DEA and endogenous-weight TFP methods." *International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti*:45-73.
- Fung, M. K. Y., Wan, K. K. H., Van Hui, Y., and Law, J. S. 2008b. "Productivity changes in Chinese airports 1995-2004." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 44(3):521-542.
- Gillen, D., and Lall, A. 1997. "Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 33(4):261-273.
- Kao, C. 2014. "Network data envelopment analysis: A review." *European Journal of Operational Research* 239(1):1-16.
- Kao, C., and Hwang, S. N. 2008. "Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan." *European journal of operational research* 185(1):418-429.
- Lam, S. W., Low, J. M., and Tang, L. C. 2009. "Operational efficiencies across Asia Pacific airports." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45(4):654-665.
- Lin, L. C., and Hong, C. H. 2006. "Operational performance evaluation of international major airports: An applica-

- tion of data envelopment analysis.” *Journal of Air Transport Management* 12(6):342–351.
- Martín, J. C., and Roman, C. 2001. “An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization.” *Journal of Air Transport Management* 7(3):149–157.
- Martín-Cejas, R. R. 2002. “An approximation to the productive efficiency of the Spanish airports network through a deterministic cost frontier.” *Journal of Air Transport Management* 8(4):233–238.
- Meng, J. 2016. “Using Two-stage DEA model to analysis the efficiency of the world's major airports.” Master’s thesis., Dongguk University–Seoul.
- Oum, T. H., Yu, C., and Fu, X. 2003. “A comparative analysis of productivity performance of the world's major airports: summary report of the ATRS global airport benchmarking research report—2002.” *Journal of Air Transport Management* 9(5):285–297.
- Pels, E., Nijkamp, P., and Rietveld, P. 2003. “Inefficiencies and scale economies of European airport operations.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 39(5):341–361.
- Sarkis, J. 2000. “An analysis of the operational efficiency of major airports in the United States.” *Journal of Operations Management* 18(3):335–351.
- Seiford, L. M., and Zhu, J. 1999. “Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks.” *Management Science* 45(9):1270–1288.
- Sexton, T. R., and Lewis, H. F. 2003. “Two-stage DEA: An application to major league baseball.” *Journal of Productivity Analysis* 19(2):227–249.
- Yoshida, Y. 2004. “Endogenous-weight TFP measurement: methodology and its application to Japanese-airport benchmarking.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 40(2):151–182.