

Print ISSN: 1738-3110 / Online ISSN 2093-7717  
doi: 10.13106/jds.2013.vol11.no8.5

## An analysis of the operational efficiency of the major airports worldwide using DEA and Malmquist productivity indices\*

### 세계 주요 공항 운영 효율성 분석: DEA와 Malmquist 생산성 지수 분석을 중심으로

Hong-Seop Kim(김홍섭)\*\*, Jeong-Rim Park(박정림)\*\*\*

## Abstract

**Purpose** - We live in a world of constant change and competition. Many airports have specific competitiveness goals and strategies for achieving and maintaining them. The global economic recession, financial crises, and rising oil prices have resulted in an increasingly important role for facility investment and renewal and the implementation of appropriate policies in ensuring the competitive advantage for airports. It is thus important to analyze the factors that enhance efficiency and productivity for an airport. This study aims to determine the efficiency levels of 20 major airports in East Asia, Europe, and North America. Further, this study also suggests suitable policies and strategies for their development.

**Research design, data, and methodology** - This paper employs the DEA-CCR, DEA-BCC, and DEA-Malmquist production index analysis models to determine airport efficiency. The study uses data on the efficiency and productivity of the world's leading airports between 2006 and 2010. The input variables include the airport size, the number of runways, the size of passenger terminals, and the size of cargo terminals. The output variables include the annual number of passengers and the annual cargo volume. The study uses basic data from the 2010 World Airport Traffic Report (ACI). The world's top 20 airports (as rated by the ACI report) are investigated. The study uses the expanded DEA Model and the Super Efficiency Model to identify the most effective airports among the top 20. The Malmquist productivity index analysis is used to measure airport effectiveness.

**Results** - This study analyzes longitudinal and cross-sectional data on the world's top 20 airports covering 2006 to 2010. A CCR analysis shows that the most efficient airports in 2010 were Gatwick Airport (LGW), Zurich Airport (ZRH), Vienna Airport (VIE), Leonardo da Vinci Fiumicino Airport (FCO), Los Angeles International Airport (LAX), Seattle-Tacoma Airport (SEA), San Francisco Airport (SFO), HongKong Airport (HKG), Beijing Capital International Airport (PEK), and Shanghai Pudong Airport (PVG). We find that changes in airport productivity are affected more by techni-

cal factors than by airport efficiency.

**Conclusions** - Based on the study results, we offer four airport development proposals. First, a benchmark airport needs to be identified. Second, inefficiency must be reduced and high-cost factors need to be managed. Third, airport operations should be enhanced through technical innovation. Finally, scientific demand forecasting and facility preparation must become the focus of attention. This paper has some limitations. Because the Malmquist productivity index is based on the hypothesis of the, the identified production change could be over- or under-estimated. Further, as DEA estimates the relative efficiency. It also cannot generalize to include all airport conditions because the variables are limited. To measure airport productivity more accurately, other input variables and environmental variables such as financial and policy factors should be included.

**Keywords** : Efficiency, Productivity Index, Technology Efficiency, Efficiency of Scale, Technology Change.

**JEL Classifications** : M38, N75, R41, R48.

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경 및 목적

최근 전 세계적인 경기침체의 여파로 미래 경제에 대한 불확실성이 높아가고 소비와 투자가 위축되고 있는 상황에서 동아시아, 유럽, 북미 등을 포함한 전 세계의 주요 경제지역에서는 경제회복을 추진하면서 국제교류와 물류의 중요한 위치를 점하고 있는 공항의 역할과 가치에 주목하고 있다. 이에 따라 각국은 자국 공항을 인적·물적 교류의 허브로 성장시키기 위한 각종 정책을 수립하면서 공항의 대형화, 시설 및 장비의 현대화, 항공사 및 화물 유치 위한 인센티브 제공 등을 강화하고 있다. 각국이 공항의 경쟁력을 향상시키기 위한 각종 전략을 추진하고 허브공항으로서의 지위를 선점하고자 하는 상황에서 전 세계 주요 지역의 공항과 비교하여 어느 정도 효율성을 가지고 있는지를 평가하고 발전방향을 모색하고자 하는 시도는 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 전 세계 인적·물적 교류의 대부분을 차지하고 있는 3개 지역, 즉 동아시아, 유럽, 북미지역의 20개 주요 공항을 대상으로 2006년부터 2010년까지 자료를 이용하여 세계 주요 공항의 효율성 및 생산성 변화 정도를 측정하고 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 DEA 모형과 Malmquist 생산성지수 모형을 이용하였다. 본 연구를 통해서 세계 주요 공항의 효율성

\* This Paper is modified and revised from the our paper of KASL 2012 autumn Conference.

\*\* First Author, Professor, Department of International Trade, Incheon National University, Korea.

\*\*\* Corresponding Author, Master, Incheon National University, Korea. Tel: +82-10-9198-8883. E-mail: zlp0124@naver.com.

변화 추이를 살펴보고 비효율성 발생 요인을 분석하고자 한다. 또한 Malmquist 생산성지수를 통하여 공항의 생산성 변화를 기술효율성, 규모효율성, 기술변화로 구분하여 측정하고 생산성 변화의 원인을 분석하여 이에 대한 시사점을 도출하고자 한다. 아울러 벤치마킹 대상 공항들 선정하고 비효율적인 공항들이 효율적이기 위해 필요한 부문과 정도를 파악하며, 연구 결과를 토대로 한국 인천공항의 발전방향과 전략을 도출할 수도 있다.

본 연구는 다음과 같은 한계를 가지고 있다. 비모수적 방법에서 Malmquist 생산성 지수는 생산 프론티어가 규모에 대한 수익불변이라는 가정에서 생산성 변화를 측정하기 때문에 생산성을 과다 혹은 과소 측정할 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 또한 DEA 모형은 상대적인 효율성을 결정하는 모형이기 때문에 결과 값이 절대적인 기준을 가질 수 없다. 변수를 선정함에 있어서 한계가 있기 때문에 본 연구가 공항의 효율성을 대표한다고 할 수 없으며 데이터 수집의 어려움으로 정량적인 변수만을 선정하였다.

## 1.2. 연구의 방법 및 구성

본 연구는 2010년 Worldwide Airport Traffic Report(ACI)<sup>1)</sup>에 제시된 공항들을 World Airports 순위에서 상위 100위 이내에 있는 주요 공항 중 20개 공항을 분석 대상으로 하였다. 이에 해당하는 공항은 <영국> 개트윅공항(LGW), 맨체스터공항(MAN), <프랑스> 오를리공항(ORY), <독일> 프랑크푸르트공항(FRA), 뮌헨국제공항(MUC), 네덜란드 스허플 공항(AMS), <스위스> 취리히공항(ZRH), <오스트리아> 빈국제공항(VIE), <이태리> 레오나르도다빈치공항(FCO), <미국> 로스앤젤레스공항(LAX), 시애틀터코마공항(SEA), 샌프란시스코(SFO), <일본> 나리타공항(NRT), 간사이공항(KIX), 홍콩국제공항(HKG), <싱가폴> 창이공항(SIN), <태국> 방콕공항(BKK), <중국> 베이징수도공항(PEK), 상하이 푸둥공항(PVG), <한국> 인천국제공항(ICN) 총 20개 공항들의 효율성을 분석하였다.

분석방법으로는 공항의 경우 소유형태가 다양하고, 복잡한 투입요소와 산출요소가 존재하기 때문에 이러한 특성을 잘 반영할 수 있는 DEA(Data Envelopment Analysis) 모형을 이용하였고, DEA모형 중에서 기술효율성(CCR)모델, 순수기술효율성(BCC)모델, 초효율성(Super Efficiency)모델을 통해 공항들의 효율성을 분석하고 5년간의 생산성 변화를 측정하기 위해 Malmquist 생산성지수 모형을 이용한다. Malmquist 생산성지수의 가장 큰 특징은 시간의 흐름에 따른 효율성 변화를 기술적 효율성 변화와 기술 변화로 구분해서 분석할 수 있다는 점이다.

본 연구의 시간적 범위는 2006년부터 2010년까지로 하며, 대상 공항들은 동기간 동안 일관되게 자료 확보가 가능한 20개 주요공항들로 한정한다.

## 2. DEA 모형에 의한 효율성 분석

### 2.1. DEA 모형

#### 2.1.1. DEA 개념

효율성(Efficiency)은 생산조직이 사용한 투입요소 사용량에 대한 산출물 생산량의 비율로, 산출물의 생산량(Output)/투입요소의 양

(Input)으로 나타낼 수 있다. 생산조직이 단일 투입요소와 단일 산출물을 가지고 있을 경우에는 계산이 매우 간단하나 다수의 투입물과 다수의 산출물이 있을 경우 그리 간단하지 않다. 즉, 다수 투입과 다수 산출의 경우는 각각에 가중치를 적용하여 총괄한 총괄 투입과 총괄산출을 계산하는 과정이 필요하다. DEA모형을 이용하면 의사결정단위(Decision Making Unit: DMU)별로 효율성을 평가하기 위한 가중치를 계산할 수 있다. 본 논문에서는 각 항공사가 DMU가 된다.

DEA는 다수의 투입물과 산출물을 동시에 고려하여 평가대상의 효율성을 측정하도록 설계된 비모수적 접근방법의 선형계획(linear programming)모형이다. 즉, DEA는 각 평가 대상자인 의사결정단위(Decision Making Unit: DMU)에 가장 유리한 가중치를 부여하고 효율성을 계산하여 다른 DMU와 비교하는 상대적 효율성 평가방법이다. 한편, 측정결과를 분석할 때 주의해야 할 점은 효율적으로 평가된 DMU는 상대적으로 평가된 것이지 절대적 의미에서 효율적인 것이 아니라는 것이다. 즉, 효율적으로 평가된 DMU도 사실은 그 효율성을 개선할 여지가 있을 수 있다.

DEA는 Farrell(1957)에 의해 처음으로 제안된 이후 최근까지 다양한 모형이 여러 학자들에 의해 개발되어 제시되고 있는데, Charnes et al.(1978)의 CCR모형과 Banker et al.(1984)의 BCC모형이 가장 많이 활용되고 있다. CCR모형은 규모에 대한 수익 불변(Constant Returns to Scale) 가정하에서 사용되며, BCC모형은 규모에 대한 수익 가변(Variable Returns to Scale) 가정하에서 사용된다.

DEA모형은 벤치마킹 대상을 찾아 주어 비효율적인 DMU의 효율성 개선정도를 제시하고, 이를 위한 평가기준으로 투입지향(input-oriented) 모형과 산출지향(output-oriented)모형이 있다. 투입지향모형은 현재 산출물 수준을 유지하면서 투입물의 수준을 최소화하는데 목적이 있는 반면, 산출지향모형은 현재의 투입물 수준을 유지하면서 산출물의 수준을 최대화하는 데 있다. 항공산업의 경우 고가의 장비와 자원을 얼마나 효율적으로 사용했는지 중요하므로 투입지향 모형이 적합할 수 있다. 그런데 산출물인 생산량과 수익을 얼마나 효율적으로 산출하였는지도 중요하므로 본 논문에서는 투입지향 모형을 위주로 하고 산출지향 모형도 동시에 분석하기로 한다.

#### 2.1.2. CCR 모형

CCR에서는 다수 투입(x) 대비 다수 산출(y)을 최대화하는 것을 목적함수로 할 수 있다(Charnes et al., 1978).

$$Max \frac{\sum_{r=1}^n (u_r)(y_{r0})}{\sum_{k=1}^m (v_k)(x_{k0})} \quad (1)$$

$y_r$  = 산출물 r의 벡터

$x_k$  = 투입물 k의 벡터

$u_r$  = 산출물 r의 가중치

$v_k$  = 투입물 k의 가중치

$r = 1, 2, 3, \dots, n$

$k = 1, 2, 3, \dots, m$

위 식에서 분모를 1로 고정시키면 분자만 최대화하는 선형계획 모형의 목적함수가 되므로 CCR 모형은 다음 식과 같이 구성할 수 있다.

1) Airports Council International

$$\begin{aligned}
 \text{Max } \theta &= \sum_{r=1}^n (u_{r0})(y_{r0}) & (2) \\
 \text{s.t. } \sum_{k=1}^m (v_{k0})(x_{k0}) &= 1 \\
 \sum_{r=1}^n (u_{rj})(y_{rj}) - \sum_{k=1}^m (v_{kj})(x_{kj}) &\leq 0 \\
 u_r, v_k &\geq \epsilon \\
 \epsilon &= \text{non-archimedean 상수 (0에 가까운 매우 작은 수).} \\
 j &= 1, 2, 3, \dots, o, \dots, z \\
 r &= 1, 2, 3, \dots, n \\
 k &= 1, 2, 3, \dots, m.
 \end{aligned}$$

여기서 평가 대상 DMU의 측정치는 1.0을 초과할 수 없으므로 가장 효율적인 DMU의 점수는 1.0이 된다. CCR은 DMU들의 규모의 확대에 비례하여 산출이 확대된다는 규모에 대한 수익불변(Constant Returns to Scale; CRS)을 가정하므로, 효율성 점수는 규모의 효과와 기술적 성과가 결합된 형태로 나타나는 한계가 있다. 따라서 어떤 투입물의 증가에 대해 산출물이 규모에 대한 수익체증적으로 증가하는 경우 순수한 기술적 성과가 왜곡될 수 있다.

2.1.3. BCC 모형

Banker 등(1984)에 의해 개발된 BCC 모형은 규모에 대한 수익가변(Variable Returns to Scale; VRS)을 가정하여 규모의 효율성(Scale Efficiency; SE)과 기술효율성(Technical Efficiency; TE)을 구분하기 위해 변형된 DEA 모형이다. 결국 BCC 모형의 효율성 점수는 규모의 효과를 배제한 순수한 기술효율성(Pure Technical Efficiency; PTE)을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } \theta_B, \omega &= \sum_{j=1}^I (y_{kj})(u_j) + \omega & (3) \\
 \text{s.t. } \sum_{i=1}^I (x_{ki})(v_i) &= 1 \\
 \sum_{j=1}^I (y_{kj})(u_j) - \sum_{i=1}^I (x_{ki})(v_i) + \omega &\leq 0 \\
 k &= 1, 2, 3, \dots, K, \\
 u_j, v_i &\geq 0 \\
 i &= 1, 2, 3, \dots, I, \\
 j &= 1, 2, 3, \dots, J, \\
 \omega &= \text{free.}
 \end{aligned}$$

위 식에서  $\omega$ 는 효율적 DMU의 규모의 수익효과(Returns to Scale; RTS)를 평가하는 척도로 해석된다.  $\omega > 0$ 이면 규모에 대한 수익체증(Increasing Returns to Scale; IRS)이고  $\omega < 0$ 이면 규모에 대한 수익체감(Decreasing Returns to Scale; DRS)을 나타낸다.

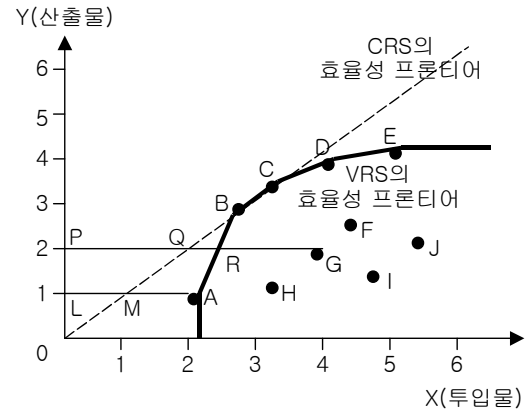
2.1.4. 규모의 효율성

CCR과 BCC 점수를 각각  $\theta_{CCR}^*$ ,  $\theta_{BCC}^*$ 라고 하면,  $\theta_{CCR}^*$ 은 기술효율성(Technical Efficiency; TE)으로서 순수한 기술효율성(Pure Technical Efficiency; PTE)과 규모의 효율성(Scale Efficiency; SE)이 결합된 점수이다. 즉, 기술효율성(TE) = 순수 기술 효율성(PTE) × 규모 효율성(SE)이다. 따라서 규모의 효율성(SE)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{SCALE} = \frac{\theta_{CCR}^*}{\theta_{BCC}^*} = \quad (4)$$

일반적으로  $\theta_{CCR}^*$ 는  $\theta_{BCC}^*$ 보다 같거나 작기 때문에 규모의 효율성 점수는 1과 같거나 작다.

<그림 1>에서 IRS의 특징을 보이고 있는 A는 BCC 프론티어에 놓여 있어 기술 효율적이며 규모의 효율성  $\text{SCALE}(A) = \text{LM}/\text{LA}$ 는  $\theta_{CCR}^*(A)$ 와 같다. 즉, A는 기술적으로는 효율적이거나 규모면에서는 비효율적이라는 것을 알 수 있다. BCC 프론티어에 놓여 있지 않은 G의 경우는  $\text{SCALE}(G) = \frac{PQ}{PG} \frac{PG}{PR} = \frac{PQ}{PR}$ , 즉  $\frac{2}{4} \times \frac{4}{2.4} = \frac{2}{2.4} = 0.83$ 으로서 비효율적이다. 즉, G는 기술적으로도 비효율적이고 규모의 측면에서도 비효율적이라고 볼 수 있다. B와 C는 CCR과 BCC 프론티어에 모두 놓여 있으므로 기술뿐만 아니라 규모 측면에서 모두 효율적이라고 할 수 있다.



<그림 1> 규모의 수익효과에 따른 효율성 프론티어(Lee et al., 2007)

2.2. DEA 분석

2.2.1. 변수 설명

공항의 빠른 처리능력에 대한 효율성 측정에 초점을 맞추고자 하여 투입변수(Input)는 부지면적, 활주로 수, 여객터미널 면적, 화물터미널 면적을 선택하였고 산출변수(Output)는 연간 여객처리량, 연간화물처리량, 운항횟수를 선택하였다. 데이터는 하나의 출처로부터 획득하는 것이 가장 좋은 방법이지만 현실적으로 많은 어려움이 있기 때문에 다양한 자료로부터 데이터를 수집하였다. 이용한 자료로는 한국공항공사에서 발간한 세계주요 공항 2006, 2008, 2010을 기초로 하였고 그 외 항공정보 포털 시스템(Air portal) 등의 자료를 통해 2006년부터 2010년까지의 5년 동안의 데이터를 수집하였다.

<표 2>는 4개의 투입물과 3개의 산출물 변수를 이용하여 DEA 모형으로 분석한 2010년 기준 20개 공항 효율성을 측정된 결과이다. DEA는 투입방향과 산출방향으로 분석할 수 있다. 먼저 규모에 대한 수익불변과 투입지향을 가정한 CCR-I 모형의 경우 점수가 1.0으로 가장 효율적인 공항은 게트워공항(LGW), 취리히공항(ZRH), 빈국제공항(VIE), 레오나르도다빈치공항(FCO), 로스앤젤레스공항(LAX), 시애틀터코마공항(SEA), 샌프란시스코(SFO), 홍콩국제공항(HKG), 베이징수도공항(PEK), 상하이 푸둥공항(PVG)이며, BCC-I 모형 즉, 규모에 대한 수익가변과 투입지향을 가정하여 측정된 순수 기술적 효율성 측면에서 가장 효율적인 공항은 게트워공항(LGW), 맨체스터공항(MAN), 취리히공항(ZRH), 빈국제공항(VIE), 레오나르도다빈치공항(FCO), 로스앤젤레스공항(LAX), 시애틀터코마공항(SEA), 샌프란시스코(SFO), 홍콩국제공항(HKG), 베이징수도공

<표1> 투입변수와 산출변수

공항	(I)부지면적(m <sup>2</sup> )	(I)활주로(개)	(I)여객터미널면적(m <sup>2</sup> )	(I)화물터미널면적(m <sup>2</sup> )	(O)운항회수(회)	(O)연간여객처리량(명)	(O)연간화물처리량(톤)
LGW(영)	6,826,952	2	229,000	300,000	240,505	31,379,968	108,700
MAN(영)	6,070,200	2	505,000	44,000	159,454	17,878,166	117,199
ORY(프)	15,400,000	3	371,500	167,621	219,205	25,203,969	102,619
FRA(독)	19,000,000	3	704,000	1,100,000	464,432	53,009,221	2,275,000
MUC(독)	15,000,000	2	704,000	223,000	389,939	34,721,605	286,820
AMS(네)	27,870,000	6	600,000	127,000	402,372	45,211,749	1,538,134
ZRH(스)	7,823,000	3	192,877	30,000	268,765	22,825,318	314,011
VIE(오)	10,000,000	2	36,700	70,000	265,150	19,691,206	231,824
FCO(이탈)	14,575,000	4	175,000	61,000	329,269	36,227,778	164,314
LAX(미)	13,860,290	4	412,156	2,105,282	666,938	59,070,127	1,747,629
SEA(미)	10,120,000	2	204,387	56,280	313,954	31,553,166	283,425
SFO(미)	9,280,000	4	243,500	186,000	387,248	39,253,999	426,725
NRT(일)	10,840,000	2	479,700	215,400	192,657	33,815,906	2,167,853
KIX(일)	13,630,000	1	296,043	296,043	106,897	14,353,443	759,278
HKG(홍)	12,550,000	2	710,000	342,000	316,015	50,348,960	4,165,852
BKK(태)	324,000,000	2	563,000	190,000	270,296	42,784,967	1,310,146
PEK(중)	2,900,000	3	1,400,000	24,000	517,584	73,948,113	1,551,471
PVG(중)	40,000,000	2	280,000	50,000	332,127	40,578,621	3,228,081
ICN(한)	56,198,600	3	514,910	234,644	217,322	33,605,579	2,684,499
SIN(싱)	13,000,000	2	1,043,020	250,000	268,526	42,038,777	1,841,004

자료: 한국공항공사 및 국제공항협의회(ACI) 2013년 내부자료.  
 주: I는 투입변수(Input), O는 산출변수(Output)를 의미

항(PEK), 상하이 푸둥공항(PVG)이다. BCC의 효율성 프론티어가 곡선이므로 효율성이 1인 산업단지가 CCR의 경우보다 많다고 할 수 있다. CCR을 BCC로 나눠 규모의 효율성을 측정한 SCALE 점수를 보면 게트워공항(LGW), 취리히공항(ZRH), 빈국제공항(VIE), 레오나르도다빈치공항(FCO), 로스앤젤레스공항(LAX), 시애틀터코마공항(SEA), 샌프란시스코(SFO), 홍콩국제공항(HKG), 베이징수도공항(PEK), 상하이 푸둥공항(PVG) 효율적이고, 규모에 비해 비효율적인 공항은 맨체스터공항(MAN), 스토흐플공항(AMS), 간사이공항(KIX), 방콕공항(BKK) 등이다.

게트워공항(LGW), 취리히공항(ZRH), 빈국제공항(VIE), 레오나르도다빈치공항(FCO), 로스앤젤레스공항(LAX), 시애틀터코마공항(SEA), 샌프란시스코(SFO), 홍콩국제공항(HKG), 베이징수도공항(PEK), 상

<표2> 세계 주요 공항의 효율성 점수

공항	투입지향				산출지향			
	CCR-I	BCC-I	SCALE	RTS	CCR-O	BCC-O	SCALE	RTS
LGW	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
MAN	0.488	1.000	0.488	IRS	0.488	1.000	0.488	IRS
ORY	0.454	0.515	0.882	IRS	0.454	0.581	0.781	DRS
FRA	0.694	0.783	0.886	DRS	0.694	0.899	0.772	DRS
MUC	0.566	0.581	0.974	DRS	0.566	0.861	0.657	CRS
AMS	0.689	0.882	0.781	DRS	0.689	0.971	0.710	DRS
ZRH	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
VIE	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
FCO	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
LAX	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
SEA	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
SFO	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
NRT	0.856	0.928	0.922	IRS	0.856	0.863	0.992	IRS
KIX	0.417	0.675	0.618	CRS	0.417	0.420	0.993	DRS
HKG	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
BKK	0.394	0.601	0.656	DRS	0.394	0.855	0.461	DRS
PEK	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
PVG	1.000	1.000	1.000	CRS	1.000	1.000	1.000	CRS
ICN	0.521	0.538	0.968	CRS	0.521	0.727	0.717	DRS
SIN	0.578	0.623	0.928	IRS	0.578	0.672	0.860	DRS

하이 푸둥공항(PVG)은 전체 효율성(CCR), 순수 기술적 효율성(BCC), 규모의 효율성(SCALE) 모두 1.0으로서 가장 효율적인 지역으로 나타났다. 순수 기술적 효율성은 나타내는 BCC 점수가 낮은 경우는 투입요소의 적정한 결합을 통해, 규모의 효율성이 낮은 경우는 규모의 적정한 변화를 통해 효율성을 향상시킬 수 있다.

한편, DEA 모형은 비효율적인 DMU들이 효율적인 단위가 되기 위해 벤치마킹해야 하는 준거 단위를 제시하고 효율적인 단위가 되기 위해 감소 또는 증가시켜야 하는 투입/산출량을 제공한다.

<표 3>은 투입지향 CCR 모형하에서 각 공항별 벤치마킹 대상과 λ 값을 보여준다.

비효율적으로 나타난 DMU가 직접 비교대상으로 삼을 수 있는 벤치마킹 대상은 효율적인 가상단위이다. 효율적인 가상단위는 준

<표3> 세계 주요 공항의 벤치마킹 대상

Rank	DMU	Score	Reference set (lambda)
1	PEK	7.909	ZRH 0.016, SEA 0.237, HKG 0.030
2	PVG	4.174	HKG 0.137, PEK 0.131
3	VIE	3.931	FCO 0.196, PVG 0.008
4	HKG	1.585	NRT 1.125, PEK 0.122
5	ZRH	1.386	SEA 0.436, PEK 0.058, PVG 0.081
6	LAX	1.295	VIE 0.134, SFO 1.069, HKG 0.207
7	SFO	1.216	LGW 0.004, LAX 0.066, SEA 0.814, PEK 0.035
8	FCO	1.187	VIE 0.277, SEA 0.616, PVG 0.139
9	SEA	1.067	ZRH 0.418, FCO 0.402, SFO 0.101, PEK 0.021
10	LGW	1.006	SFO 0.724, PEK 0.038
11	NRT	0.856	SEA 0.311, HKG 0.577, PEK 0.002, PVG 0.011
12	FRA	0.694	VIE 0.117, LAX 0.374, SFO 0.604, HKG 0.561
13	AMS	0.689	ZRH 0.176, SEA 0.998, HKG 0.131, PEK 0.120, PVG 0.360
14	SIN	0.578	SEA 0.348, SFO 0.107, HKG 0.589, PEK 0.377
15	MUC	0.566	ZRH 0.548, SFO 1.080, PEK 0.240
16	ICN	0.521	VIE 0.008, HKG 0.196, PVG 1.342,
17	MAN	0.488	ZRH 0.503, SEA 0.033, SFO 0.111, PEK 0.267
18	ORY	0.454	SEA 0.958, SFO 0.609, PEK 0.020
19	KIX	0.417	VIE 0.731, HKG 0.362, PVG 0.045
20	BKK	0.394	VIE 0.640, FCO 1.641, PVG 0.901

거단위들의 선형결합으로 만들어지며, 이때 계수는  $\lambda_i$  값이 사용된다. 즉, 투입지향 CCR 모형하에서 ICN의 준거대상 VIE, HKG, PVG이며 효율적 가상지점의 변수 값이다. 즉 목표값(부지면적, 활주로 수, 여객터미널 면적, 화물터미널 면적, 운항회수, 연간여객처리량, 연간화물처리량)은 다음 식 (5)와 같이 만들어진다.

인천공항의 목표값:

$$0.008 \times \begin{bmatrix} 10,000,000 \\ 2 \\ 36,700 \\ 70,000 \\ 265,150 \\ 19,691,206 \\ 231,824 \end{bmatrix} + 0.196 \times \begin{bmatrix} 12,550,000 \\ 2 \\ 710,000 \\ 342,000 \\ 316,015 \\ 50,348,960 \\ 4,165,852 \end{bmatrix} + 1.342 \times \begin{bmatrix} 40,000,000 \\ 2 \\ 280,000 \\ 50,000 \\ 332,127 \\ 40,578,621 \\ 3,228,081 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 56,219,800 \\ 3 \\ 515,214 \\ 134,692 \\ 509,775 \\ 64,482,435 \\ 5,150,446 \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(5)에 의해서 구해진 목표값으로 개선 정도를 알 수 있다.<표 4>는 CCR 모형 하에서와 BCC 모형 하에서 인천공항의 개선목표와 목표정도를 보여준다. 입력지향 CCR 모형 하에서 인천공항의 경우 효율적인 항공사가 되기 위해서는 부지면적을 49.9% 줄이고, 활주로 수는 33.3% 줄이며, 여객터미널면적과 화물터미널면적 또한 47.9%, 70.1% 줄여야 한다. 반면 운항회수는 22.2% 늘려야 한다. 출력지향 CCR 모형 하에서는 화물터미널면적 42.6% 줄이며, 운항회수는 133.7% 늘려야 하며, 연간 여객처리량과 연간 화물처리량은 각각 91.9% 증가시켜야 한다. 입력지향 BCC 모형 하에서는 부지면적과 여객터미널면적은 각각 46.17% 줄여야 하며, 화물터미널면적도 62.3% 줄여야 한다. 반면 운항회수는 45.24% 증가하며, 연간 여객처리량 또한 10.6% 증가하여야 한다. 출력지향 BCC 모형 하에서 보면 부지면적만 55.63% 줄이고, 운항회수 51.73%, 연간 여객처리량과 연간화물처리량이 각각 37.46% 증가하여 효율성이 올라갈 수 있다.

<표 4> 인천공항의 개선목표

		항목	실제값	목표값	차이	%
CCR	입력지향	부지면적	56,198,600	28,152,209	-28,046,391	-49.9%
		활주로	3	2	-1	-33.3%
		여객터미널면적	514,910	268,500	-246,410	-47.9%
		화물터미널면적	234,644	70,161	-164,483	-70.1%
		운항회수	217,322	265,657	48335	22.2%
		연간여객처리량	33,605,579	33,605,579	0	0.0%
	출력지향	연간화물처리량	2,684,499	2,684,499	0	0.0%
		부지면적	56,198,600	56,198,600	0	0.0%
		활주로	3	3	0	0.0%
		여객터미널면적	514,910	514,910	0	0.0%
		화물터미널면적	234,644	134,692	-99,952	-42.6%
		운항회수	217,322	509,775	290,453	133.7%
BCC	입력지향	연간여객처리량	33,605,579	64,482,435	30,876,856	91.9%
		연간화물처리량	2,684,499	5,150,446	2,465,947	91.9%
		부지면적	56,198,600	30,253,870.1	-25,944,729.94	-46.17%
		활주로	3	3	0	0.0%
		여객터미널면적	514,910	277,195.88	-237,714.12	-46.17%
		화물터미널면적	234,644	88,469.25	-146,174.75	-62.30%
	출력지향	운항회수	217,322	315,642.50	98,320.50	45.24%
		연간여객처리량	33,605,579	3,716,6702.4	3,561,123.42	10.60%
		연간화물처리량	2,684,499	2,684,499	0	0.0%
		부지면적	56,198,600	24,933,959.8	-31,264,640.16	-55.63%
		활주로	3	3	0	0.0%
		여객터미널면적	514,910	514,910	0	0.0%
출력지향	화물터미널면적	234,644	234,644	0	0.0%	
	운항회수	217,322	329,746.59	112,424.59	51.73%	
	연간여객처리량	33,605,579	46,194,926.5	1,258,9347.5	37.46%	
	연간화물처리량	2,684,499	3,690,168.05	1,005,669.05	37.46%	

2.2.2. 초효율성

<표 5> 세계주요 공항 연도별 초효율성 분석

No	공항	2006		2007		2008		2009		2010	
		점수	순위	점수	순위	점수	순위	점수	순위	점수	순위
1	PEK	4.331	1	4.716	1	6.173	1	7.349	1	7.909	1
2	PVG	1.984	3	2.085	3	3.443	3	3.836	3	4.174	2
3	VIE	2.368	2	2.391	2	4.142	2	3.968	2	3.931	3
4	HKG	1.325	5	1.300	4	1.447	4	1.496	4	1.585	4
5	ZRH	0.899	9	0.872	10	1.360	5	1.379	5	1.386	5
6	LAX	0.988	7	0.915	8	1.214	6	1.276	6	1.295	6
7	SFO	0.794	12	0.714	15	1.158	9	1.194	7	1.216	7
8	FCO	1.251	6	1.232	5	1.150	10	1.136	8	1.187	8
9	SEA	0.875	10	0.839	11	1.140	11	1.135	9	1.067	9
10	LGW	0.763	13	0.772	13	1.169	7	1.099	10	1.006	10
11	NRT	0.851	11	0.787	12	0.900	12	0.885	12	0.856	11
12	FRA	0.546	17	0.550	17	0.717	13	0.704	13	0.694	12
13	AMS	0.916	8	0.880	9	1.168	8	1.057	11	0.689	13
14	SIN	0.581	16	0.535	18	0.611	16	0.580	15	0.578	14
15	MUC	0.667	15	0.558	16	0.706	14	0.662	14	0.566	15
16	ICN	0.714	14	0.725	14	0.587	17	0.567	16	0.521	16
17	MAN	0.364	19	0.332	20	0.668	15	0.552	17	0.488	17
18	ORY	0.342	20	1.212	6	0.480	19	0.463	18	0.454	18
19	KIX	0.454	18	0.434	19	0.519	18	0.418	20	0.417	19
20	BKK	1.328	4	1.206	7	0.408	20	0.419	19	0.394	20

CCR분석과 BCC분석은 효율적인 공항과 비효율적인 공항을 구분할 뿐 효율적인 DMU의 순위를 분석할 수 없으며 가장 효율적인 공항의 판단도 참조회수를 통해 이루어지는 단점이 있다. 특히 효율적인 공항의 경우 효율성 점수가 1로 나타날 뿐 더 이상 어떠한 정보가 없는 단점이 있다.

이러한 점을 보완하기 위하여 초효율성 모델이 제시되었다. 초효율성 분석에서는 비효율적인 DMU들의 경우 원래는 CCR모형이나 BCC모형에서 계산된 효율성 값을 그대로 갖게 되며 효율적인 DMU 대해서만 새로운 초효율성값이 계산된다.

초효율성값은 효율적 입합을 구성하는 DMU들이 투입벡터의 투입량을 늘려갔을 때 분석을 통해서 얻어진 100% 효율성을 유지할 수 있는 정도를 의미하는 것으로 <표 4>는 Super CCR-Input 방식으로 공항들에 대한 초효율성을 분석한 결과이다.

Super CCR-Input 분석결과 2006년부터 2010년까지 5년간 중국 베이징 수도공항(PEK)이 비교대상 공항들 중에서 가장 효율적인 공항으로 분석되었다.

한국 인천공항의 경우는 CRS분석과 VRS 분석에서는 전 구간 모두 효율적인 공항으로 분석되었으나 초효율성분석을 통해서도 효율적인 타 공항들에 비해 그리 효율성이 높은 것은 아닌 것으로 분석되었다.

3. Malmquist모형에 의한 효율성 분석

3.1. Malmquist 생산성 지수 개요

Shephard(1970)가 효율성 측정을 위해 제시한 산출거리함수를 기초로 한 Malmquist 생산성지수(Malmquist Productivity Index)는 Caves et al.(1982)와 Nishimizu & Page(1982)에 의해 정의되었고, Fare et al.(1989)가 선형계획모형을 이용하여 측정할 수 있는 방법을 개발하여 활용되었다. 거리함수를 근거로 한 DEA의 변형인

Malmquist 생산성지수 모형은 중·횡단면 분석을 통해 다른 시점 사이의 DMU에 대한 효율성 변화를 측정한다. Malmquist 생산성지수는 투입지향(Input-oriented)과 산출지향(Output-oriented) 모형하에 규모의 수익불변(Constant Returns to Scale: CRS)과 규모의 수익가변(Variable Returns to Scale: VRS) 가정으로 측정할 수 있다(Lee, 2006). 본 연구에서는 산출지향모형은 투입지향모형의 역수를 취하면 되므로 투입지향 모형을 사용하며, 또한 기업의 공간적 집적을 통한 규모의 경제가 산업단지의 주요 효과라고 볼 수 있기 때문에 규모의 수익가변 가정 하에 분석하도록 한다.

t기와 t+1기의 기술수준을 기준으로 한 생산성 지수는 각각 식 (6), 식 (7)과 같다(Caves et al., 1982). (xt, yt)와 (xt+1, yt+1)는 t기와 t+1기의 투입물(x)과 산출물(y) 조합을 나타내며, t기의 거리함수  $D_c^t(x^t, y^t)$ 와 t+1기의 거리함수  $D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ 는 각각 t기와 t+1기의 기술수준(효율적 프론티어)에서 투입물(x)과 산출물(y) 조합에 대한 거리를 나타낸다. t기의 기술수준을 기준으로 한 생산성 지수는 다음과 같다.2)

$$M^t = \frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^t(x^t, y^t)} \quad (6)$$

$$M^{t+1} = \frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (7)$$

Fare et al.(1994)은 투입기준 Malmquist 생산성 변화지수를 식 (8)과 같이 정의하였다.

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[ \frac{D_c^t(x^t, y^t)}{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_c^{t+1}(x^t, y^t)}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$= \left[ \frac{D_c^t(x^t, y^t)}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \times \left[ \frac{D_c^{t+1}(x^t, y^t)}{D_c^t(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

식(7)의 첫 번째 줄은 t기와 t+1기 간의 생산성 변화의 정도를 나타내며 총요소 생산성(total factor productivity)으로 해석된다.3) 지수의 값이 1보다 크면 생산성 향상, 1보다 작으면 생산성 감소, 0이면 생산성의 변화가 없음을 의미한다. Malmquist 생산성지수는 규모에 대한 수익불변(CRS) 가정 하에서 기술적 효율성 변화지수(Technical Efficiency Change Index: TEI)와 기술변화지수(Technical Change Index: TCI)로 구분될 수 있다. 위 식의 두 번째 줄에서 첫 번째 항은 두 거리함수의 비율로서 기간 t와 t+1 사이의 기술적 효율성 변화를 측정하고, 두 번째 항은 생산기술의 이동 즉, 기술 변화를 나타낸다.

기술적 효율성 변화지수(TEI)는 t+1기의 기술적 효율성을 t기의 기술적 효율성으로 나눈 값으로 두 기간 사이의 기술적 효율성 변화가 생산성 변동에 기여한 정도를 나타낸다. 투입물과 산출물의 조합이 효율성 프론티어에 가까워졌는지(TEI>1) 또는 멀어졌는지(TEI<1)를 나타낸다. 기술변화지수(TCI)는 t기와 t+1기간의 기술변화를 기간별로 평가하여 기하평균한 것으로 두 기간 사이의 기술 변화가 생산성 변동에 기여한 정도를 나타낸다. 지수의 값이 1보다 크면 기술 진보, 1보다 작으면 기술 퇴보, 1과 같으면 기술 정체가 발생했다고 볼 수 있다(Choi, 2006).

### 3.2. 분석 결과

#### 3.2.1. 개요

본 절에서는 시간의 흐름에 따라 공항의 효율성 변화를 측정할 수 있는 Malmquist 생산성 지수를 분석하기로 한다. Malmquist 생산성 지수는 총 요소 생산성지수(Total Factor Productivity Index: TFPI), 기술적 효율성 변화지수(Technical Efficiency Change Index: TEI), 기술변화지수(Technical Change Index: TCI)로 구분하여 분석한다.

<표 6>은 총요소 생산지수(TFPI), 기술적 효율성 변화지수(TEI), 기술변화지수(TCI)의 증감 추세 개요이다.

<표 6> 지수 증감 추세

연도	TFPI		TEI		TCI	
	지수 평균	증감 단지 숫자	지수 평균	증감 단지 숫자	지수 평균	증감 단지 숫자
2006=>2007	1.446	+17, -3	1.348	+5, -15	1.086	+19, -1
2007=>2008	0.821	+6, -14	1.439	+15, -5	0.640	-20
2008=>2009	0.923	+2, -18	0.977	+6, -14	0.944	+5, -15
2009=>2010	1.065	+15, -5	0.955	+6, -14	1.117	+19, -1
평균	1.064		1.180		0.947	

#### 3.2.2. 총요소 생산성 지수(TFPI)

<표 7> 총요소 생산성 지수(TFPI) 변화

공항	2006=>2007	2007=>2008	2008=>2009	2009=>2010	Average
LGW	0.857	0.844	0.705	0.857	0.816
MAN	1.057	0.879	0.741	1.086	0.941
ORY	8.925	0.102	0.947	0.980	2.739
FRA	1.017	0.983	0.934	1.074	1.002
MUC	1.104	0.686	0.841	0.965	0.899
AMS	1.063	1.029	0.858	0.692	0.910
ZRH	1.056	1.131	0.944	1.059	1.047
VIE	1.059	1.105	0.917	1.073	1.039
FCO	1.147	0.554	0.852	1.290	0.961
LAX	1.074	0.993	0.992	1.075	1.033
SEA	0.978	0.996	0.939	0.991	0.976
SFO	1.005	1.020	0.994	1.056	1.019
NRT	1.013	0.936	0.905	1.130	0.996
KIX	1.044	1.009	0.798	1.040	0.973
HKG	1.112	0.713	0.931	1.168	0.981
BKK	0.961	0.227	0.970	1.138	0.824
PEK	1.094	0.728	1.227	1.070	1.030
PVG	1.150	1.054	1.042	1.277	1.131
ICN	1.171	0.675	0.934	1.152	0.983
SIN	1.029	0.761	0.982	1.118	0.972
Average	1.446	0.821	0.923	1.065	1.064
Max	8.925	1.131	1.227	1.290	2.739
Min	0.857	0.102	0.705	0.692	0.816
SD	1.762	0.277	0.112	0.132	0.401

주: 지수 값이 1보다 크면 생산성 향상, 1보다 작으면 생산성 감소, 1이면 생산성 변화 없음 의미

<표 7>은 규모의 수익가변 가정 하에서 총요소 생산성 지수(TFPI) 변화 추이를 보여준다. 공항의 총요소 생산성 지수(TFPI)는

2) 식에서 값 c는 규모에 대한 수익불변(Constant Return to Scale)을 의미한다.  
3) 비교 점의 자의적인 선정기준을 피하기 위하여 기하평균을 이용하였다.

2006년부터 2007년까지 상승하였고 2007년부터 2009년까지 약간 감소하였으며, 전체적으로 생산성이 평균 6.4% 상승한 것으로 나타났다. 공항별로 보면 2006년부터 2010년까지 생산성이 8개 공항은 상승하였고, 12개 공항은 하락하였다. 생산성이 상승한 공항은 ORY(2.739) 73.9%, FRA(1.002) 0.2%, ZRH(1.047) 4.7%, VIE (1.039) 3.9%, LAX(1.033) 3.3%, SFO(1.019) 1.9% 등이고, 하락한 공항은 LGW(0.816) -18.4%, MAN(0.941) -0.59%, MUC(0.899) -10.1%, AMS(0.910) -9%, FCO(0.961) -3.9% 등이다. BKK의 경우 2007/2008년 생산성이 대폭 하락한 이후 2008/2009년부터 상승하기 시작하였다. PVG의 경우 지난 5년간 생산성 감소 없이 꾸준한 향상을 보여 왔다.

3.2.3. 기술적 효율성 변화지수(TEI)

<표 8> 기술적 효율성 변화지수(TEI)

공항	2006=>2007	2007=>2008	2008=>2009	2009=>2010	Average
LGW	0.851	3.495	0.981	0.972	1.575
MAN	0.936	2.128	0.721	0.942	1.182
ORY	8.593	0.129	1.013	0.788	2.631
FRA	0.973	1.561	0.977	0.981	1.123
MUC	1.088	0.904	0.957	0.795	0.936
AMS	0.956	1.363	0.931	0.623	0.968
ZRH	0.927	2.224	0.986	0.982	1.280
VIE	0.984	1.166	0.970	0.974	1.023
FCO	0.992	0.956	1.003	1.010	0.990
LAX	0.962	1.388	1.020	0.985	1.089
SEA	0.877	1.898	0.994	0.982	1.188
SFO	1.012	1.796	1.020	1.013	1.210
NRT	0.972	1.883	0.984	0.960	1.200
KIX	0.927	1.470	0.843	0.988	1.057
HKG	0.995	1.052	0.991	1.026	1.016
BKK	0.934	0.270	0.970	0.954	0.782
PEK	0.978	1.375	1.188	0.982	1.131
PVG	1.010	1.101	1.029	1.082	1.055
ICN	1.066	0.949	0.996	1.026	1.009
SIN	0.927	1.664	0.965	1.039	1.149
Average	1.348	1.439	0.977	0.955	1.180
Max	8.593	3.495	1.188	1.082	2.631
Min	0.851	0.129	0.721	0.623	0.782
SD	1.706	0.730	0.086	0.105	0.377

<표 8>은 기술적 효율성 변화지수(TEI) 추이이다. 연도별 평균 기술적 효율성 지수는 2006/2010년 기간 큰 변화를 보이지 않아 평균적으로 18% 증가하였다. 개별 공항별로 보면 16개 공항이 상승하였고, 4개 공항은 감소하였다. 상승한 공항은 LGW(1.575) 57.5%, MAN(1.182) 18.2%, FRA(1.123) 12.3%, 등이며, 감소한 공항은 MUC(0.936) -6.4%, AMS(0.968) -3.2%, FCO(0.990) -0.1%, BKK(0.782) -21.8%이다.

3.2.4. 기술변화지수(TCI)

<표 9>는 기술변화지수(TCI)의 변화 추이이다. 기술변화지수는 2006년부터 2010년까지 전 기간에 걸쳐 연평균 5.3% 감소하였고, 개별 공항별로는 상승한 공항이 4개인 반면, 감소한 공항이 16개로 나타났다. 기술변화지수가 상승한 공항은 ORY(1.002) 0.2%, VIE(1.018) 1.8%, BKK(1.016) 1.6%, PVG(1.072) 7.2% 이고, 하락한

공항은 LGW(0.712) -28.8%, MAN(0.931) -6.9%, FRA(0.931) -6.9%, MUC(0.967) -3.3%, AMS(0.975) -2.5% 등이다. 기술변화는 외부적 요인, 즉 정부 정책, 물리적 기술, 경제환경 변화 등에 의해 나타난다.

<표 9> 기술변화지수(TCI) 변화

공항	2006=>2007	2007=>2008	2008=>2009	2009=>2010	Average
LGW	1.006	0.242	0.719	0.882	0.712
MAN	1.129	0.413	1.028	1.152	0.931
ORY	1.039	0.793	0.935	1.243	1.002
FRA	1.045	0.630	0.956	1.095	0.931
MUC	1.015	0.758	0.880	1.214	0.967
AMS	1.112	0.754	0.922	1.110	0.975
ZRH	1.139	0.509	0.957	1.079	0.921
VIE	1.077	0.948	0.946	1.102	1.018
FCO	1.156	0.580	0.849	1.277	0.966
LAX	1.116	0.716	0.973	1.092	0.974
SEA	1.116	0.525	0.944	1.009	0.899
SFO	0.993	0.568	0.974	1.043	0.894
NRT	1.042	0.497	0.919	1.177	0.909
KIX	1.125	0.686	0.947	1.053	0.953
HKG	1.118	0.678	0.939	1.139	0.968
BKK	1.029	0.843	1.001	1.193	1.016
PEK	1.119	0.529	1.034	1.090	0.943
PVG	1.139	0.957	1.012	1.181	1.072
ICN	1.099	0.712	0.937	1.123	0.968
SIN	1.109	0.457	1.018	1.076	0.915
Average	1.086	0.640	0.944	1.117	0.947
Max	1.156	0.957	1.034	1.277	1.072
Min	0.993	0.242	0.719	0.882	0.712
SD	0.050	0.180	0.071	0.088	0.071

주: 기술변화지수(TCI)가 1보다 크면 기술의 진보, 1보다 작으면 기술의 퇴보, 1과 같으면 기술의 정체를 의미

3.2.5. One Way ANOVA 분석

One Way ANOVA 분석은 두 집단 이상이 한 변수(종속변수)에 대한 평균의 차이를 검정할 때 사용하는 것이다. 또는 One Way ANOVA 분석은 독립변수는 명목적으로 구성되어야 하고 종속변수는 등간척도나 비율척도로 측정된 변수이어야 한다. 지역별 효율성 점수 평균 비교를 하기 위해 One Way ANOVA 분석을 실시한다. 종속변수는 입력지향과 출력지향으로 설정하고 독립변수는 아시아, 미주지역, 유럽지역 설정하였다. 실시한 결과는 다음 표와 같다.

<표 10> 지역별 지수 평균 비교(One Way ANOVA 분석)

지수	지역	평균	표준편차	유의확률	Scheffe
TFPI	유럽(a)	1.150	0.600	0.702	-
	미국(b)	1.009	0.030		
	아시아(c)	0.986	0.084		
TEI	유럽(a)	1.301	0.537	0.411	-
	미국(b)	1.162	0.064		
	아시아(c)	1.050	0.127		
TCI	유럽(a)	0.936	0.090	0.552	-
	미국(b)	0.922	0.045		
	아시아(c)	0.968	0.054		

주: \*p<0.05

공항을 지역별 즉 유럽(9개), 미주(3개), 아시아(8개)로 나누어 총 요소 생산성지수(TFPI), 기술적 효율성 변화지수(TEI), 기술변화 지수(TCI)의 5년간 평균점수를 상호 비교한 결과, 지역간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 2006년부터 2010년까지 5년간 세계 주요 20개 공항에 대한 효율성을 횡단면(특정연도)과 종단면(5년간)으로 분석하였다. 2010년 한 해만을 기준으로 CCR 관점에서 효율적인 공항은 게트워공항(LGW), 취리히공항(ZRH), 빈국제공항(VIE), 레오나르도다빈치공항(FCO), 로스앤젤레스공항(LAX), 시애틀터코마공항(SEA), 샌프란시스코(SFO), 홍콩국제공항(HKG), 베이징수도공항(PEK), 상하이 푸둥공항(PVG)이고, BCC 관점에서 순수 기술적으로 효율적인 공항은 게트워공항(LGW), 맨체스터공항(MAN), 취리히공항(ZRH), 빈국제공항(VIE), 레오나르도다빈치공항(FCO), 로스앤젤레스공항(LAX), 시애틀터코마공항(SEA), 샌프란시스코(SFO), 홍콩국제공항(HKG), 베이징수도공항(PEK), 상하이 푸둥공항(PVG)으로 나타났다. 특히 게트워공항(LGW), 취리히공항(ZRH), 빈국제공항(VIE), 레오나르도다빈치공항(FCO), 로스앤젤레스공항(LAX), 시애틀터코마공항(SEA), 샌프란시스코(SFO), 홍콩국제공항(HKG), 베이징수도공항(PEK), 상하이 푸둥공항(PVG)은 기술효율성과 규모 효율성 둘 다 1.0을 보이고 있어 가장 이상적인 형태를 의미하는 MPSS(Most Productive Scale Size)라고 할 수 있다.

또한 본 연구는 확장된 DEA 모델인 초효율성 모델(Super Efficiency)을 이용하여 2006년부터 2010년까지의 기간 중 효율성이 높은 상위 공항 중 가장 효율적인 공항은 어디인지를 분석하였다. 분석결과 2006년부터 2010년까지 5년간 중국의 베이징 수도공항(PEK)이 비교대상 공항들 중에서 가장 효율적인 공항으로 분석되었다. 한국의 인천공항은 CCR분석과 BCC분석에서는 전 구간 모두 비효율적인 공항으로 분석되었으며, 초 효율성분석에서도 타 공항들에 비해 효율성이 낮은 것으로 분석되었다. 하지만 인천공항은 2005년부터 세계 1위로 서비스를 개시하여 현재까지 7년 연속 공항평가 1위를 하고 있으며, 많은 공항에서 이를 벤치마킹하려고 할 정도로 좋은 평가를 받고 있다. 이렇게 세계 1위로 평가되는 공항임에도 불구하고 연구결과 효율성 측면에서 개선의 여지가 충분히 있을 것으로 판단되므로 이를 보완하면 세계 1위의 명성을 꾸준히 이어갈 수 있을 것이다.

Malmquist 생산성 지수를 이용하여 2006년부터 2010년까지 Malmquist 생산성 지수를 측정하였으며 측정된 결과인 총 요소 생산성 변화 지수를 기술적 효율성 변화 지수와 기술변화 지수로 분해하여 측정하였다.

연구의 결과를 통하여 공항의 개발, 운영에 대한 정책, 전략적 함의를 다음과 같이 제안할 수 있을 것이다. 공항의 생산성은 기술변화 보다는 공항 자체의 효율성 변화에 더 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 대부분의 공항 생산성이 하락하는 추세를 보이는 것은 기술적 효율성 지수의 감소가 원인인 것으로 판단된다. 기술 변화 효율성을 더 높게 제공하기 위해서는 공항 자체의 운영 부분에서 다양한 전략적 개선이 요구 된다. 이를 자세히 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 최고의 실적을 보이는 선진 공항들을 벤치마킹할 필요 있다. 둘째, 공항 운영의 비효율, 고비용 요인들을 개선할 필요가 있다. 셋째, 기술 혁신을 통하여 공항 운영에 대한 더 높은 수준으로 기술을 발전 시켜야 한다. 넷째, 중장기적으로 공항의

건설과 규모 등에 대한 과학적인 수요 예측과 설비 구축이 필요할 것이다.

본 연구의 한계는 비모수적 방법에서 Malmquist 생산성 지수는 생산 프론티어가 수익불변이라는 가정에서 생산성 변화를 측정하기 때문에 생산성을 과다 혹은 과소 측정할 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 또한 DEA는 상대적인 효율성을 결정하는 모형이기 때문에 결과 값이 절대적인 기준을 가질 수 없다. 변수를 선정함에 있어서 한계가 있기 때문에 본 연구가 공항의 효율성을 대표한다고 할 수 없으며 데이터 수집의 어려움으로 정량적인 변수만을 선정하였다. 공항의 생산성을 좀 더 정확하게 나타내기 위해서는 다양한 투입변수로 추가하여 연구를 발전시키고 재정적 요인이나, 정책적 요인 등 환경 요인을 같이 분석하여 이를 발전시켜야 한다.

Received: January 12, 2013.

Revised: April 19, 2013.

Accepted: August 19, 2013.

#### References

- Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 39(10), 1261-1264.
- Babot, A. C., and Sochirca, E.(2008). Airlines performance in the new market context: a comparative productivity and efficiency analysis. *Journal of Air Transport Management*, 14, 270-274.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984). Models for the Estimation of Technical and Scale Efficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30, 1078-1092.
- Berger, A.N., and Humphrey, D.B.(1992). *Measurement and Efficiency Issues in Commercial Banking: In Output Measurement in the Service Sectors (Z. Griliches ed.)*. Chicago: University of Chicago Press.
- Caves, D. W., Christensen, I. R., Trethewya, M. W., and Windle, R. J.(1987). An assessment of the efficiency effects of U.S. airline deregulation via an international comparison. in Bailey Public Regulation, *New Perspective on Institutions and Policies*, 285-320, Cambridge, MA: MIT Press.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978). Measuring Efficiency of Decision Making Unit. *European Journal of Operations Research*, 2, 429-444.
- Choi, Deokjae (2006). To enhance the competitiveness of domestic banks bigger push direction: malmquist index using the empirical analysis of the effect the merger centered. Seoul, Korea: Yonsei University Graduate School of Business Administration, Master's Thesis, 58-59.
- Cooper W. W., Seiford, L.M., and Tone, K. (2000). *Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Norwell, Mass: Kluwer Academic Publishers.
- Enrlich, I., George, G. H., Liu, Z., and Lutter, R.(1994). Productivity growth and firm ownership: An analytical and empirical investigation. *Journal of Political Economy*, 102(5), 1021-1031.



- Eom, Kyung-Ah, Kim, Yeong-Seong, & Lee, Dong-Won (2011). Asia Pacific airlines' operational performance assessment and research on ways to improve. *Korean Air Management Association*, 9(2), 35-42.
- Farrell, M.J.(1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120(3), 252-267.
- Good, D. H., Nadiri, M. I., Roller, L. H., and Sickles, R. C.(1995). Efficiency and Productivity Growth Comparisons of European and U.S. Airlines: a First Look at the Data. *The Journal of Productivity Analysis*, 4, 115-125.
- Hong, Seok-Jin (2004). Research on the effectiveness of the air cargo sector, and airlines - DEA Model. *Transportation Research*, 22(3), 102-111.
- Im, Seng-Muk (2009). How to select elements in the input, output DEA. *Industrial Engineering*, 22(1), 44-55.
- Im, Ho-Sun, Lee, Min-Ho, & Park Pan-Tae (2003). Airlines point of research for the assessment of service productivity. *Korean Society of production right*, 14(2), 72-81.
- Jeong, Tae-Rim (2001). Study on strategic alliances in the airline industry. Research report.
- Kang, Ho-Jeong (2009). The relative efficiency of domestic airports and productivity change research. *Korean Air Management Association*, 7(1), 119-128.
- Ku, Bon-Bae(2003). Study on the airline strategic alliance outcomes and success factors. *Institute of Tourism Management, Tourism Management Studies*, 2, 21-43.
- Kim, Gi-Hong, Byeon, Hyo-Geun, & Park, Yug-Yeong (2002). An Exploratory Study of Korean aviation industry and airline strategic alliances. *Tourism Services Research*, 3(1), 19-36.
- Kim, Do-Hyun (2003). Study on the relative efficiency of the domestic airport control tower. *Korean Air luck paragraph Journal*, 11(2), 59-77.
- Kim, Yang-Suk, & Yun, Mung-Gil (2008). Airlines operating efficiency assessment using DEA model. *Korean Air Management Society Proceedings*, 3, 41-49.
- Kim, Jecheol, & Lee Yeong-Soo (2004). Technical efficiency and determinants of the major airlines in Northeast Asia. *Industrial research organization*, 12(4), 1-32.
- Kim, Sung-Ho (1998). Using simulation Monte kageul, parametric nonparametric comparison of the efficiency of a particular method. Incheon, Korea: Inha University Graduate School of Business Administration.
- Kwon, Young-Hun, Kim, Sun-Young, & Lee, Nam-Jun (2010). Comparative analysis of DEA model using the University of operational efficiency Analysis in Metro Manila University and the University in the province. *Journal of Service Management*, 11(1), 179-208.
- Kwon, Young-Hun & Choe, Dong-Gil (2011). Take advantage of low-cost airlines and airlines in the DEA efficiency comparative analysis. *Korea Business Review*, 4(2), 59-79.
- Lichtenberg, F. R., and Rim, M.(1989). The Effect of Mergers on Prices, Costs, and Capacity Utilization in the U.S. Air Transportation Industry, 1970-1984. Working Paper No. 32, The Jerome Levy Economics Institute Bard College.
- Lee, Gi-Sang, & Lee, Mu-Young (2007). Direction of air transportation in Northeast Asia environmental change and the development of the air transport industry in Korea. *Korean Air Management Association*, 5(1), 34-41.
- Lee, Jaegyong (2006). DEA model utilizing evaluation research on the effectiveness of Internet companies. Kwang-Ju, Korea: PhD thesis, Chonnam National University.
- Lee, Jeongdong, Oh, Donghyeon, and Lee, Dong-Won (2007). *Efficiency Analysis Theory and Application*. Seoul, Korea: Seoul Economic Management Press.
- Lee, Yeong-Soo, & Kim, Je-Cheol (2005). TFP estimates and determinants of domestic air transport industry. *Transportation Policy Studies*, 12(1), 23-44.
- Lee, Jae-Koo, Hong, Seok-Jin, & Im, Chun-Woo (2009). The analysis of efficiency and super-DEA efficiency analysis of the major airports in Asia. *Korean Air Management Association*, 7(3), 3-12.
- Lee, Hwan-Ho (2002). Daeung measures of changes in the environment and the world's air transport industry in Korea. *Air and Industrial Research*, 60, 102-120.
- Lee, Heung-Gyu(2005). Study on the efficiency of the airline reservation stub. *Cultural tourism Korea Culture and Tourism Institute of Research*, 7(3), 121-132.
- Lee, Yun, & An, Young-Hyo (2011). South Korea's major national industrial complexes operating efficiency analysis using DEA and Malmquist productivity index. Korean Society of Regional Development.
- Mun, Seung-II, & Seo, Min-Jeong (2009). Study on the development of the domestic low-cost airline. *Journal of Tourism Research*, 21 (2), 173-189.
- Oum, T. H., and Yu, C.(1998). Cost Competitiveness of Major Airlines: an International Comparison. *Transport Research Part A: Policy and Practice*, 32(6), 407-422.
- Park, Gwang-Sik, & Park, Young-Ho (2007). Operational efficiency of domestic travel agencies using the DEA model. *Korea Aerospace University, Institute of Management, Industrial and Management*, 14, 23-34.
- Park, Man-Hui (2008). Efficiency and productivity analysis. Korea Research, 14.
- Park, Jing-Yeong (2007). Korea and Japan, the rail industry's cost structure and productivity analysis: In connection with the restructuring plans and privatization measures in the railway industry. Seoul, Korea: Seoul National University doctoral dissertation.
- Park, Chu-Hwan, & Jeong, Young-Geun(2011). Mitch Impact Analysis Korea, the aviation industry to the local economy. *A Study of Land*, 68, 231-251.
- Park, Chu-Hwan, & Jeong Young-Geun (2011). Economic impact of air logistics industry in Korea through industry linkage analysis. *Industry Economic Research*, 24(3), 1885-1908.
- Park, Hye-Young(2011). Comparative analysis of airline strategic jehyo using DEA efficiency. *Korean Air Management Association*, 9(3), 72-82.

- Scheraga, C. A.(2004). Operational Efficiency versus Financial Mobility in the Global Airline Industry: a Data Envelopment and Tobit Analysis. *Transport Research Part A*, 38, 383-404.
- Song Ji-Jun(2008). *SPSS/AMOS Statistical analysis methods*. Seoul, Korea: 21st Century Publishing
- Windle, R. J.(1991). *The World's Airlines: A Cost and Productivity Comparison*. *Journal of Transport Economics and Policy*, 25(1), 31-49.
- Yeo, Gyu-Heon, & Lee, Yeong-Soo (2007). For strategic alliances in the airline industry and productivity. *Journal of the Korea Flight Schedule*, 15(4), 131-141.