

<論文>

국내공항 관제탑의 상대적 효율성에 관한 연구

김도현*

A Study on the relative Efficiency of ATC Towers
in Domestic Airports

D. H. Kim*

목 차

- I. 서론
- II. 이론적 고찰
- III. 실증분석을 위한 연구설계
- IV. DEA 모형에 의한 실증분석
- V. 결론

Abstract

Air Traffic Control Tower is one of the most important units in Airport operation. It provides services related to safe and efficient traffic flows that control aircraft on the ground maneuvering area and terminal airspace. Also It is responsible for managing of ground operators. The major objective of this study is to evaluates relative efficiency of ATC towers in Domestic airports using data envelopment analysis so that it helps the ATC authority to improve the tower efficiency, to decide the level of benchmarking target and to establish the best alternative. The results of this study are the following;

First, as a result of analysis for the potential improvement, it has analysed that the common problems of each ATC tower are to increase its number of flight and to reduce its number of runway followed by airside area, the number of air traffic controller and the number of stand.

Second, it has shown that the each tower in RKPC(8), RKPT(5), RKPK(1) and RKSS(1) are used as the reference set. Especially, the tower in RKPC analyzed as a relatively efficient unit is the most main target for the towers in RKTU, RKTH, RKPS and RPTY to do bench marking and to set up the strategy for improving relative efficiency of the tower.

Third, tower is actually not able to control the input and output data in this study except the number of controller, so that ATC authority is recommended to improve inefficiency of the towers through handling the number of controller.

Key Words : 항공교통관제, 효율성(Efficiency), 의사결정단위, 준거집단, DEA

* 한서대학교 항공교통관리학과 전임강사

I. 서론

1. 연구의 배경

항공교통은 21세기의 중심적 대중 교통수단이 될 것이며, 특히 공항은 하늘과 바다 그리고 땅을 연결하는 복합운송체계의 중심적 역할을 수행하게 될 것이다. 공항은 국가의 주요 기간시설로서 국가에서 서비스를 제공하고 관리하는 공공기관으로서의 성격이 두드러지므로 최근 연구대상으로 많은 관심을 받고 있는 공공부문의 관리 효율성제고, 사기업 형태의 관리시스템 도입과 같은 관점에서 볼 때 공항의 성과측정이라는 주제 또한 흥미로운 관심대상으로 자리해 가고 있다.

이러한 공공서비스-우체국, 경찰서 등-를 제공하는 조직의 성과측정은 오래전부터 학과와 실무자에게 높은 관심의 대상이 되어왔다. 그 이유 중의 하나는 성과의 향상방안을 찾고 벤치마킹(bench-marking) 대상을 발견하기 위함이다(Keehley, 1997). 공공부문에서 성과측정과 벤치마킹은 상호간 문제를 해결하는데 도움을 주기 위한 보완적인 관계에 있다. 다시 말해서, 성과측정을 위해 벤치마킹이 요구되고 성과측정은 다시 벤치마킹을 통해 전략적인 실행에 도움을 줄 수 있게 된다.

공항운영(Airport Operation)의 핵심위치를 차지하는 주요 기관 중의 하나인 관제탑은 항공기의 안전하고도 효율적인 운항과 관련된 공공서비스, 구체적으로 비행장 내의 이동지역 및 비행장 주위에서 운항하는 항공기와 비행장의 업무에 종사하는 자에 대하여 관제업무를 제공하는 기관이다. 해당업무가 전문적이고 그 대상이 항공기와 일부지역의 장비·인원에 국한되어 있으며 경제여건의 변화에 다른 공공분야보다 비탄력적인 이유로 그동안은 항공교통관제분야에서 효율성과 관련된 성과측정에 대한 적극적인 검토가 이루어지지 않고 있었으나 항공수요의 급증, 공항의 민영화, 특히 정부조직의 책임운영기관 지정에 따른 기업운영방식 도입과 같은 대내·외적 환경 변화에 대응하여 이제는 효율적 성과분석의 범주 안에서 관리되어야 할 분야로 판단되어진다.

본 연구는 이러한 차원에서 국내공항 관제탑의 성과측정과 벤치마킹 문제를 논의하고자 한다. 비모수통계분석이자, 상대적 효율성을 측정하는 기법중의 하나인 DEA 모형을 이용하여 국내공항 관제탑의 상대적 비효율성이 특정부문에 어느 정도 존재하는지를 검증하고, 이에 따른 치유의 정도를 제시하는데 있으며, 공항운영의 중심이 되는 공항관제탑이 효율성을 향상시키는데 기준이 되는 벤치마킹 대상을 파악하고 합리적인 개선방안을 설정할 수 있도록 도움을 주고자 한다.

2. 연구의 방법 및 구성

본 연구는 문헌연구와 실증연구를 병행하였다. 먼저 문헌연구에서는 DEA에 대한 이론적인 배경과 최근 발표되어 검증된 국내·외 연구문헌자료를 중심으로 하였고, 실증연구는 효율성을 측정하는 기법중의 하나인 DEA 모형을 이용하여 국내공항 관제탑의 상대적 효율성을 측정하고자, 의사결정단위(DMU)로서 항공기에게 항공교통관제업무를 제공하는 동질성을 지니고 있는 국내 16개 공항 중 민간 항공교통관제사가 파견되어 있는 15개 공항-인천, 김포, 청주, 양양, 원주, 김해, 제주, 여수, 울산, 목포, 포항, 대구, 사천, 광주, 예천-을 대상으로 수행 하였다.

본 연구의 실증분석을 위한 연구설계에서는 표본의 선정 및 분석을 위한 기초 자료를 수집하고, 공항 Airside 부문 선행연구 및 2003년 10월중 1회에 걸친 항공교통실무자의 면담조사를 통하여 검증된 투입물·산출물 변수를 선정하여 변수집합을 구성한 후 관련 기초 자료를 정리하였다. 항공교통관제업무를 수행하는 관제탑의 효율성 평가에는 본 연구에 포함된 변수 이외에도 관제사의 수준, 구역의 크기, 비행절차 등에 의한 상호의존적 작용에 대한 파악도 중요하나, 본 연구에서는 물리적 데이터에 한정하여 연구를 수행하였다.

이러한 연구설계를 바탕으로 DEA모형을 이용한 국내공항 관제탑의 상대적 효율성에 대한 실증분석을 실시한 후, 결론을 도출 하였다.

본 연구의 구성을 살펴보면, 다음과 같다.

제1장 서론부분에 이어, 제2장은 효율성의 개념 및 DEA의 개요에 대해 살펴보고, DEA 모형을 이용하여 효율성에 대해 이루어진 선행연구문헌을 고찰하였다. 제3장의 실증분석을 위한 연구설계 부분으로 표본을 선정하고 투입물 및 산출물 변수를 선정하였으며, 평가대상이 된 공항의 현황을 파악하였다. 제4장은 DEA 모형을 적용하여 각 공항 관제탑의 상대적 효율성을 비교 분석하였고, 제5장은 이들 연구결과를 종합적으로 정리하고 적용할 수 있는 시사점을 제시하였다. 또한 연구의 한계점과 앞으로의 연구방향도 제시하였다.

II. 이론적 고찰

1. 효율성의 개념

효율성(Efficiency)에 대한 정의는 전통적으로 “투입물(Input)에 대한 산출물(Output)의 비율”을 의미한다.

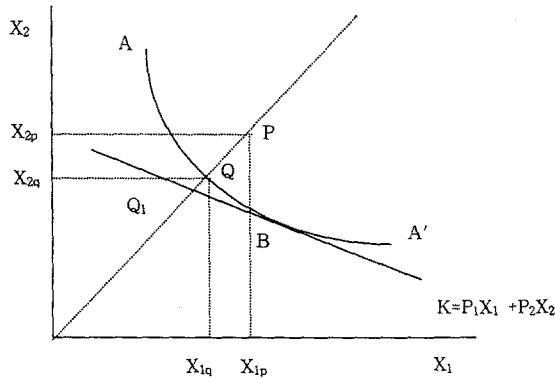
$$\text{효율성(Efficiency)} = \frac{\text{산출물(Output)}}{\text{투입물(Input)}} \quad (1)$$

Ferrell¹⁾은 동질의 기술을 보유한 기업체간에도 내부적으로 발생하는 비효율성(X-inefficiency)으로 인해 성과의 차이가 발생될 수 있는데 이를 기술적 비효율성이라 정의하였다. 이러한 비효율성은 기업체가 이론상 완전히 효율적인 생산 곡선 상에서 활동하고 있지 못함을 의미하는 것이다.

<그림 1>은 Ferrell의 효율성 개념을 설명한 것하고 있다. AA'는 투입물 X_1 과 X_2 의 다양한 결합을 보이는 등량곡선(Isoquant curve)으로 규모에 대한 보수가 일정하다는 전제하에서 $Y = f(X_1, X_2)$ 로 표현되는 산출 1단위를 생산하는 이론상 완전하게 효율적인 생산 프론티어(Production Frontier)이다. 곡선 AA'는 달성 가능한 최대산출수준을 나타내기 때문에 완전히 효

1) Farrell, M. J.(1957), *The Measurement of Productive Efficiency*, Journal of the Royal Statistical Society, P.253-290

을적인 기업의 투입물 배합을 나타내며, 원점과 곡선 AA' 사이의 점들은 달성 불가능한 배합을 의미한다.



<그림 1> Ferrell의 효율성 단위등량곡선

점 P는 어떤 기업의 단위생산당 관찰된 투입물들을 나타내고, 점 Q는 점 P와 동일한 투입배합을 사용하는 효율적인 기업을 나타낸다고 하면, P가 $(X_{1p}, X_{2p}) = (X_{1q}, X_{2q})$ 를 만족하는 실수 t 가 존재한다는 것이다. 만약 OP와 OQ를 각각 원점에서 점 P와 Q 사이의 거리라 하면 t 는 OQ/OP 를 의미하게 된다. 점 P가 효율적이기 위해서는 기업은 현재의 생산량을 OQ/OP 배 만큼 증가시켜야하는데, Ferrell은 이러한 OQ/OP 비율을 기술적 효율성으로 정의하였다. 또한 투입요소의 가격변동에 따라 얼마나 잘 적응하여 최소비용을 달성했는가는 배분적 효율성(OQ_1/OQ)이라 하는데 근본적으로 생산과정에서 발생하는 비효율성을 의미하지 않으므로 본 연구에서는 기술적 효율성만을 대상으로 한다.

2. DEA 모형 및 문헌 검토

Charnes, Cooper, Rhodes(1978) 등에 의해 제시된 DEA는 다수의 투입물(Multiple inputs)과 다수의 산출물(Multiple outputs)의 비율을 이용하여 의사 결정 단위(Decision Making Unit, DMU)의 상대적 효율성(Relative efficiency)을 측정하는 분석기법이다.

선형계획법(Linear programming, LP)에 근거한 비모수적인 방법인 DEA는 특정 함수 형태를 가정하지 않고 일반적인 생산 가능 집합(Production possibility set)에 적용되는 몇 가지 가정 하에서 DMU의 경험적 투입물과 산출물간의 자료를 이용하여 경험적 효율성 프론티어(Empirical efficiency frontier)를 도출한 다음, DMU들이 효율성 프론티어에서 얼마나 떨어져 있는지를 비교하여 비효율성을 측정하는 방법이다.

초기에는 학교, 병원, 정부투자기관, 지방정부와 같은 비영리기관을 대상으로 많은 연구가 진행되었으나, 현재는 동질성이 강하면서 다수의 산출물을 생산하는 복잡한 생산구조를 가진 조직의 효율성을 측정할 때 많이 이용되고 있다.

일반적으로 가장 많이 활용되는 DEA 모형은 Charnes, Cooper & Rhodes(1978)의 CCR 모형과, Banker, Charnes & Cooper(1984)의 BCC 모형이다. 본 연구에서는 CCR 모형에서 특히 투입물(Input)을 최소화하는 투입물 중심 모형(Input-oriented model)을 중심으로 살펴보고자 한다.

1) CCR 모형

CCR 모형은 Charnes, Cooper, Rhodes(1978)에 의해 제시된 다수의 산출물과 다수의 투입물들을 최적의 가중치에 의해 합산함으로써 각각의 측정단위의 효율성을 최대화시키고자하는 선형분수계획모형(Fractional linear programming model)이다. DMU의 효율성을 극대화시키는 방법으로는 투입물을 최소화거나 산출물을 최대화하는 방법이 있다.

CCR 모형에서의 효율성 조건은 $\theta^* = 1$ 이고 모든 여유 변수(Slack variable)의 값을 0으로 가정하고 있다. 이러한 조건 하에서 평가대상이 되는 DMU_o의 다수 투입물(y_{sj})에 대한 다수 산출물(x_{mj})의 효율성이 극대화되는 값을 θ_o 라고 할 때, θ_o 를 다음과 같은 모형으로 나타낼 수 있다.

$$\text{Max } \theta_o = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m y_{mo}}$$

Subject to

$$\frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_j y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \tag{2}$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$$

θ_o = DMU_o의 효율성

v_m = m번째 투입요소에 대한 가중치

u_s = s번째 산출요소에 대한 가중치

x_{mo} = DMU_o의 m번째 투입요소의 양

y_{mo} = DMU_o의 m번째 산출요소의 양

x_{mj} = j번째 DMU_j의 m번째 투입요소의 양

y_{sj} = j번째 DMU_j의 s번째 산출요소의 양

위의 식 (2)는 (s+m)개의 변수와 n개의 제약식을 갖는 비선형성과 비볼록성(non-convex)을 갖는 모형으로 실제 계산에 사용되기 어렵다. 따라서 Charnes와 Cooper가 제시한 선형계획법을 통하여 다음과 같이 전환할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } u y_0 \\
 & \text{Subject to } v x_0 = 1 \\
 & \quad - v X + u Y \leq 0 \\
 & \quad v \geq 0, u \geq 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

선형계획법의 해를 도출하는 방법인 Simplex 해법은 제약식의 수가 많을수록 최적해를 구하기 까지 소요되는 시간이 길어지는 문제점이 있다. 선형계획법의 제약식은 분석하고자 하는 DMU의 수인 반면 쌍대 문제에서는 투입 및 산출 요소의 개수 합 (s+m)이므로 계산상의 간편성을 위해 쌍대 문제(Dual problem)를 이용하게 된다. 식 (3)에 대한 쌍대 문제는 θ 와 벡터 $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$ 을 이용하여 다음 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \theta \\
 & \text{Subject to } \theta x_0 - X\lambda - s^- = 0 \\
 & \quad Y\lambda - s^+ = y_0 \\
 & \quad \lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

θ = 모든 관찰된 X_0 에 적용되는 scale 변수

λ = 해당 DMU가 프론티어 구성에 얼마만큼 작용하였는지를 나타내는 가중치 변수

s^- = 투입요소의 여유변수

s^+ = 산출요소의 여유변수

식 (4)의 두 번째 제약식인 $Y\lambda - s^+ = y_0$ 에 의해 y_0 는 모든 산출량의 선형결합수준을 초과할 수 없으므로 최적해들은 DMU₀의 산출량을 위로부터 감싸면서 평면을 형성한다. 또한 첫 번째 제약식인 $\theta x_0 - X\lambda - s^- = 0$ 에 의해 최적해들은 DMU₀의 투입량을 아래쪽으로부터 감싸면서 또 다른 평면을 만들어낸다. 그리고 다음 조건을 만족할 경우, DMU₀는 CCR-efficient (효율적)라 한다.

$$\theta^* = 1, s^{+*} = s^{-*} = 0$$

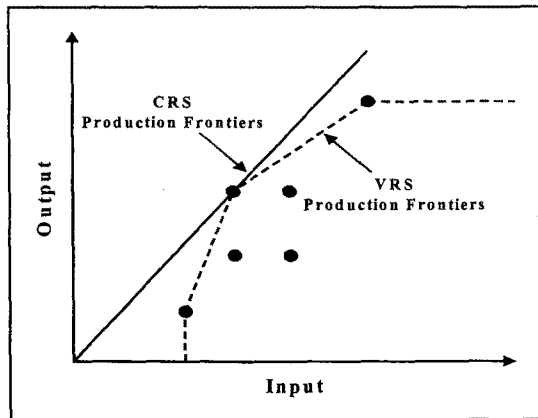
비효율적인 DMU₀의 경우, 과잉 투입량을 감소시키거나 산출량을 증가시킴으로써 비효율적인 DMU를 향상시킬 수 있다. 총 투입 향상(Gross input improvement) 과 총 산출 향상(Gross output improvement)은 식 (5)으로부터 계산될 수 있으며, DMU₀의 최적 투입 및 산출량은 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta x_o &= x_o - (\theta^* x_o - S^{-*}) = (1 - \theta^*)x_o + S \\ \Delta y_o &= S^{+*} \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \hat{x}_o &= x_o - \Delta x_o = \theta^* x_o - s^{-*} \leq x_o \\ \hat{y}_o &= y_o + \Delta y_o = y_o + s^{+*} \geq y_o \end{aligned} \tag{6}$$

2) BCC 모형

Banker, Charnes, Cooper(1984)가 DMU의 전체 효율성을 추정하기 위해 제시한 BCC 모형을 이용해서 주어진 생산활동 규모 하에서 DMU의 순수 기술적인 효율성을 추정하였다. 즉 CCR 모형에서 규모의 보수불변을 나타내는 무한확장가능성(Ray unbounded)²⁾을 배제한 순수한 기술적 효율성(Pure technical efficiency)을 추정하는 방법이다.



<그림 2> CRS 및 VRS 생산 경계면

다음 식 (7), (8), (9)는 각각 산출기준 BCC 모형의 선형분수계획모형(FP), 선형계획법(LP), 쌍대 문제(DLP)이다.

2) 만약 특정벡터(X, Y)가 효율적이라면, t(t>0)배한 다른 벡터도 효율적이라는 특성을 의미.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \quad \frac{vx_o - v_o}{uy_o} \\
 & \text{Subject to} \quad \frac{ux_j - v_o}{uy_j} \geq 1 \quad (j = 1, \dots, n) \\
 & \quad \quad \quad v \geq 0, u \geq 0, v_o \text{ free in sign.}
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \quad \eta_B \\
 & \text{Subject to} \quad X\lambda \leq x_o \\
 & \quad \quad \quad \eta_B y_o - Y\lambda \leq 0 \\
 & \quad \quad \quad e\lambda = 1 \\
 & \quad \quad \quad \lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \quad Z = vx_o - v_o \\
 & \text{Subject to} \quad vy_o = 1 \\
 & \quad \quad \quad vX - uY - v_o e \geq 0 \\
 & \quad \quad \quad v \geq 0, u \geq 0, v_o \text{ free in sign}
 \end{aligned} \tag{9}$$

CCR 모형(4)과 BCC 모형(9)을 비교하면 부호 제약을 받지 않는 변수 v_o 가 도입된 것 이외에는 차이가 없음을 알 수 있다. BCC 모형에서의 v_o 는 규모에 대한 경제를 파악하는 지표로서 사용되며 복수해가 존재하는 경우에는 규모의 경제에 대한 상이한 결과를 도출할 수 있다.

- $v_o = 0$ 규모에 대한 보수불변 (Constant return to scale)
- $v_o < 0$ 규모에 대한 수익증가 (Increasing return to scale)
- $v_o > 0$ 규모에 대한 수익감소 (Decreasing return to scale)

3) DEA 측정방법의 특성

DEA는 다수의 투입물로 다수의 산출물을 생산하는 유사한 목적을 가진 DMU를 비교하여 각 DMU의 효율성 측정치를 제공하고 만약 어떤 DMU가 비효율적인 것으로 측정되면 해당 DMU의 효율적 준거집단(Reference set)을 명시하고, 준거집단을 기준으로 효율적인 DMU로 개선되기 위한 방향을 제시해 주는 특징이 있다.

DEA의 장점은 다음과 같다.³⁾

3) Lewin, A.Y. & Minton, J.W.(1986)., Determining Organizational Effectiveness : Another Look and an Agenda for Research, Management Science 32, P.534-535

첫째, DEA는 다수의 투입물과 산출물(예, 측정단위가 다른 경우 등)이 존재하나 이들을 하나의 지수로 적절히 나타내기 힘들 경우에 유용하게 사용된다.

둘째, DEA는 DMU의 효율성을 최대로 하는 투입물과 산출물에 대한 가중치를 직접 추정하기 때문에 단순 비율 분석(Simple ratio analysis)과 같이 경영 평가를 위한 항목별 가중치를 사전에 주관적으로 결정할 필요가 없다.

셋째, DEA는 준거 집단(Reference set)을 선정하여 상대 평가하므로, 비효율적인 조직의 경우 실현 가능한 목표치의 설정이 가능하게 되고 비효율성의 정도와 그 원인을 구체적으로 파악할 수 있게 된다.

넷째, 구체적 생산함수, 즉 투입 및 산출에 대한 함수관계를 제시할 필요가 없다.

그러나 DEA에도 적용상 고려되어야 할 점이 있는데 이는 다음과 같다.

첫째, DEA는 상대적인 관점에서 효율성을 비교 평가하기 때문에 투입물과 산출물의 측정이 가능하여야 하며, 자료간의 동질성이 특히 요구된다.

둘째, DEA는 투입물 및 산출물 변수의 수에 비해 DMU의 수가 클 때, 보다 효과적으로 이용될 수 있으며, 실제로 이 기법을 적용하는 경우에는 이러한 상관관계를 인식하여 DMU의 수와 투입 및 산출변수의 수를 적절하게 조정하여야 한다.

4) 효율성 관련 선행 연구문헌 고찰

Gillen과 Lall(1997)⁴⁾은 1989년부터 1993년까지 미국 상위 30개 공항 중 21개의 공항을 대상으로 공항 생산성(Productivity)을 분석하였다. 터미널 서비스와 운항 서비스로 분리하여 진행된 이 연구에서, 특히 Airside 운영의 경우, 4개 투입물-공항 면적, 활주로 수, 활주로 면적, 종사원 수-와 2개 산출물-정기 및 부정기 운항 횟수-를 가지고 CCR모형을 이용하여 상대적 효율성을 분석하였다.

Joseph Sarkis(2000)⁵⁾는 1990년부터 1994년까지 미국 상위 80개 공항 중 44개 공항을 대상으로 운영 효율성(Operational efficiency)을 분석하였다. 투입물로는 활주로 수, 게이트 수, 종사원 수, 재무비용을, 산출물로는 운항횟수(정기, 일반항공 구분), 재무 수익, 연간 여객/화물 처리 실적 등으로 하여 운영 효율성과 공항의 외부 요인 및 특성간의 상호 관련성을 BCC 모형 및 CCR 모형으로 설명하였다.

Adler와 Berechman(2001)⁶⁾는 1996년 서유럽, 북미, 아시아공항을 중심으로 공항의 상대적 효율성(Relative efficiency)과 품질(Quality)을 평가하는데 BCC 모형을 채택하였다. 공항 사용료, 최소 연계 시간, 여객 터미널 수, 활주로 수, 도심으로부터의 거리를 투입물로 하고, 항공사 만족도 품질 지수를 산출물로 하여 공항의 효율성을 분석하였다.

4) Gillen & Lall(1997), *Developing Measures Of Airport Productivity and Performance: An Application of Data Envelopment Analysis*, Transportation Res-E 33, P. 261-273

5) Joseph Sarkis(2000), *An analysis of the operational efficiency of major airports in the United States*, Journal of Operations Management 18, P. 335-351

6) Adler & Berechman, *Measuring Airport Quality from the Airlines' Viewpoint: an Application of Data Envelopment Analysis*, Transport Policy 8, 2001, P. 171-181

Pels(2001)⁷⁾는 Gillen과 Lall(1997)의 연구와 마찬가지로 여객터미널과 항공기운항서비스로 구분하여 유럽 주요 공항의 효율성을 분석하였다. 투입물로는 공항부지 면적, 활주로 길이, 주기장 수를, 산출물로는 연간 운항횟수를 선정하여 BCC 모형으로 분석하였다.

Elton Fernandes(2002)⁸⁾는 브라질 내 35개 공항을 대상으로 산출물-연간 여객 처리 실적-과 투입물-주기장 면적, 출발 라운지 면적, 체크인카운터 수, Curb-side 폭, 주차장 수용량, 수하물 집하 구역의 면적-을 가지고 공항의 효율성을 파악하였고, Bazargan과 Vasigh(2003)⁹⁾은 공항규모에 따른 효율성 측정에서 미국 상용공항 45개를 대상으로 CCR모형에 의한 효율성 분석을 실시하였다. 투입물로는 활주로 수, 게이트 수, 운영비용, 비운영비용 등을 사용하였고, 산출물로는 정기/부정기 연간 운항 횟수, 연간 여객처리 실적, 항공/비항공 수익, 정기 운항 비율 등을 선정하였다.

국내연구로는 정부투자기관의 효율성 평가에 DEA기법을 이용한 양정식(1989)의 연구와 지방공기업을 대상으로 효율성을 연구한 주동일(1998), 그리고 정보통신기업을 대상으로 성과평가에 관한 연구를 진행한 오현진(2001) 등의 연구가 있다.

이와 같이 DEA는 효율적인 투입과 산출관계가 쉽게 확인되지 않거나 기본적인 생산함수로 추정하기 곤란한 비영리기관이나 공공부문 및 서비스조직 등의 효율성분석에 널리 활용되고 있으며, 그 적용분야가 점차 확대되고 있음을 확인할 수 있다.

<표 1> 효율성에 관한 선행연구

구분	연도	연구자	적 용 분 야
국외	1997	Gillen & Lall	공항생산성(Productivity) 분석 -터미널 서비스와 운항 서비스
	2000	Joseph Sarkis	공항운영효율성(Operational efficiency) 분석
	2001	Adler & Berechman	공항의 상대적 효율성(Relative efficiency)과 품질(Quality)을 평가
	2001	Pels, Nijkamp & Rietveld	여객터미널과 항공기운항서비스로 구분하여 유럽 주요 공항의 효율성을 분석
	2002	Elton Fernandes	공항의 효율성에 따른 용량을 평가
	2003	Bazargan & Vasigh	공항규모에 따른 효율성 분석
국내	1989	양정식	정부투자기관의 효율성 분석
	1998	주동일	지방공기업의 효율성 분석
	2001	오현진	정보통신기업의 성과평가

7) Pels, Nijkamp & Rietveld(2001), *Relative efficiency of European airports*, Transport Policy 8, P. 183-192

8) Fernandes & Pacheco, *Efficient use of airport capacity*, Transportation Research Part A 36, 2002, P. 225-238

9) Bazargan & Vasigh(2003), *Size versus efficiency: a case study of US commercial airports*, Journal of Air Transport Management

III. 실증분석을 위한 연구 설계

1. 표본의 선정

본 연구의 비모수적 방법인 DEA 모형을 적용하기 위해서 비교 가능한 동질적 의사결정단위(DMU)가 존재하고, 투입물·산출물이 측정 가능해야 한다는 조건이 전제가 되어야 한다.¹⁰⁾

동질적 집단이 정의되면 DMU의 크기를 결정하여야 하는데 이 단계에서는 상반되는 요소를 고려하여야 한다. 즉, DMU의 수가 증가하면 비효율적인 의사결정단위를 찾아낼 수 있는 가능성이 증가하고, DMU 내에서의 투입과 산출관계에 대한 보다 정확한 정보를 추출할 수 있다. 반면, DMU가 증가할수록 일반적으로 집단내의 이질성이 증가할 수 있고 연구목적과는 무관한 환경적 요소에 의해서 성과평가가 영향을 받을 수 있으므로 연구목적과 대조하면서 적절한 수의 표본을 선택해야한다. DMU 표본수의 결정에 있어서는 아직까지 학자들 마다 다른 견해를 제시하고 있다. Golany, Charnes, Cooper와 Sherman(1982)¹¹⁾의 DEA모형에 대한 선행연구에 의하면 비교집단의 표본의 수는 평가지표로 선택된 투입물과 산출물 수의 2배 이상은 되어야 한다고 언급했고, Banker(1984)등은 투입물과 산출물수의 3배 이상을 주장하였으며, Boussofian(1991)등은 최소한 투입물과 산출물의 곱한 수는 되어야 한다고 설명하였다. 반면에 비교집단이 증가할수록 일반적으로 집단내의 동질성은 감소하고 연구목적과는 무관한 환경적 요소에 의해서 성과평가가 영향을 받을 수 있으므로 비교집단의 표본수가 증가하는 경우의 장점과 단점을 연구목적과 대조하면서 적절한 수의 표본을 선택해야 할 것이다.

DEA 모형은 선행연구에 따르면 투입물·산출물의 구조가 유사한 DMU에 적용될 때 가장 의미 있는 것으로 나타나는데 따라서 본 연구에서는 항공교통업무제공을 목표로 공공서비스를 제공하고 민간항공교통관제사가 근무하고 있는 국내 15개 공항을 분석표본으로 선정하였다.<표 2>

<표 2> 표본으로 선정된 국내 15개 공항

공 항 명	항공교통관제사(명)	공 항 명	항공교통관제사(명)
인천공항(RKSI)	22	김포공항(RKSS)	18
청주공항(RKTU)	2	양양공항(RKNY)	5
김해공항(RKPK)	2	원주공항(RKNW)	1
제주공항(RKPC)	10	여수공항(RKJY)	4
울산공항(RKPU)	5	목포공항(RKJM)	3
대구공항(RKTN)	1	포항공항(RKTH)	1
광주공항(RKJJ)	1	사천공항(RKPS)	1
예천공항(RKTY)	1		
총 계		77명	

자료원 : 건설교통부 항공안전본부 내부자료(2003년 9월 현재)

10) H. Leibenstein(1981), *Allocative Efficiency verse X-efficiency*, American Economic Review 56, P.382

11) B. A. Golany, Charnes, W. W. Cooper & H. D. Sherman(1982), *Data Envelopment Analysis and Regression Approach to Efficiency Estimation and Evaluation*, Annals of Operations Research, Vol. 2, P. 95-112.

2. 변수 선정

서두에서도 언급했듯이 DEA 모형은 상대적 효율성을 측정하는 기법으로, 어떠한 변수를 선정하는가에 따라 그 결과는 매우 상이하게 나타난다는 특징이 있다. 따라서 표본의 선택도 마찬가지로 지지만, 투입물 및 산출물 변수의 선택 또한 1차적으로 조사 결과에 신뢰를 부여하느냐 하지 못하느냐의 근거가 된다.

이와 같은 특징을 인지하고, DEA를 통한 연구를 수행하기 전에는 다음의 사항을 충분히 고려하여야 한다.

- 개선 가능성(Improvability) : 매우 경직적인 변수는 배제하고, 실제 경영상 효율성 개선에 도움이 될 수 있는 변수를 중심으로 선택
- 통제 가능성(Controllability) : 외생적 정책변수가 아닌, 투입의 최소 또는 산출의 최대를 도출할 수 있는 통제 가능한 변수를 선택
- 투입물 및 산출물의 수(Number of input and output) : 과도하게 많은 변수를 선택할 경우 DMU의 상대적 효율성을 구별하는 변별력이 저하되는 특징을 감안하였고, 본 연구에서 선택할 수 있는 DMU의 수를 고려하여 선행연구에 포함된 변수 중 반드시 고려되어야 할 것으로 구성

변수선정에 대한 고려사항을 간략하게 정리하면, 투입물 및 산출물을 나타낼 수 있는 모든 변수를 다 선택한다고 좋은 것은 아니기 때문에 투입 산출을 적절히 대표할 수 있는 변수를 선택해야만 한다.

본 연구에서는 상기의 고려 사항을 바탕으로 Part II에서 고찰된 선행연구 중 공항의 효율성에 대한 연구문헌자료를 참조하고, 2003년 10월중 1회에 걸친 항공교통실무자의 면담조사를 통하여 국내공항 관계탑의 상대적 효율성 분석을 위한 투입물 및 산출물 변수를 선정하였다. 분석에 사용된 투입물 및 산출물 변수는 다음과 같다.

1) 투입물 (Input) - 4개

- 항공교통관제사 수
- 게이트 및 Stand 수
- Airside (여객 및 화물계류장과 활주도로 국한) 넓이
- 활주로 수

2) 산출물 (Output) - 1개

- 항공기 운항횟수

<표 3> 국내공항의 항공기 운항횟수(2002년)

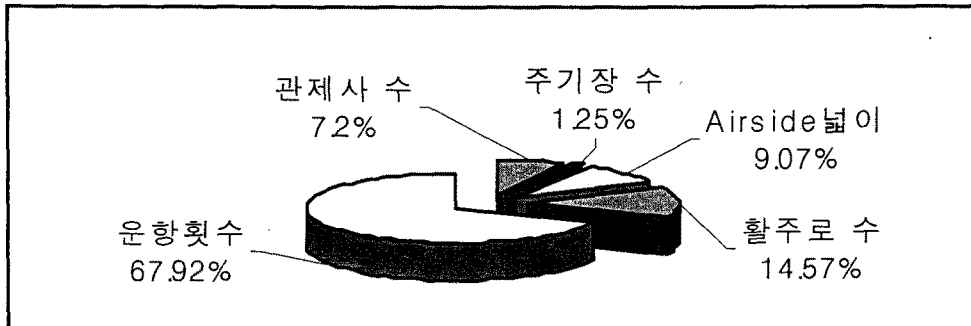
공 항 명	운항횟수	공 항 명	운항횟수
인천공항(RKSI)	126,049	울산공항(RKPU)	12,708
김포공항(RKSS)	128,428	목포공항(RKJM)	2,966
청주공항(RKTU)	4,478	포항공항(RKTH)	8,128
양양공항(RKNY)	3,128	대구공항(RKTN)	19,984
원주공항(RKNW)	615	사천공항(RKPS)	6,485
김해공항(RKPK)	60,090	광주공항(RKJJ)	14,056
제주공항(RKPC)	68,681	예천공항(RKTY)	722
여수공항(RKJY)	7,232		

자료: 항공진흥협회, 항공통계(2002년도)자료에서 재구성

IV. DEA 모형에 의한 실증분석

1. DEA모형에 의한 효율성 분석 결과

본 연구에서는 DEA 모형중 Charnes, Cooper and Rhodes(CCR) 모형을 DMU의 상대적 효율성 분석에 이용하였다. 우선, 15개 국내공항 관제탑의 잠정적인 개선사항에 관한 분석결과를 살펴 보면 <그림 3>에서와 같이 운항횟수의 개선이 +67.92%로 가장 큰 비중을 차지하였고, 다음으로 활주로 수(-14.57%), Airside 넓이(-9.07%), 관제사 수(-7.2%), Stand 수(-1.25%)의 순으로 나타났다. 여기에서 음(-)의 개선이 필요하다고 분석되어진 활주로 수와 Airside 넓이, Stand 수는 이미 건설되어진 시설로서 통제가능하지 않은 투입변수이고 양(+)의 개선이 필요하다고 나타난 운항횟수의 경우는 관제탑에서 해당 산출변수를 제어할 수 있는 기관이 아님을 감안한다면; 통제가능한 관제사의 수(-7.2%), 즉 관제사의 투입인원을 7.2% 음으로 개선함으로써 효율성이 향상될 수 있다고 분석할 수 있다.



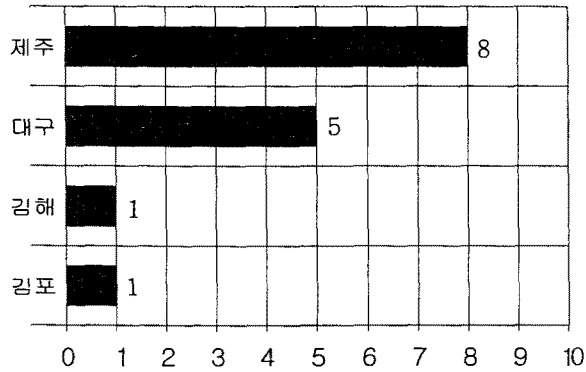
<그림 3> 전체 DMU의 잠정적 개선 요구결과

DMU 15개와 투입물·산출물 변수 5개로 선형계획법을 구성하여, 2003년 자료를 가지고 상대적 효율성을 분석한 결과는 <표 4>와 같다. 여기서 효율성 측정값 1.0000은 상대적 효율성을 의미하고, 1.0000보다 작은 값은 상대적 비효율성을 말한다. 즉, 상대적 효율성을 지닌 관제탑은 각 국내공항 관제탑의 벤치마킹의 대상이 됨을 의미하게 된다.

<표 4> CCR 모형에 의한 효율성 측정결과 (2003년 자료 기준)

DMU	효율성	준거집단
인천공항(RKSI)	0.9815	RKSS
김포공항(RKSS)	1.0000	
청주공항(RKTU)	0.2228	RKPC, RKTN
양양공항(RKNY)	0.1936	RKPC
원주공항(RKNW)	0.1522	RKPC
김해공항(RKPK)	1.0000	
제주공항(RKPC)	1.0000	
여수공항(RKJY)	0.7558	RKPC
울산공항(RKPU)	0.7864	RKPC
목포공항(RKJM)	0.3671	RKPC
포항공항(RKTH)	0.5210	RKPC, RKTN
대구공항(RKTN)	1.0000	
사천공항(RKPS)	0.8045	RKPC, RKTN
광주공항(RKJJ)	0.6326	RKPK, RKTN
예천공항(RKTY)	0.0896	RKPC, RKTN

상기 <표 4>에서와 같이 분석결과 효율적으로 나타난 관제탑은 김포, 김해, 제주, 대구 등 총 4개 공항의 관제탑으로 나타났고, 상대적으로 비효율적으로 분석된 기관은 인천공항을 비롯한 나머지 11개 관제탑으로 측정되었다. 효율적으로 나타난 관제탑은 타 공항관제탑의 준거집단(reference set)으로 활용되어지는데, 공항별로 살펴보면 제주관제탑은 기타 관제탑에 대해 9회, 대구관제탑은 5회 그리고 김포와 김해는 각각 1회에 걸쳐 준거집단으로 평가되었다. 한편, 상대적 비효율성을 보이는 관제탑은 인천국제공항관제탑을 포함한 11개 관제탑으로 전체의 73.3%를 나타내고 있고, 이러한 관제탑은 투입물·산출물의 수준에 있어서 상대적 효율성이 있는 준거집단에 비해 비효율적인 자원배분이 있었음을 알 수 있다. 다시 말하면, 15개의 DMU 중 김포, 김해, 제주, 대구 등 4개의 관제탑만이 경험적으로 효율성프론티어를 형성하고 있으며 나머지 11개 관제탑은 이러한 프론티어와의 관계 속에서 상대적으로 비효율적이라고 측정되었다는 의미이다.



<그림 4> 준거집단(Reference Set) 활용 빈도

2. 항목별 세부 분석 결과

다음의 <표 5>는 준거집단에 비해 상대적으로 비효율적으로 나타난 관제탑의 구체적 변수 분석치를 제시하고 있다. 상대적으로 비효율적인 관제탑의 실제 투입물·산출물 데이터(Actual Data)와 CCR 모형에 의해 구해진 최적 투입물·산출물 데이터(Target Data)간의 차를 백분율로 나타낸 것으로, “+”는 최적의 산출물보다 상대적으로 적게 발생한 백분율(%)을 의미하고, “-”는 최적의 투입물보다 상대적으로 더 추가된 백분율(%)을 의미한다. 전체적으로 보면, 비효율적으로 분류된 공항은 산출물인 운항횟수가 적게는 현재의 1.9%부터 많게는 1016%까지 증가해야만 상대적 준거집단의 효율성에 근접할 수 있는 것으로 나타나고 있다.

<표 5> 상대적으로 비효율적인 관제탑의 변수 분석결과 (2003년 기준)

DMU	투입물(%)				산출물(%)
	관제사수	Stand 수	Airside 넓이	활주로 수	운항횟수
인천공항(RKSI)	-18.2	-7.4	-25.6	·	+1.9
청주공항(RKTU)	·	·	-58.6	-60.6	+348.8
양양공항(RKNY)	-52.9	·	-33.5	-52.9	+416.6
원주공항(RKNW)	-41.2	·	-80.4	-88.2	+556.9
여수공항(RKJY)	-65.2	-21.1	·	-72.1	+32.3
울산공항(RKPU)	-52.9	·	-17.8	-52.9	+27.2
목포공항(RKJM)	-60.8	·	-11.9	-76.5	+172.4
포항공항(RKTH)	·	-22.1	·	-26.7	+91.9
사천공항(RKPS)	·	·	-80.0	-86.4	+24.3
광주공항(RKJJ)	·	·	·	·	+58.1
예천공항(RKTY)	·	·	-58.9	-72.7	+1016.4

<표 4>와 <표 5>의 분석결과를 정리하면, 인천공항 관제탑은 준거집단인 김포관제탑에 비하여 상대적으로 비효율성(0.9815)을 지닌 것으로 나타났다. 따라서 인천공항관제탑은 김포공항관제탑을 벤치마킹하여 통제 가능한 투입물(Input-oriented Model)을 최소화하거나 통제가능한 산출물(Output-oriented Model)을 극대화함으로써 관제탑의 효율성을 상대적으로 증가시킬 수 있다는 의미가 된다. 그러나 앞에서도 언급하였듯이 투입물 중 이미 건설된 Stand 수(-7.4%)나 Airside 넓이(-25.6%), 활주로 수는 관제탑에서 통제하기 곤란한 변수로 과 투입된 부분에 대해서는 공항당국과의 협의를 통해 적극적인 대체 활용방안을 모색할 수밖에 없으며, 산출물인 운항횟수(+1.9%) 역시 관제탑에서 과소 산출된 부분을 관리할 수 있는 기관이 아니므로 통제가 곤란한 변수이다. 그러므로 통제가능한 관제사 수(-18.2%)를 조절함으로써 준거집단에 대한 상대적 효율성을 다소나마 향상시키는 방법이 현재로서는 가장 타당한 개선방안으로 판단된다.

마찬가지로 현재의 관제사 인원에 있어 각각의 준거집단에 비하여 상대적으로 양양공항은 -52.9%, 원주공항은 -41.2%, 여수공항은 -65.2%, 울산공항은 -52.9%, 목포공항은 -60.8% 개선되어야 할 것으로 분석되었다. 한 가지 주목할 점은 이러한 관제사의 수를 개선하는 방안이 관제탑의 전체 효율성을 크게 개선시키는 데는 전술한 <그림 3>의 15개 국내공항 관제탑의 잠정적인 개선사항에 관한 분석결과에서 나타난 바와 같이 그 관제사 수의 개선비중이 다른 투입·산출물 변수에 비하여 상대적으로 낮은 이유(-7.2%)로 여수공항관제탑의 경우를 제외하고 기타 관제탑의 경우는 큰 개선효과를 나타내지 못함도 감안해야 할 것이다.

다음의 <표 6>은 상대적 비효율성을 지닌 공항에 2개 이상의 준거집단을 형성하는 공항이 효율성 산정시 영향을 미친 기여도를 나타내고 있다. 준거집단의 기여도 분석은 상대적으로 비효율적인 각 공항의 효율성 향상을 위해 준거집단 중 우선으로 벤치마킹을 해야 할 공항을 선정하는데 중요한 정보로 이용된다.¹²⁾

<표 6> 2개 이상의 준거집단이 비효율적 DMU에 미친 기여도에 관한 분석결과

DMU	준거집단	기여도				
		관제사수	Stand 수	Airside넓이	활주로 수	운항횟수
청주공항(RKTU)	RKPC	0.76	0.55	0.50	0.40	0.52
	RKTN	0.24	0.45	0.50	0.60	0.48
포항공항(RKTH)	RKPC	0.65	0.80	0.83	0.89	0.85
	RKTN	0.35	0.20	0.17	0.11	0.15
사천공항(RKPS)	RKPC	0.90	0.77	0.75	0.70	0.80
	RKTN	0.10	0.23	0.25	0.30	0.20
광주공항(RKJJ)	RKPK	0.80	0.55	0.60	0.80	0.70
	RKTN	0.20	0.45	0.40	0.20	0.30
예천공항(RKTY)	RKPC	0.95	0.80	0.78	0.70	0.82
	RKTN	0.05	0.20	0.22	0.30	0.18

12) Asia Hussain & Matthew Jones(2001), *Frontier Analyst Workbook*, Baxia Soft Ltd, P.17

<표 6>에서 보는 바와 같이 청주공항관제탑의 준거집단인 제주공항과 대구공항의 경우, 활주로 수(0.40 : 0.60)를 제외한 모든 변수에서 제주공항관제탑이 청주공항관제탑에 기여도가 높은 것으로 나타나 벤치마킹 대상이 되는 DMU로 설명할 수 있다. 또한, 포항공항, 사천공항, 예천공항의 관제탑 역시 제주공항 관제탑이 다른 준거집단에 비해 상대적으로 월등한 기여도를 보여 우선적으로 벤치마킹해야 하는 DMU로 분석되었다. 광주공항 관제탑의 경우는 준거집단으로 김해공항관제탑과 대구공항 관제탑이 선정되었는데, 그 중 보다 우선시해야 할 DMU는 김해공항 관제탑으로 측정되었다.

V. 결론

국가의 주요 기간시설인 공항은 공공기관으로서 성격이 짙으며 관리 효율성제고, 사기업 형태의 관리시스템 도입과 같은 관점에서 볼 때 공항의 성과측정은 연구할 필요가 있는 관심대상으로 자리해 가고 있다. 그 이유는 성과측정을 위해 벤치마킹이 요구되고 성과측정은 다시 벤치마킹을 통해 전략적인 실행에 도움을 줄 수 있게 되기 때문이다. 특히 공항운영(Airport Operation)의 핵심위치를 차지하는 관제탑은 항공기의 안전하고도 효율적인 운항과 관련된 공공서비스를 제공하는 기관으로 항공수요의 급증, 공항의 민영화 그리고 정부조직의 책임운영기관 지정에 따른 기업운영방식 도입과 같은 대내·외적 환경변화에 대응하여 이제는 효율적 성과분석의 범주 안에서 관리되어야 할 분야로 판단되어진다.

본 연구는 효율성을 측정하는 기법중의 하나인 DEA-CCR 모형-를 채택하여 국내공항 관제탑의 상대적 효율성을 측정하고자, 의사결정단위(DMU)로서 동질성을 지니고 있는 국내 15개 공항을 대상으로 수행 하였다. 또한 투입물 및 산출물 변수의 선정은 선행 문헌연구와 1회에 걸친 항공교통실무자와의 면담조사를 통하여 투입물 변수 4개, 산출물 변수 1개가 채택되었으며, 이를 바탕으로 실증분석을 실시하였다. 이러한 상대적 효율성 실증분석을 통해 제시된 결과는 다음과 같다.

첫째, 15개의 국내공항 관제탑의 잠정적인 개선사항에 관한 분석결과, 운항횟수의 개선이 +67.92%로 가장 큰 비중을 차지하였고, 다음으로 활주로 수(-14.57%), Airside 넓이(-9.07%), 관제사 수(-7.2%), Stand 수(-1.25%)의 순으로 나타났다. 여기에서 음(-)의 개선이 필요하다고 분석되어진 활주로 수와 Airside 넓이, Stand 수는 이미 건설되어진 시설로서 통제가능하지 않은 투입변수이고 양(+)의 개선이 필요하다고 나타난 운항횟수의 경우는 관제탑에서 해당 산출변수를 제어할 수 있는 기관이 아님을 감안한다면, 통제가능한 관제사의 수(-7.2%), 즉 관제사의 투입인원을 7.2% 음으로 개선함으로써 효율성이 향상될 수 있다고 분석할 수 있다.

둘째, 효율성을 지닌 관제탑은 김포, 김해, 제주, 대구 등 총 4개 공항의 관제탑으로 나타났고, 상대적으로 비효율적인 DMU는 인천공항을 비롯한 나머지 11개 관제탑으로 측정되었다. 효율적으로 나타난 관제탑은 타 공항관제탑의 준거집단(reference set)으로 활용되어지는데, 공항별로 살펴보면 제주관제탑은 기타 관제탑에 대해 9회, 대구관제탑은 5회 그리고 김포와 김해는 각각 1회에 걸쳐 준거집단으로 활용되었다. 이러한 비효율성을 지닌 관제탑은 투입물·산출물의 수준에 있어서 상대적 효율성이 있는 준거집단에 비해 비효율적인 자원배분이 있었음을 알 수 있다.

셋째, 인천공항관계탑은 김포공항관계탑을 벤치마킹하여 통제 가능한 투입물(Input-oriented Model)을 최소화하거나 통제가능한 산출물(Output-oriented Model)을 극대화함으로써 관계탑의 효율성을 상대적으로 증가시켜야 한다. 그러나 투입물 중 이미 건설된 Stand 수(-7.4%)나 Airside 넓이(-25.6%), 활주로 수는 관계탑에서 통제하기 곤란한 변수로 과 투입된 부분에 대해서는 공항당국과의 협의를 통해 적극적인 대체 활용방안을 모색할 수밖에 없으며, 산출물인 운항 횟수(+1.9%) 역시 관계탑에서 과소 산출된 부분을 관리할 수 있는 기관이 아니므로 통제가 곤란한 변수이다. 그러므로 통제가능한 관계사 수(-18.2%)를 조절함으로써 준거집단에 대한 상대적 효율성을 다소나마 향상시키는 방법이 현재로서는 가장 타당한 개선방안으로 판단된다. 마찬가지로 현재의 관계사 인원에 있어 각각의 준거집단에 비하여 상대적으로 양양공항은 -52.9%, 원주공항은 -41.2%, 여수공항은 -65.2%, 울산공항은 -52.9%, 목포공항은 -60.8% 개선되어야 할 것으로 분석되었다. 그러나 전체 DMU의 잠정적인 개선사항에 관한 분석결과에서 나타난 바와 같이 그 관계사 수의 개선비중이 다른 투입·산출물변수에 비하여 상대적으로 낮은 이유(-7.2%)로 여수공항관계탑의 경우를 제외하고 기타 관계탑의 경우는 큰 개선효과를 나타내지 못함도 감안해야 할 것이다.

넷째, 상대적으로 비효율적인 각 공항의 효율성 향상을 위해 준거집단 중 우선으로 벤치마킹을 해야 할 공항을 선정하는데 중요한 정보로 이용되는 준거집단의 기여도 분석을 통하여 청주, 포항, 사천, 예천공항 관계탑은 제주공항이 기여도가 높게 나타나 우선적으로 벤치마킹해야 할 준거집단으로 설정되었다.

본 연구의 한계점 및 보완사항으로는 우선 단순히 물리적인 투입물·산출물 변수만을 가지고 국내공항의 효율성을 분석함으로써, 각 관계탑의 근무환경, 항공교통관계시스템의 구성, 관계사별 관계능력의 차이 등과 같은 요소 그리고 이러한 요소간의 상호의존성에 대한 고려가 배제되어 실시되었다. 또한 각 공항 관계탑에 파견되어 있는 관계사 중 현장업무가 아닌 행정부서에 배정되어 업무를 수행하는 요원에 대한 데이터의 확인 등이 고려되어 있지 않은 한계점이 있다.

따라서 이 분야의 보다 정확한 효율성 측정을 위해서는 앞에서 언급한 추가적인 사항에 대한 고려, 변수에 가중치를 부여하는 문제등과 같은 한계점을 보완하여 지속적인 연구를 수행할 필요가 있다고 사료되며, 이러한 보완이 이루어지면 그 대상도 항공교통관계 전반으로 확대해 가는 것도 바람직하다고 판단되어진다.

참고문헌

1. A, Hussain & M Jones(2001), *An introduction to Frontier Analyst*, Banxia Software Ltd.
2. Farrell, M. J(1957)., *The Measurement of Productive Efficiency*, Journal of the Royal Statistical Society
3. William W. Cooper(2000), *Data Envelopment Analysis - A Comprehensive Text with Models, Applications, Reference and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers
4. Lewin, A.Y. & Minton, J.W. (1986), *Determining Organizational Effectiveness : Another Look and an Agenda for Research*, Management Science 32

5. Gillen, D. & Lall, A.(1997), Developing Measure of Airport Productivity and Performance: An Application of Data Envelopment Analysis, Transportation Res-E, Vol. 33
6. Sarkis, J.(2000), An Analysis of the Operational Efficiency of Major Airports in the United States, Journal of Operations Management, Vol. 18
7. Adler N. & Berchman. J(2001), Measuring Airport Quality from the Airlines' Viewpoint: an Application of Data Envelopment Analysis, Transport Policy 8
8. Pels, E., Nijkamp, P. & Rietveld, P.(2001), Relative Efficiency of European Airports, Transport Policy, Vol. 8
9. Ferandes, E. & Pacheco, R.R.(2001), Efficient Use of Airport Capacity, Transportation Research Part A, Vol.8
10. Bazaran. M & Vasigh B.(2001), Size Vs Efficiency : a Case Study of US Commercial Airports, Journal of Air Transport Management
11. 양정식(1989), DEA에 의한 정부투자기관의 효율성평가에 관한 연구, 고려대대학원 박사학위논문
12. 주동일(1998), DEA에 의한 지방공기업의 효율성평가에 관한 연구, 서울시립대대학원, 박사학위논문
13. 오현진(2001), DEA모형에 의한 정보통신기업의 성과평가에 관한 연구, 경기대대학원, 박사학위논문