

물류학석사학위 청구논문

아시아태평양 공항의 생산구조 비교분석

Comparative analysis on the production structure of  
Asia pacific airports

2019년 2월

인하대학교 물류전문대학원

학술석사과정

김 영 학

물류학석사학위 청구논문

아시아태평양 공항의 생산구조 비교분석

Comparative analysis on the production structure of  
Asia pacific airports

2019년 2월

지도교수 김 태 승

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함.

Comparative analysis on the production structure of  
Asia pacific airports

By

Young-Hak Kim

A THESIS

Submitted to the faculty of  
the Graduate School of Logistics of  
the INHA UNIVERSITY  
in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of  
MASTER of SCIENCE in LOGISTICS

Graduate School of Logistics, INHA University  
February 2019

2018學年度 碩士學位 請求論文

아시아태평양 공항의 생산구조 비교분석

指導教授 金 泰 勝

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함  
金 永 學의 碩士學位 論文을 認准함

2019년 2월

主 審      朴 容 化      印

副 審      朴 基 贊      印

副 審      金 泰 勝      印

인 하 대 학 교   물 류 전 문 대 학 원

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제1절 연구의 배경 및 목적 .....	1
제2절 연구의 방법 및 구성 .....	3
제 2 장 기존 연구 고찰 .....	6
제1절 선행 연구 .....	6
제2절 본 연구의 특징 .....	8
제 3 장 방법론 설정 .....	9
제1절 생산함수 추정 및 분석 방법 .....	9
1. 생산함수의 개념 .....	9
2. 생산함수 추정 방법(2단계 최소자승법 : 2SLS) .....	11
3. 생산함수 분석 방법 .....	12
제2절 효율성의 개념 및 측정 방법 .....	14
1. 효율성의 정의 및 유형 .....	14
2. 효율성 측정 방법 .....	16
2.1 자료포락분석 .....	16
2.2 확률경계분석 .....	17
제 4 장 연구대상 및 자료의 검토 .....	19
제1절 변수선정 .....	19
제2절 연구대상 .....	21
제3절 자료의 기술 분석 .....	22
1. 기초통계량 .....	22
2. 산출요소의 연도별 추이 .....	23

3. 투입요소의 연도별 추이 .....	24
<b>제 5 장 생산구조 분석 .....</b>	<b>26</b>
제1절 생산함수 추정모형 .....	26
제2절 생산함수 추정 결과 .....	27
1. 1단계 최소자승법 결과 .....	27
2. 2단계 최소자승법 결과 .....	29
제3절 생산함수 분석 결과 .....	30
1. 생산구조 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수) .....	30
2. 생산구조 분석(산출요소 : 항공 여객 수) .....	32
<b>제 6 장 기술적 효율성 분석 .....</b>	<b>35</b>
제1절 확률경계 추정모형 .....	35
제2절 확률경계모형 추정 결과 .....	36
1. 1단계 최소자승법 결과 .....	36
2. 2단계 최소자승법 결과 .....	37
제3절 확률경계모형 분석 결과 .....	38
1. 기술적 효율성 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수) .....	38
2. 기술적 효율성 분석(산출요소 : 항공 여객 수) .....	40
<b>제 7 장 결 론 .....</b>	<b>43</b>
제1절 연구결과 요약 및 시사점 .....	43
제2절 연구의 한계점 및 향후 연구방향 .....	45
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>46</b>

## 표 목 차

<표 1-1> 평균 항공 여객 성장률 예측 .....	2
<표 2-1> 선행 연구 요약 .....	7
<표 4-1> 1단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소 .....	19
<표 4-2> 1단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소의 정의 .....	20
<표 4-3> 2단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소 .....	20
<표 4-4> 2단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소의 정의 .....	21
<표 4-5> 연구대상 공항의 산출량 정리 .....	22
<표 4-6> 산출요소 기초통계량 .....	22
<표 4-7> 투입요소 기초통계량 .....	23
<표 5-1> 생산함수 1단계 최소자승법 결과① .....	27
<표 5-2> 생산함수 1단계 최소자승법 결과② .....	28
<표 5-3> 생산함수 2단계 최소자승법 결과① .....	29
<표 5-4> 생산함수 2단계 최소자승법 결과② .....	30
<표 5-5> 투입요소 간 관계 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수) .....	31
<표 5-6> 요소 탄력성 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수) .....	31
<표 5-7> 규모의 경제 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수) .....	32
<표 5-8> 투입요소 간 관계 분석(산출요소 : 항공 여객 수) .....	33
<표 5-9> 요소 탄력성 분석(산출요소 : 항공 여객 수) .....	33
<표 5-10> 규모의 경제 분석(산출요소 : 항공 여객 수) .....	34
<표 6-1> 확률경계모형 1단계 최소자승법 결과 .....	36
<표 6-2> 확률경계모형 2단계 최소자승법 결과 .....	37
<표 6-3> 각 공항의 연도별 효율성(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수) .....	38
<표 6-4> 각 공항의 연도별 효율성(산출요소 : 항공 여객 수) .....	40
<표 7-1> 규모의 경제 분석 결과 정리 .....	43
<표 7-2> 기술적 효율성과 공항별 산출량 비교 .....	44

## 그림 목 차

<그림 1-1> 연간 항공 여객 성장률 .....	1
<그림 1-2> 1단계 최소자승법 요약 .....	3
<그림 1-3> 2단계 최소자승법 요약 .....	4
<그림 3-1> 기술적 효율성 .....	14
<그림 3-2> 배분적 효율성 .....	15
<그림 3-3> 생산경계와 기술적 효율성 .....	17
<그림 4-1> 항공기 이착륙 횟수의 연도별 추이 .....	24
<그림 4-2> 항공 여객 수의 연도별 추이 .....	24
<그림 4-3> 직원 수의 연도별 추이 .....	25
<그림 4-4> 취항 항공사 수의 연도별 추이 .....	25
<그림 6-1> 각 공항의 평균 효율성(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수) .....	39
<그림 6-2> 각 공항의 평균 효율성(산출요소 : 항공 여객 수) .....	41
<그림 6-3> 인천공항과 아시안태평양 공항의 연도별 효율성 비교 .....	42



# 아시아태평양 공항의 생산구조 비교분석

## 요약

김영학

아시아태평양의 항공 여객 수요 증가 및 공항에 대한 관심의 증가로 아시아태평양 공항들 사이에서 허브공항이 되기 위한 경쟁이 심화되고 있다. 이러한 상황에서 아시아태평양 공항은 터미널 및 활주로 건설, 신기술 도입 등 경쟁 우위를 확보하기 위해 공항 시설에 적극적인 투자를 하고 있다. 그러나 공항 경쟁력의 지속적인 향상을 위해서는 현 상황에서 공항이 무분별한 투자를 하고 있지는 않은지, 비효율적으로 공항을 운영하고 있지 않은지에 대한 전반적인 이해가 필요하다. 따라서 본 연구는 공항의 생산구조 파악을 통해 운영적 흐름의 근거를 찾고, 효율성 측면에서 공항을 평가하여 경쟁력 향상을 위한 대안에 대하여 논하고자 한다.

본 연구에서는 2001년부터 2016년까지 아시아태평양에서 운영 중인 9개 대형 공항을 대상으로 생산구조 분석과 효율성 측정을 하였다. 이를 위하여 2단계 최소자승법을 이용하여 초월대수 생산함수와 확률경계생산함수를 각각 추정하였으며, 추정을 위해 통계프로그램인 STATA(software for statistics and data science)를 이용하였다.

본 연구를 통해 인천공항의 경우 밀도의 경제가 존재하여 항공기 이착륙 횟수당 항공 여객 수가 많아 밀도가 높은 것으로 나타났다. 아시아태평양 공항은 불변에 가까운 상태이며, 이는 평균 비용이 최소화되는 최적의 밀도를 유지함으로써 공항의 경쟁력을 높이고 있는 것으로 판단된다.

기술적 효율성 분석 결과 공항 자본의 무분별한 투자는 공항의 비효율적 운영

을 야기하기 때문에 항공 여객 수요의 적절한 예측을 기반으로 공항 운영 및 확장을 하여야 함을 확인하였다. 특히, 일본 나리타공항과 간사이공항의 경우 새로운 자본 투자로 공항 시설을 확대하기보다는 기존 자본요소의 재배치를 통하여 더 효율적인 공항 운영을 할 수 있을 것으로 나타났다.

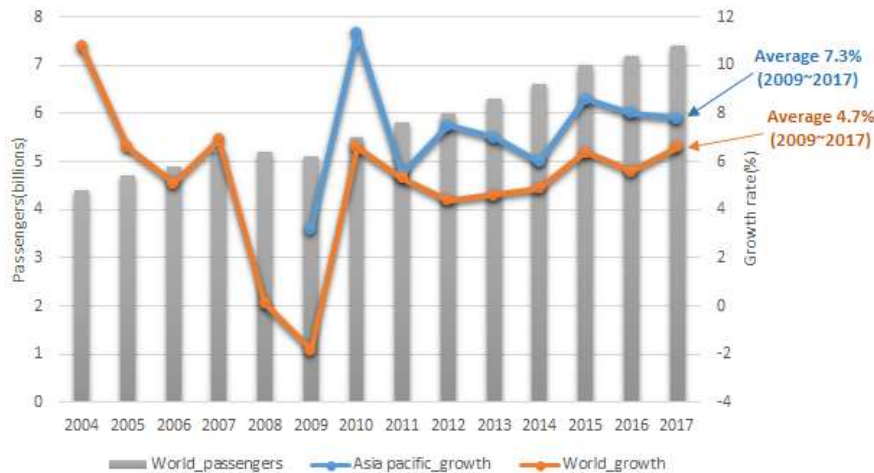
본 연구는 다음과 같은 한계를 가지고 있다. 공항의 경우 공항 활동별로 관리 및 규제가 다르므로 다종산출물로 분석하여야 한다는 점에서 본 연구의 생산함수 분석은 한계가 있다. 또한, 최근 공항 내에 비 항공 수익과 관련된 시설이 늘어남에 따라 비 항공 수익 관련 변수를 고려하여야 하지만 자료의 제약으로 고려하지 못했다는 점에서 한계가 있다.

*주제어 : 아시아태평양 공항, 생산구조, 기술적 효율성, 초월대수 생산함수, 확률경계분석*

# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

세계 항공산업의 효율성 향상으로 인한 항공운임 인하와 아시아태평양 지역의 높은 경제성장의 영향으로 아시아태평양 항공산업은 유례없는 성장을 기록하고 있다. <그림1-1>은 전 세계 연간 항공 여객 성장률과 아시아태평양 지역의 연간 항공 여객 성장률을 비교한 그래프이다.<sup>1)</sup> 2009년에서 2017년까지 전 세계 연간 항공 여객은 평균적으로 4.7%의 성장률을 보였으나 아시아태평양 지역의 경우 평균적으로 7.3%의 성장률을 보여 약 2.6% 이상 높은 성장률을 보였다.



<그림 1-1> 연간 항공 여객 성장률

<표 1-2>는 ACI에서 2040년까지 6개 대륙의 평균 항공 여객 성장률을 예측한 표이다.<sup>2)</sup> 아시아태평양의 경우 두 번째로 높은 성장률을 기록할 것으로 예측되었으며 항공 여객 성장률은 평균적으로 6.2%가 될 것으로 예측되었다. 이상과

1) ACI, annual report 2004~2017

2) ACI, annual report 2016, World Airport Traffic Forecasts

같이 아시아태평양 내 항공 여객 수요는 큰 폭으로 증가하고 있으며 앞으로의 성장 가능성 또한, 높을 것으로 예상하여진다.

<표 1-1> 평균 항공 여객 성장률 예측

MEA	ASP	LAC	AFR	EUR	NAM
7.7%	6.2%	4.6%	4.2%	3.7%	2.8%

공항은 그 나라의 경쟁력을 대표하는 시설이다. 그러므로 성장하고 있는 아시아태평양 공항들 사이에서는 허브공항이 되기 위한 경쟁이 심화되고 있다. 실제로 아시아태평양 국가들은 2000년대 초부터 터미널 및 활주로 건설, 신기술 도입 등 경쟁력을 확보하기 위하여 공항 시설에 적극적인 투자를 하고 있다. 이러한 투자로 각 공항은 항공 여객 수, 화물 톤 수, 항공기 이착륙 횟수와 같은 외부로 보이는 산출물을 늘리기 위해 급급하다. 그러나 공항 경쟁력의 지속적인 향상을 위해서는 현 상황에서 공항이 무분별한 투자를 하고 있지는 않은지, 비효율적으로 공항을 운영하고 있지 않은지에 대한 전반적인 이해가 필요하다. 따라서 투자를 기반으로 경쟁이 심화되고 있는 현 상황에서 공항의 생산구조를 파악하고, 효율성 측면에서 공항을 평가하는 것이 필요하다.

본 연구의 목적은 두 가지로 정리된다.

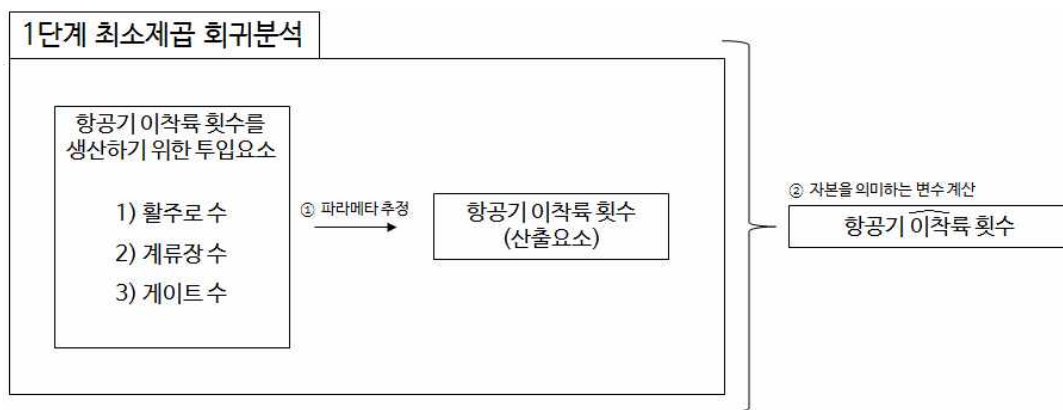
첫째, 초월대수 생산함수 추정을 통해 요소 탄력성, 요소 간 관계, 규모의 경제 여부와 같은 생산구조를 분석하고자 한다. 공항 산업의 경우 자료의 제약이 심하여 생산특성과 관련된 연구가 활발하게 이루어지지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 아시아태평양 공항 산업의 생산구조 분석을 통하여 생산특성으로부터 공항의 운영적 인 흐름의 근거를 찾아보고자 한다.

둘째, 효율성을 측정하는 방법 중에서 하나인 확률경계모형으로 아시아태평양 공항의 효율성을 측정하고자 한다. 각 공항의 연도별 효율성 추이를 비교분석하여 공항의 투입요소가 효율적으로 이용되었는지 분석하고, 이 결과로 공항을 평가해보고자 한다. 또한, 앞으로 아시아태평양 공항이 나아가야 할 방향에 대하여 논하고자 한다.

## 제2절 연구의 방법 및 구성

아시아태평양 지역에 9개 대형공항의 생산구조와 효율성을 측정하기 위해 2단계 최소자승법(2SLS : two stage least square regression analysis)으로 초월대수(translog) 생산함수와 확률경계모형(stochastic frontier model)을 추정하였다.

항공 여객 수와 항공기 이착륙 횟수는 공항의 산출요소로 반드시 포함되어야 하지만 두 산출요소 사이에 높은 상관관계로 내생성 문제가 발생한다.<sup>3)</sup> 따라서 본 연구에서는 변수 사이에 존재하는 내생성 문제를 해결하기 위해 2단계 최소자승법으로 모델을 추정하였다. <그림 1-2>와 <그림1-3>는 모델 추정에 사용된 변수와 추정 단계를 간단하게 도식화한 것이다.

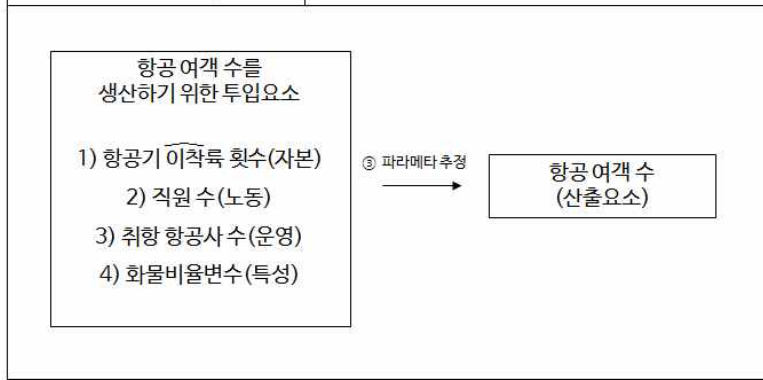


<그림 1-2> 1단계 최소자승법 요약

1단계 최소자승법에 사용된 투입요소는 공항의 Apron 지역에서 항공기가 이착륙할 때 필요한 자본요소이다. 1단계 최소자승법에서 추정된 계수를 이용하여 항공기 이착륙 횟수를 계산하였고, 이 변수는 2단계 최소자승법에서 자본을 의미하는 변수로 사용되었다.

3) Juan carlos Martin and Autusto Voltés-Dorta, The econometric estimation of airports' cost function, Transportation Research Part B, 2010

## 2단계 최소제곱 회귀분석



<그림 1-3> 2단계 최소자승법 요약

2단계 최소자승법에서는 초월대수 형태의 자본, 노동, 운영 요소와 일반 변수 형태의 화물비율변수를 사용하여 계수를 추정하였다. 연구대상에는 홍콩 첵랍콕 공항이나 상하이 푸둥공항과 같이 항공 화물의 비중이 높은 공항이 포함되어 있으므로, 산출물을 하나밖에 사용하지 못한다는 생산함수의 한계를 극복하기 위해 화물비율 변수를 특성 변수로 추가하였다.

본 연구는 총 7장으로 구성되어있으며 각 장의 내용은 다음과 같다.

제2장에서는 공항의 생산·비용함수 추정 및 효율성 분석과 관련된 국외 연구를 고찰하고, 기존 연구들과 차별화된 본 연구의 특징에 대하여 알아본다.

제3장에서는 본 연구에 사용된 함수 형태인 초월대수 생산함수에 대하여 간단히 정리한다. 또한, 모델 추정에 사용된 2단계 최소자승법(2SLS)과 효율성 분석에 사용된 확률경계모형에 대하여 설명한다.

제4장에서는 생산함수를 구성하는 변수를 정리하고 선정 이유에 대하여 설명할 것이다. 또한, 연구대상의 자료수집 방법에 대하여 알아보고, 분석 자료의 기초통계분석으로 산출·투입요소의 연도별 추이를 분석한다.

제5장과 6장에서는 3장에서 설정한 방법론과 4장에서 정리한 변수와 분석 자료를 기초로 생산함수 및 확률경계모형을 추정한다. 5장에서는 생산함수를 추정하여 아시아태평양 공항 산업의 요소 탄력성, 요소 간 관계, 규모의 경제 여부와 같은 생산구조를 분석한다. 6장에서는 확률경계모형을 추정하여 연구대상 공항의 연도별 효율성 추이를 분석한다. 그리고 인천공항과 아시아태평양 공항의

효율성 추이를 비교분석하여 공항의 투입요소가 효율적으로 이용되었는지 분석한다.

제7장에서는 연구결과를 요약하고 앞으로 아시아태평양 공항 산업이 나아가야 할 방향에 대하여 정리할 것이다. 또한, 생산함수의 한계 및 변수선정과 같은 본 연구의 한계점을 지적하고 향후 연구 방향에 대해 제시될 것이다.

## 제 2 장 기존 연구 고찰

산업의 효율성을 측정하기 위해 확률경계분석(stochastic frontier analysis)과 자료포락분석(data envelopment analysis)이 일반적으로 이용되고 있다. 두 모형의 차이는 모수(parameter) 여부에 따라 구분되며 확률경계분석은 모수를 추정하지만 자료포락분석의 경우 모수를 추정하지 않고 가정을 통해 효율성을 측정한다. 공항 효율성을 측정하는 연구의 경우 자료의 제약이 많아 자료포락분석을 주로 사용하였다. 그러나 본 논문에서는 확률경계모형을 이용해 공항의 효율성을 측정했다는 점에서 선행 연구와 차이가 있다.

### 제 1 절 선행 연구

공항의 생산구조를 분석하거나 확률경계모형을 이용하여 공항 효율성을 분석한 국내 논문은 아직 쓰이지 않았다. 따라서 본 절에서는 생산함수모형과 확률경계모형을 이용해 공항 효율성을 분석한 국외 연구를 위주로 정리하였다.

Eric Pels et al.(2003)은 공항의 기술적 효율성 분석을 위하여 1995년부터 1997년까지 유럽 내 33개 공항을 대상으로 자료포락분석모형과 확률경계 생산함수모형을 적용하여 결과를 비교분석 하였다. 확률경계모형 분석에 사용된 함수의 형태는 초월대수 생산함수였으며 항공기 이착륙 횟수와 항공 여객 수 사이에 내생성 문제를 해결하기 위해 2단계 최소자승법으로 생산함수를 추정하였다. 더불어 확률경계모형으로 생산함수를 추정하여 공항별 비효율성 및 요인을 분석하였다. 1단계 최소자승법에 사용된 산출요소로는 항공기 이착륙 횟수를 사용하고 투입요소로는 공항면적, 게이트 수, 계류장 수, 활주로 수(고정요소=2)를 사용하였다. 2단계 최소자승법의 산출요소로는 항공 여객 수를 사용하고 투입요소는 1단계 최소자승법에서 도출된 항공기 이착륙 횟수(도구변수), 체크인 데스크 수, 수하물 찾는 곳 수를 사용하였다. Eric Pels의 연구는 단기 생산함수를 추정하여 공항의 특성을 제대로 반영하지 못했다는 점과 생산함수에 노동요소가 포함되지 않아 투입요소의 설명력이 부족하다는 점에서 한계가 있다.



Hsu-Hao Yang(2010)은 아시아태평양 지역에 12개 국제공항의 1998년부터 2006년까지 기술적 효율성을 측정하기 위해 확률경계분석모형과 자료포락분석모형을 적용하여 분석하였다. Cobb-Douglas 생산함수를 확률경계모형으로 추정하여 요소별 탄력성과 12개 공항의 연도별 평균 기술적 효율성을 계산하였다. 생산함수에 사용된 산출요소는 영업이익이었으며 투입요소로는 직원 수, 활주로 수, 운영비용이 사용되었다. Hsu-Hao Yang의 연구는 공항을 단일산출물로 분석하였다는 점과 자본투입요소에 활주로만 사용하였다는 점에서 한계가 있다.

Juan Carlos Martin & Autusto Voltes-Dorta(2010)는 1991년부터 2008년까지 전세계 공항 161개를 대상으로 비용구조를 분석하고 효율성을 측정하였다. 초월대수 비용함수를 SURE 모형으로 추정하여 비용구조를 분석하였으며 초월대수 생산함수를 확률경계모형으로 추정하여 각 공항의 평균 기술적 효율성을 측정하였다. 분석에 사용된 산출요소로는 항공기 이착륙 횟수, 국제/국내 여객 수, 화물 톤 수, 비 항공 수익이었으며 투입요소로는 노동(공항공사 정 직원), 자본(게이트, 체크인 카운터, 창고 넓이), 운영(터미널 면적, 활주로 길이)을 사용하였다.

<표 2-1> 선행 연구 요약

연도	연구자	연구대상	함수 형태
2003	Eric Pels et al.	유럽 33개 공항	초월대수 생산함수
2010	Hsu-Hao Yang	아시아태평양 12개 공항	콕-더글라스 생산함수
2010	Juan Carlos Martin Autusto Voltes-Dorta	전 세계 161개 공항	초월대수 비용·생산함수
연도	연구자	산출요소	투입요소
2003	Eric Pels et al.	항공기 이착륙 횟수/ 항공 여객 수	공항면적/게이트/계류장 체크인데스크/수하물 찾는 곳/항공기 이착륙 횟수
2010	Hsu-Hao Yang	영업이익	직원/활주로/운영비용
2010	Juan Carlos Martin Autusto Voltes-Dorta	항공기 이착륙 횟수/ 국제·국내 여객 수/ 화물 톤 수/비 항공 수익	노동(공항공사 직원) 자본(게이트/체크인 카운터/창고 넓이) 운영(터미널 면적/활주로 길이)

## 제 2 절 본 연구의 특징

본 연구는 다음과 같은 차별성을 가진다.

첫째, 기존 연구에서 공항 효율성을 측정하는 경우 주로 자료포락분석이 사용되었다. 그러나 본 논문에서는 모수적 방법론인 확률경계분석을 사용하여 효율성뿐만 아니라 공항의 생산구조를 분석하였다는 점에서 기존 연구와 차이가 있다.

둘째, 기존 연구에서는 공항의 다양한 산출요소 중에서 일부만을 반영하였다(Eric Pels et al., 2003; Hsu-Hao Yang, 2010). 그러나 공항의 경우 시설별로 운영관리 규제와 환경이 다르므로 다종산출물로 분석하여야 한다.<sup>4)</sup> 본 논문에서는 항공기 이착륙 횟수, 항공 여객 수를 산출요소로 사용하고 화물 톤수를 특성 변수로 사용하여 공항을 다종산출물로 분석하였다는 점에서 기존 연구와 차별화된다.

셋째, 기존 연구에서는 자본요소를 고정요소로 고려하여 단기생산함수를 추정하였다(Eric Pels et al., 2003). 그러나 공항은 자본 투자가 장기적으로 이루어지므로 자본을 변동요소로 고려하여 장기생산함수를 추정하여야 한다.<sup>5)</sup> 본 논문에서는 2001년부터 2016년까지 자본요소를 변동요소로 고려하여 장기생산함수를 추정하였다는 점에서 기존 연구와 차별화된다.

넷째, 기존 연구에서는 자료의 제약으로 생산함수를 구성하는데 적절한 투입요소를 사용하지 않았다(Eric Pels et al., 2003; Hsu-Hao Yang, 2010). 그러나 본 논문에서는 생산함수를 자본, 노동, 운영 요소로 구성하여 설명력을 높임과 동시에 기존 연구와는 차별화된 변수를 연구에 사용하였다는 점에서 차이가 있다.

---

4), 5) Juan carlos Martin and Autusto Voltes-Dorta, The econometric estimation of airports' cost function, Transportation Research Part B, 2010

## 제 3 장 방법론 설정

### 제 1 절 생산함수 추정 및 분석 방법

#### 1. 생산함수의 개념

생산함수는 주어진 시간 동안 사용한 여러 가지 투입요소의 양과 이를 통해 그 기간 동안 생산할 수 있는 최대한의 산출량 사이의 관계를 나타낸 함수이다<sup>6)</sup>. 따라서 종속변수인 산출량과 독립변수인 투입량들 사이에 다음과 같은 관계가 성립한다고 할 때, 이를 생산함수(production function)라고 한다.  $Q$ 는 산출요소,  $L, K, O$ 는 투입요소로 각각 노동, 자본, 운영을 의미한다. 이 생산함수는 산출요소를 생산하는 과정에서  $L, K, O$ 의 투입요소가 투입되면  $Q$ 만큼 산출량이 생산되어 나온다는 것을 나타낸다.

$$Q = f(L, K, O)$$

공항의 생산구조를 분석한 기존 연구에서 주로 사용한 생산함수의 형태는 크게 두 가지로 구분된다.

첫째는 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 생산함수형태이다. 콥-더글라스 생산함수는 통상적으로 투입요소 상단에 위첨자 값의 합이 1이 되어 1차동차성의 성격을 갖는 형태를 말한다. 비선형함수의 형태인 콥-더글라스 함수는 쉽게 선형함수의 형태로 변형될 수 있으며, 간단한 미분을 통해 요소의 분배현황을 포착한다는 장점이 있다. 그러나 요소투입량과 산출량의 관계가 1차동차성이라는 점에서 규모의 경제 정도를 제약하여 유연성이 낮다는 단점이 있다. 이 함수의 일반적인 함수 형태는 다음과 같다.

---

6) 이준구, 미시경제학 6<sup>th</sup> edition, 문우사, 2013

$$Q = f(L, K, O)$$

$$= AL^\alpha K^\beta O^\gamma \quad < \alpha + \beta + \gamma = 1 >$$

(Q : 산출량, L : 노동, K : 자본, O : 운영)

비선형함수 형태의 콥-더글라스 생산함수의 양변에 로그를 취하여 선형함수 형태로 변환할 수 있다. 콥-더글라스 생산함수의 선형형태는 다음과 같다.

$$\ln Q = \ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln O$$

$$< \alpha + \beta + \gamma = 1 >$$

공항의 생산함수 추정에 이용되는 두 번째 함수 형태는 초월대수(trans-log) 생산함수형태이다. 초월대수 생산함수는 콥-더글라스 생산함수와 비교하여 유연성이 뛰어나 규모의 경제 정도를 제약하지 않는 장점 때문에 분석에 주로 이용되는 생산함수의 형태이다. 하지만 함수의 특성상 독립변수가 추가될수록 추정해야 할 계수가 기하급수적으로 증가하는 단점을 가진다. 따라서 추정의 정확성을 위해서는 변수가 추가될수록 더 많은 자료를 요구하게 된다<sup>7)</sup>. 본 연구에서는 분석의 정확성을 높이고 다양한 분석을 위해 유연성이 높은 초월대수 생산함수를 사용하고자 한다. 이 함수의 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$\ln Q = f(L, K, O)$$

$$= \alpha_0 + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln K + \alpha_3 \ln O + \frac{1}{2} \beta_1 (\ln L)^2 + \frac{1}{2} \beta_2 (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_3 (\ln O)^2$$

$$+ \gamma_1 (\ln L)(\ln K) + \gamma_2 (\ln L)(\ln O) + \gamma_3 (\ln K)(\ln O)$$

(Q : 산출량, L : 노동, K : 자본, O : 운영)

---

7) Winston, Conceptual Developments in the Economics of Transportation : An Interpretive Survey, Journal of Economic Literature, 1985

## 2. 생산함수 추정 방법

본 연구에서는 <1장 2절>에서 언급했던 내생성 문제를 해결하기 위해 2단계 최소자승법(2SLS)으로 생산함수를 추정했다. 내생성 문제는 독립변수와 오차항 사이에 상관관계가 존재하는 경우에 발생하며 이 경우에 추정된 계수는 더 이상 유효하지 않다. 이 문제를 해결하기 위해 도구변수(instrumental variable)를 사용한 2단계 최소자승법(2SLS)으로 모형을 추정하였다.

우선 1단계 최소자승법에서 오차항  $u$ 와는 상관관계가 없으면서 내생변수  $X$ 와는 상관관계가 있는 도구변수  $Z$ 를 이용하여  $\hat{X}$ 을 구한다. 1단계 최소자승법에서 도출된  $\hat{X}$ 을 기존 식의 내생변수  $X$ 의 자리에 넣어 2단계 최소자승법을 진행한다. 이 과정을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

- 1) 내생성 문제 발생 : 오차항  $u$ 와 내생변수  $X$  사이에 상관관계 존재

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X + u$$

$$Cov(X, u) \neq 0$$

- 2) 1단계 최소자승법 : 도구변수  $Z$ 를 사용하여  $\hat{X}$ 을 도출

$$\hat{X} = \beta_0 + \beta_1 Z + v \leftarrow \begin{array}{l} \text{도구변수 } Z \text{는} \\ 1) \text{ 오차항 } u \text{와 상관관계가 없음} \\ \quad \quad \quad Cov(Z, u) = 0 \\ 2) \text{ 내생변수 } X \text{와 상관관계가 있음} \\ \quad \quad \quad Cov(Z, X) \neq 0 \end{array}$$

- 3) 2단계 최소자승법 : 내생변수  $X$  대신  $\hat{X}$ 을 사용하여 회귀분석 진행

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 \hat{X} + u$$

### 3. 생산함수 분석 방법

2단계 최소자승법(2SLS)으로 초월대수 생산함수를 추정한 후에 아시아태평양 공항 산업의 생산구조를 분석하였다. 분석 종류 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 생산함수에서 투입요소별 일차항과 제곱항의 추정된 계수를 이용하여 투입 요소가 산출요소에 미치는 영향을 분석한다. 추정된 생산함수가 다음과 같다면 추정된 계수  $\alpha_1$ 과  $\beta_1$ 을 이용하여 노동요소(L)가 산출요소(Q)에 주는 영향을 분석한다. 계수  $\alpha_2$ 와  $\beta_2$ 을 이용하여 자본요소(K)가 산출요소(Q)에 주는 영향, 계수  $\alpha_3$ 와  $\beta_3$ 로는 운영요소(O)가 산출요소(Q)에 주는 영향을 분석한다.

$$\begin{aligned} \ln Q &= f(L, K, O) \\ &= \alpha_0 + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln K + \alpha_3 \ln O + \frac{1}{2} \beta_1 (\ln L)^2 + \frac{1}{2} \beta_2 (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_3 (\ln O)^2 \\ &\quad + \gamma_1 (\ln L)(\ln K) + \gamma_2 (\ln L)(\ln O) + \gamma_3 (\ln K)(\ln O) \end{aligned}$$

- 2) 생산함수에서 투입요소 간 곱으로 구성된 변수의 추정계수 부호와 P-value 를 통해 투입요소 간 관계를 분석한다. 추정된 생산함수가 다음과 같다면 계수  $\gamma_1$ 의 부호와 통계적 유의성으로 노동요소(L)와 자본요소(K) 사이의 관계를 분석한다. 계수  $\gamma_2$ 의 부호와 통계적 유의성으로는 노동요소(L)와 운영요소(O)의 관계,  $\gamma_3$ 의 부호와 통계적 유의성으로는 자본요소(K)와 운영요소(O)의 관계를 분석한다.

$$\begin{aligned} \ln Q &= f(L, K, O) \\ &= \alpha_0 + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln K + \alpha_3 \ln O + \frac{1}{2} \beta_1 (\ln L)^2 + \frac{1}{2} \beta_2 (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_3 (\ln O)^2 \\ &\quad + \gamma_1 (\ln L)(\ln K) + \gamma_2 (\ln L)(\ln O) + \gamma_3 (\ln K)(\ln O) \end{aligned}$$

3) 추정된 생산함수를 각 요소로 미분하여 생산에 대한 요소 탄력성을 계산한다. 다음은 추정된 생산함수를 투입요소(L, K, O)로 각각 미분하여 요소 탄력성을 구하기 위한 식이다.

$$E_L = \frac{dQ/Q}{dL/L} = \frac{d\ln(Q)}{d\ln(L)} = \alpha_1 + \beta_1(\ln L) + \gamma_1(\ln K) + \gamma_2(\ln O)$$

$$E_K = \frac{dQ/Q}{dK/K} = \frac{d\ln(Q)}{d\ln(K)} = \alpha_2 + \beta_2(\ln K) + \gamma_1(\ln L) + \gamma_3(\ln O)$$

$$E_O = \frac{dQ/Q}{dO/O} = \frac{d\ln(Q)}{d\ln(O)} = \alpha_3 + \beta_3(\ln O) + \gamma_2(\ln L) + \gamma_3(\ln K)$$

4) 각 요소의 생산에 대한 요소 탄력성의 합으로 규모수익(return to scale)을 분석하여 산업 및 공항의 규모의 경제 여부를 분석한다<sup>8)</sup>. 수치가 1미만일 경우 규모수익체감(decreasing return to scale : DRS)상태라고 한다. 수치가 1일 경우 규모수익불변(constant return to scale : CRS)상태이며 수치가 1초과라면 공항의 생산특성은 규모수익체증(increasing return to scale : IRS)상태이다. 규모수익을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{Return To Scale} = \sum \frac{d\ln(Q)}{d\ln(X)} \quad < X = K, L, O >$$

---

8) Fuss et al, A survey of functional forms in the economic analysis of production, Histo of Economic Thought Chapters, 1978

## 제 2 절 효율성의 개념 및 측정 방법

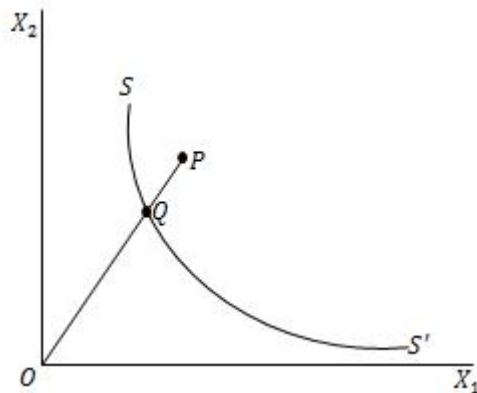
### 1. 효율성의 정의 및 유형

효율성(efficiency)이란 투입에 대한 산출의 비율로 정의된다. 일반적인 식은 다음과 같다.

$$\text{효율성(Efficiency)} = \frac{\text{산출(Output)}}{\text{투입(Input)}}$$

효율성의 개념 및 유형은 Farrell(1957)에 의해 정립되었다. Farrell은 기술적 효율성 이외에 다양한 효율성 개념을 체계적으로 정리하고 이를 측정하는 방법을 제시하였다.

다음 <그림 3-1>과 <그림3-2>는 규모수익불변(constant return to scale)인 생산함수 상에서 완전히 효율적인 기업이 있다는 가정하에 투입요소  $X_1$ 과  $X_2$ 를 이용하여 단일산출물  $Y$ 를 생산하는 경우이다.



<그림 3-1> 기술적 효율성

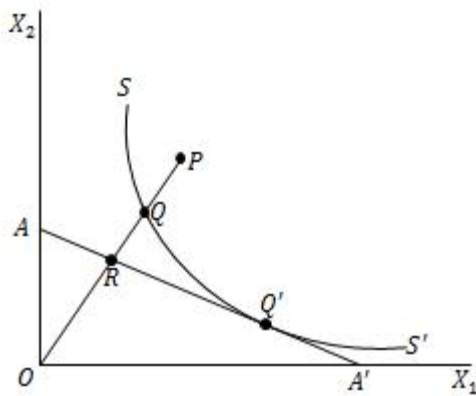
곡선  $SS'$ 는 산출물  $Y$ 를 가장 효율적으로 생산하는 투입요소의 조합을 연결한 등량곡선이다. 따라서 곡선  $SS'$ 는 가장 효율적인 투입요소의 집합으로 경계를 만들기 때문에 생산경계(production frontier)가 되며 이 생산경계를 알 수 있다



면 기술적 효율성은 간단하게 측정할 수 있다. 점 P는 P 기업이 산출물 Y를 Q만큼 생산하기 위해 투입되는 요소의 조합을 나타낸다. 점 P는 곡선  $SS'$  상에 있는 점 Q와 산출량은 똑같지만 생산하기 위한 투입요소가 더 필요함을 나타낸다. 따라서 P기업이 투입요소를 곡선  $SS'$  상의 조합으로 이동하면 더 적은 투입량으로 똑같은 산출량을 생산할 수 있음을 의미한다. 그러므로 기술적 효율성은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있으며  $QP$  사이의 거리가 기술적 비효율성 (technical inefficiency)이 된다.

$$\text{기술적 효율성}(TE : \text{Technical Efficiency}) = \frac{\overline{OQ}}{\overline{OP}}$$

투입요소  $X_1$ 과  $X_2$ 의 가격에 대한 추가적인 정보가 있다면 <그림 3-2>에서  $AA'$ 과 같은 등비용선(isocost line)을 그릴 수 있다. 등비용선은 일정한 생산비용으로 구입할 수 있는 투입요소의 조합을 의미한다. <그림 3-2>에서 등량곡선인  $SS'$ 과 등비용선인  $AA'$ 이 만나는 점  $Q'$ 이 가장 효율적인 투입수준임을 확인할 수 있다. 기존에 기술적 효율성을 나타냈던  $Q$ 는  $Q'$ 보다 더 큰 비용이 요구되는 투입조합이 된다. 따라서 P 기업이 기술적 효율성을 유지하면서 투입조합을  $Q'$ 과 같게 한다면 P 기업의 생산비용은  $\overline{OQ}$ 와  $\overline{OR}$ 의 비율만큼 감소한다.



<그림 3-2> 배분적 효율성

그러므로 배분적 효율성은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있으며  $RP$  사이의 거리가 배분적 비효율성(allocative inefficiency)이 된다.

$$\text{배분적 효율성(AE: Allocative Efficiency)} = \frac{\overline{OR}}{\overline{OQ}}$$

마지막으로 기술적 효율성과 배분적 효율성의 곱으로 비용 효율성(cost efficiency)이 계산된다.

$$\text{비용 효율성(CE: Cost Efficiency)} = \frac{\overline{OQ}}{\overline{OP}} \times \frac{\overline{OR}}{\overline{OQ}} = \frac{\overline{OR}}{\overline{OP}}$$

## 2. 효율성 측정 방법

효율성 측정은 모수 추정 여부에 따라 모수적(parametric) 방법론과 비모수적(non-parametric) 방법론으로 나뉘어진다. 모수적 방법론에는 대표적으로 확률경계분석모형(stochastic frontier analysis model)이 있으며 비모수적 방법론으로는 자료포락분석모형(data envelopment analysis model)이 있다. 두 방법론 모두 각각 장단점이 있으며 어느 방법론이 더 우월한지 판단하는 데 한계가 있다. 그러나 본 연구에서는 우도함수를 최대화하는 모수를 추정하기 때문에 추정의 정확성이 높고, 생산경계로부터 오차를 오차항과 비효율성으로 구분하여 계량경제학적 분석과 통계적 추론이 가능하다는 장점이 있는 확률경계모형으로 아시아태평양 공항 산업의 효율성을 측정하였다.

### 2.1 자료포락분석

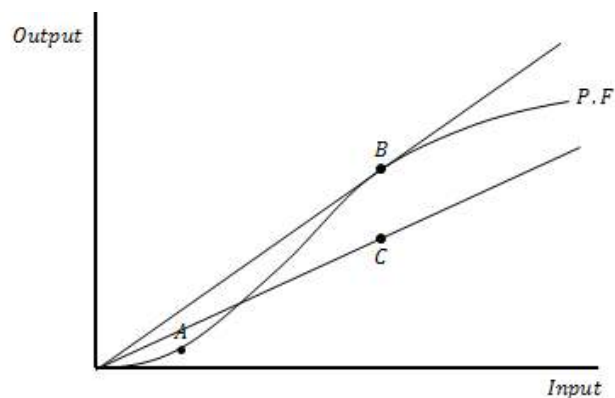
자료포락분석은 Charnes, Cooper and Thodes(1978)에 의해 최초로 제시되었다. 자료포락분석은 측정단위가 서로 다른 투입요소들과 산출요소들을 특정한 가중치 없이 동시에 모형에 포함시킬 수 있어 자료의 가공이 불필요하다는 유용성으로 많은 연구에서 효율성을 측정하는 데 이용되었다. 이 방법론은 함수의 형태를 가정하지 않고 생산 가능 집합(production possibility set)에 몇 가지 가정으로 경험적 효율성 경계(empirical efficiency frontier)를 만든다. 만들어진 경계 위에 있는 DMU(decision making unit)는 효율적인 것으로 간주하며, 경계 아래에

있는 DMU는 비효율적인 것으로 평가된다. 그리고 경계와 DMU 사이에 거리로 비효율성이 측정된다.

그러나 자료포락분석의 경우 방법론상의 유용성이 높지만, 설명되지 않는 오차항이 분석에 포함되는 경우에 효율성 추정에 편의가 발생하여 결과가 과대·과소 추정될 수 있다. 또한, 투입요소들 사이에 상호대체관계를 고려할 수 없다는 한계가 있다.

## 2.1 확률경계분석

확률경계분석은 Aigner, Lovell and Schmidt(1977)과 Meeusen and Broeck(1977)에 의해 최초로 제시되었으며, Battese and Coelli(1992, 1995), Kumbhakar and Lovell(2000) 등에 의해 생산구조를 분석하는 모형으로 발전되어 왔다. 확률경계 분석에서는 어떤 기업이 각 투입요소의 조합으로 생산경계 수준을 생산할 경우 기술적 효율성(technical efficiency)을 달성했다고 정의된다. <그림 3-3>은 기술 수준 상태를 가정하고 생산경계를 그린 것이다<sup>9)</sup>. 그래프 상에서 점 A와 B는 생산경계 위에서 생산하고 있으므로 기술적 효율성을 달성하였다고 정의할 수 있다. 그러나 점 C의 경우 점 B와 동일한 수준의 투입요소로 더 적은 생산을 하고 있으므로 기술적으로 비효율적이라고 한다.



<그림 3-3> 생산경계와 기술적 효율성

9) COELLI, Timothy J., et al. An introduction to efficiency and productivity analysis. Springer Science & Business Media, 2005

확률경계분석의 기술적 효율성 개념을 구체적으로 설명하기 위하여 노동을 투입요소로 가지는 생산함수를 다음과 같이 설정하였다.

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 L + v - u$$

위 식에서  $v$ 는 오차항을 나타내며,  $u$ 는 기술적 비효율성을 나타낸다. 이는 기술적 비효율성이 최적 생산량과 실제 생산량의 비율로 계산된다는 개념 하에 아래 식으로 증명되며, 아래 식에서  $v$ 와  $u$ 가 지수형태인 이유는 선형함수로 변환시켰을 때 계산을 수월하게 하기 위함이다.

$$\text{기술적 효율성} = \frac{\text{실제 생산량}}{\text{최적 생산량}} = \frac{Y}{f(X)} = \frac{f(X) \exp(v) \exp(-u)}{f(X) \exp(v)} = \exp(-u)$$

실제 생산량( $Y$ )은 생산경계 위의 최적 생산량( $f(X)$ )을 넘을 수 없으므로 기술적 효율성은 0과 1사이의 값을 가지며,  $u$ 의 값은 항상 양의 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 만약 최적의 투입조합으로 생산을 한다면  $u=0$ 이 되며, 그렇지 않은 경우에  $u > 0$ 의 값을 가진다. 이와 같은 특성으로  $u$ 는 통상적으로 반정규(half-normal)분포나 지수(exponential)분포 또는 감마(gamma)분포나 절단정규(truncated normal)분포를 따른다고 가정하고 확률경계모형을 추정한다. 어느 분포 가정이 바람직한지는 논란의 여지가 있으며, 이는 확률경계분석의 한계이다<sup>10)</sup>.

확률경계모형의 추정하기 위해서는 우선 생산함수의 형태를 설정한 후  $v$ 와  $u$ 의 확률분포함수를 가정하여야 한다. 그리고 가정한  $v$ 와  $u$ 의 확률분포함수로부터  $v-u$ 의 확률밀도함수를 도출하여 모형을 추정하게 된다. 본 연구에서는 표본 크기가 150보다 큰 경우에 최대우도법(maximum likelihood method : MLM)으로 확률경계모형을 추정한 결과가 가장 정확하다는 선행 연구에 따라 최대우도법으로 확률경계모형을 추정하였다<sup>11)</sup>.

10) 고길곤, 효율성 분석 이론 : 자료포락분석과 확률변경분석, 문우사, 2017.

11) 최태성; 김성호, 몬테카를로 분석에 의한 효율성 추정방법의 비교, 경영과학, 2002

## 제 4 장 연구대상 및 자료의 검토

### 제 1 절 변수선정

공항의 경우 대규모의 다양한 자본이 혼재된 특성을 가지고 있으므로 산출요소와 투입요소를 선정하는데 모호하다는 특징을 가진다. 따라서 공항의 생산구조 및 효율성을 측정하기 위해서 산출·투입변수를 선정하는데 많은 어려움이 따른다. 본 연구에서는 산출·투입변수를 선정하는데 기존 연구에서 사용한 변수를 참고하였으며<sup>12)</sup> 기존 연구에 사용된 변수를 현 공항의 특성에 맞게 변환하여 연구를 진행하였다. <표 4-1>, <표 4-2>와 <표 4-3>, <표 4-4>는 본 연구에서 생산구조 및 효율성 측정을 위해 각각 1단계 최소자승법과 2단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소를 정리한 것이다.

<표 4-1> 1단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소

투입요소	산출요소
활주로 수 계류장 수 게이트 수	항공기 이착륙 횟수

1단계 최소자승법의 투입요소는 활주로 수, 계류장 수, 게이트 수로 선정하고, 산출요소는 항공기 이착륙 횟수로 선정하였다. 기존 연구에서는 공항면적이나 터미널 면적을 투입요소로 사용하였지만<sup>13)</sup> 본 연구에서는 공항·터미널 면적 대신 게이트 수를 투입요소로 사용하였다. 최근 공항 내에 면세점, 호텔, 주차장

12), 13) Eric Pels, Inefficiencies and scale economies of European airport operations, Transportation Research Part E, 2003

등과 같은 비 항공 수익 관련 시설의 비중이 높아지고 있기 때문에 항공 수익과 상관관계가 높은 산출요소인 항공기 이착륙 횟수에 비 항공 수익과 상관관계가 높은 공항·터미널 면적을 투입요소로 사용할 경우 통계적으로 유의하지 않은 결과가 나올 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비 항공 수익과는 상관관계가 낮으면서 터미널 면적과는 상관관계가 높은 게이트 수를 투입요소로 선정했다. 1단계 최소자승법의 결과로 도출된 항공기 이착륙 횟수는 2단계 최소자승법에서 자본을 의미하는 투입요소로 사용된다. <표 4-2>에 1단계 최소자승법에 사용된 산출요소와 투입요소의 정의를 정리하였다.

<표 4-2> 1단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소의 정의

구분	투입요소			산출요소
	활주로 수	계류장 수	게이트 수	항공기 이착륙 횟수
단위	개	개	개	회
정의	전체 활주로 개수 (단, 군용 활주로는 제외)	전체 계류장 개수	전체 게이트 개수	국제+국내여객 출발+도착 (단, 환승여객은 1회)

<표 4-3> 2단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소

투입요소	산출요소
항공기 이착륙 횟수(자본) 직원 수(노동) 취항 항공사 수(운영) 항공화물 비율(특성)	공항 여객 수

2단계 최소자승법의 투입요소는 항공기 이착륙 횟수, 직원 수, 취항 항공사 수로 선정하고, 산출요소는 공항 여객 수로 선정하였다. 항공기 이착륙 횟수는 생산함수의 자본을 의미하는 투입요소로 1단계 최소자승법에서 계산된 산출요소로 도출된다. 기존 연구에서는 운영을 의미하는 투입요소로 체크인 데스크 수가

사용되었지만 본 연구에서는 각 공항의 체크인 데스크 수를 구하는 데 어려움이 있었다. 대신에 체크인 데스크 수와 상관관계가 높은 각 공항의 취항 항공사 수를 운영변수로 사용하였다. 본 연구의 대상 중에서 항공 화물처리량의 비중이 높은 공항의 특성을 고려하기 위해 특성 변수로 항공 화물비율을 사용하였다. 이 특성 변수는 WLU(work load unit)<sup>14</sup>와 화물처리량의 비율로 계산된다. <표 4-4>에 2단계 최소자승법에 사용된 산출요소와 투입요소의 정의를 정리하였다.

<표 4-4> 2단계 최소자승법에 사용된 산출·투입요소의 정의

구분	투입요소				산출요소
	항공기 이착륙 횟수	직원 수	취항 항공사 수	항공화물변수	공항 여객 수
단위	회	명	개	%	명
정의	국제+국내 출발+도착 (단, 환승여객은 1회)	공항공사 정직원 수	해당 공항의 취항 항공사 수	국제+국내여객 출발+도착 (수하물을 제외한 화물, 우편물은 포함됨)	국제+국내여객 출발+도착 (단, 환승여객은 1회)

## 제 2 절 연구대상

본 연구의 대상은 2001년부터 2016년까지 아시아태평양 지역에서 운영 중인 대형공항으로 하였다. 연구대상으로는 대한민국 인천공항, 일본 나리타공항·간사이공항, 중국 베이징 수도공항·상하이 푸둥공항·광저우 바이윈공항, 홍콩 첵랍콕공항, 대만 타오위안공항, 싱가포르 창이공항으로 아시아태평양 내에 9개 대형공항을 선정하였다. 본 연구에서 사용한 공항자료는 각 공항의 공항공사사이트에서 제공하는 공항처리실적 요약자료와 공항별 연차보고서 및 지속가능보고서, ATRS의 Airport Benchmarking Report를 활용하였다. <표4-5>는 연구 대상인 공항의 2001년과 2016년 여객 수, 화물 톤 수, 항공기 이착륙 횟수를 정리하

14) WLU(Work Load Unit) = 화물 100kg을 승객 1명으로 환산한 지표

였다.

<표 4-5> 연구 대상인 공항의 산출량 정리

국가	공항	여객 수 (천 명)		화물 톤 수 (천 톤)		이착륙 횟수 (회)	
		2001	2016	2001	2016	2001	2016
대한민국	인천공항	14,546	57,850	1,197	2,714	87,057	339,673
일본	나리타공항	25,379	36,640	1,681	2,085	130,670	242,474
	간사이공항	18,753	25,237	812	729	121,786	177,109
중국	베이징 수도공항	24,176	94,393	587	1,943	221,749	606,086
	상하이 푸둥공항	7,178	66,002	416	3,440	107,335	479,902
	광저우 바이윈공항	14,276	59,732	456	1,652	137,355	435,231
홍콩	첵랍콕공항	32,546	70,513	2,100	4,562	207,972	411,530
대만	타오위안공항	18,461	42,296	1,190	2,097	123,916	244,464
싱가포르	창이공항	28,094	58,698	1,507	1,907	190,296	360,490

### 제 3 절 자료의 기술 분석

#### 1. 기초통계량

2001년부터 2016년까지 분석에 사용한 9개 공항 전체의 산출·투입요소 기초 통계량은 <표4-6>, <표4-7>과 같다. 아래 자료는 초월대수 함수 형태의 추정에 적합한 값으로 변환시키기 위해 표준화한 후 분석을 진행하였다.

<표 4-6> 산출요소 기초통계량

구분	산출요소	
	항공기 이착륙 횟수	항공 여객 수
최대값	606,086	97,393,000
최소값	107,335	7,178,000
평균	252,332	36,318,000
표준편차	118,419	17,745,000



<표 4-7> 투입요소 기초통계량

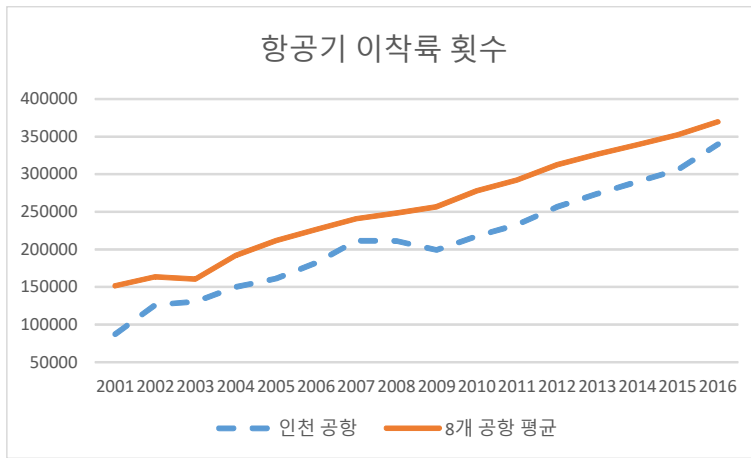
구분	투입요소					
	자본			노동	운영	특성
	활주로 수	계류장 수	게이트 수	직원 수	항공사 수	화물 변수
최대값	4	328	180	7136	115	0.0502
최소값	1	69	28	295	29	0.016
평균	2.19	141.13	74.34	1781.47	71.33	0.0344
표준편차	0.55	77.28	33.41	1662.84	20.39	0.0098

## 2. 산출요소의 연도별 추이

다음 <그림 4-1>, <그림4-2>은 연구 대상인 9개 공항 자료를 사용하여 산출요소인 항공기 이착륙 횟수, 항공 여객 수의 연도별 추이를 그래프로 나타낸 것이다. 인천공항과 아시아태평양 공항의 규모 차이를 비교하기 위하여 인천공항과 8개 공항의 평균을 비교하였다.

우선 <그림4-1>의 항공기 이착륙 횟수의 연도별 추이를 살펴보면 8개 공항과 인천공항의 항공기 이착륙 횟수는 계속해서 증가하는 추세를 보인다. 인천공항의 경우 2008년에 여객 탑승동을 개장했음에도 불구하고 2008년과 2009년에는 항공기 이착륙 횟수가 크게 감소하였다. 이는 2008년 세계 금융위기의 영향으로 보이며 다른 공항보다 인천공항이 더 큰 영향을 받은 것으로 보인다. 2009년 이후에 인천공항의 항공기 이착륙 횟수는 8개 공항의 평균보다 높은 증가세를 보이며 격차가 계속해서 줄고 있다.

<그림4-2>의 항공 여객 수의 경우 항공기 이착륙 횟수와 비슷한 추세를 보인다. 2008년부터 2009년까지 항공 여객 수는 감소했다가 세계 금융위기 이후에는 8개 공항의 평균보다 크게 증가하여 2016년에 8개 공항 평균 여객 수를 넘은 것으로 나타났다.

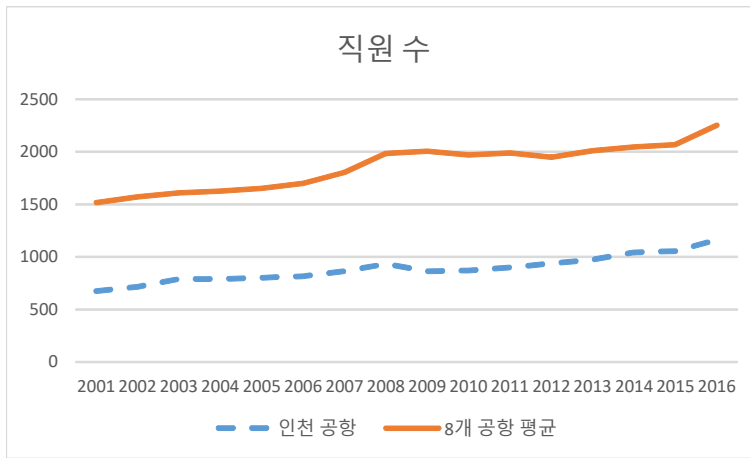


〈그림 4-1〉 항공기 이착륙 횟수의 연도별 추이

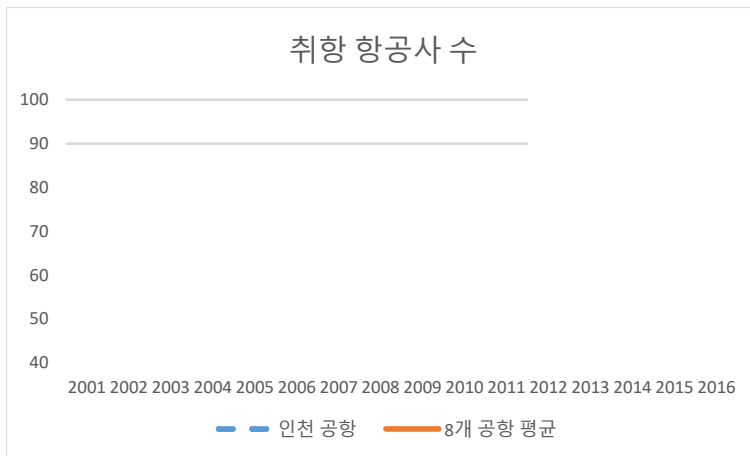


## 2. 투입요소의 연도별 추이

〈그림 4-3〉과 〈그림4-4〉는 투입요소인 직원 수와 취항 항공사 수의 연도별 추



〈그림 4-2〉 직원 수의 연도별 추이



〈그림 4-3〉의 직원 수의 경우 인천공항과 8개 공항 평균 모두 증가하는 추세를 나타내고 있다. 2008년에는 아시아태평양 공항의 직원 수가 크게 증가하였다. 이는 인천공항 탑승동 개장, 베이징 수도공항 터미널3 일부 개장, 상하이 푸둥공항 터미널2 개장, 싱가포르 창이공항 터미널3 개장의 영향으로 보인다.

## 제 5 장 생산구조 분석

### 제 1 절 생산함수 추정모형

제3장의 방법론과 제4장을 종합하여 본 연구에서 생산구조 분석을 위하여 추정하고자 하는 생산함수모형은 다음과 같다.

#### 1. 1단계 생산함수 추정모형

$$\begin{aligned} \ln ATM = & \alpha_1 + \alpha_2 \ln runway + \alpha_3 \ln garage + \alpha_4 \ln gate + \\ & \alpha_5 0.5(\ln runway)^2 + \alpha_6 0.5(\ln garage)^2 + \alpha_7 0.5(\ln gate)^2 + \\ & \alpha_8 (\ln runway)(\ln garage) + \alpha_9 (\ln runway)(\ln gate) + \alpha_{10} (\ln garage)(\ln gate) + \varepsilon \end{aligned}$$

산출 = [ ATM(Air Traffic Movement) : 항공기 이착륙 횟수 ]

투입 =  $\left( \begin{array}{l} \text{Runway : 활주로 수} \\ \text{Garage : 계류장 수} \\ \text{Gate : 게이트 수} \end{array} \right)$

#### 2. 2단계 생산함수 추정모형

$$\begin{aligned} \ln PAX = & \beta_1 + \beta_2 \ln \widehat{ATM} + \beta_3 \ln Employee + \beta_4 \ln Airlines + \\ & \beta_5 0.5(\ln \widehat{ATM})^2 + \beta_6 0.5(\ln Employee)^2 + \beta_7 0.5(\ln Airlines)^2 + \\ & \beta_8 (\ln \widehat{ATM})(\ln Employee) + \beta_9 (\ln \widehat{ATM})(\ln Airlines) + \beta_{10} (\ln Employee)(\ln Airlines) + \\ & \beta_{11} \ln \left( \frac{CGO}{WLU} \right) + \varepsilon \end{aligned}$$

산출 = [ PAX(Air Passenger) : 항공여객 수 ]

투입 =  $\left( \begin{array}{l} \text{ATM : 항공기 이착륙 횟수} \\ \text{Employee : 직원 수} \\ \text{Airlines : 취항 항공사 수} \end{array} \right)$

특성 =  $\left( \begin{array}{l} \text{CGO/WLU : 화물특성 변수} \end{array} \right)$

## 제 2 절 생산함수 추정 결과

### 1. 1단계 최소자승법 결과

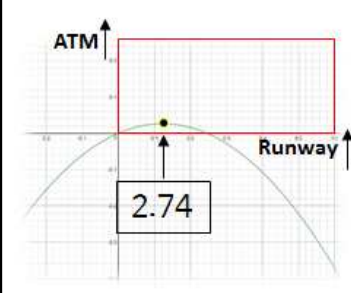
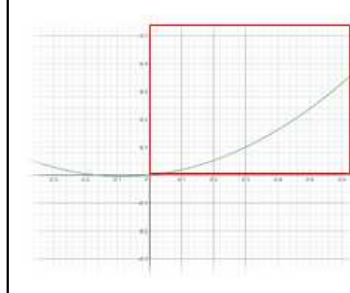
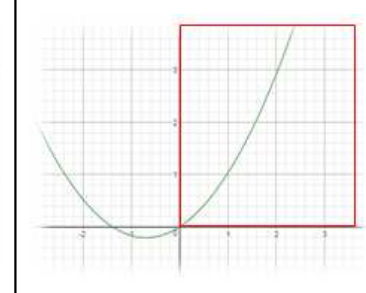
〈표 5-1〉은 초월대수 생산함수의 1단계 최소자승법 결과이다. 총 관측치는 144개(9개 공항 16년 치)이며 모형 적합도 수준은 0.7797로 적합한 것으로 보였다. 추정된 계수의 경우  $\alpha_{runway \times garage}$ 가 통계적으로 유의하지 않았다.  $\alpha_{garage}$ 와  $\alpha_{gate}^2$ 는 유의수준 10%에서, 상수항은 유의수준 5%에서 유의했으며, 나머지 추정 계수는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하게 나타났다.

〈표 5-1〉 생산함수 1단계 최소자승법 결과①

Parameter	Estimate	(s.e)
$\alpha_{constant}$	-0.085**	0.035
$\alpha_{runway}$	0.429***	0.122
$\alpha_{garage}$	0.19*	0.068
$\alpha_{gate}$	0.599***	0.592
$\alpha_{runway}^2$	-1.745***	0.630
$\alpha_{garage}^2$	0.714***	0.209
$\alpha_{gate}^2$	0.429*	0.224
$\alpha_{runway \times garage}$	0.384	0.402
$\alpha_{runway \times gate}$	0.744***	0.227
$\alpha_{garage \times gate}$	-0.637***	0.185
$R^2$	0.7797	
Observations	144	

<표 5-2>는 투입요소별로 일차항과 이차항의 추정계수를 이용해 투입요소가 산출요소에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 계류장과 게이트 요소의 경우 산출요소인 항공기 이착륙 횟수와 양의 관계로 나타났다. 이는 투입요소인 계류장과 게이트의 증가가 생산량인 항공기 이착륙 횟수에 기여한다는 의미가 된다. 반면 활주로 요소의 경우 일정 수준까지는 항공기 이착륙 횟수와 양의 관계지만 일정 수준을 넘어서면 음의 관계인 것으로 보였다. 이 결과는 선행 연구의 결과<sup>15)</sup>와 동일한 결과이며 본 연구에서는 공항의 평균 활주로 개수가 2.74개를 초과할 경우 항공기 이착륙 횟수의 증가에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

<표 5-2> 생산함수 1단계 최소자승법 결과②

$\alpha_{runway}^2$	$\alpha_{runway}$	$\alpha_{garage}^2$	$\alpha_{garage}$	$\alpha_{gate}^2$	$\alpha_{gate}$
-1.745	0.429	0.714	0.119	0.429	0.599
					

15) Eric Pels, Inefficiencies and scale economies of European airport operations, Transportation Research Part E, 2003

## 2. 2단계 최소자승법 결과

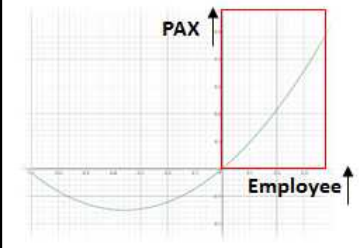

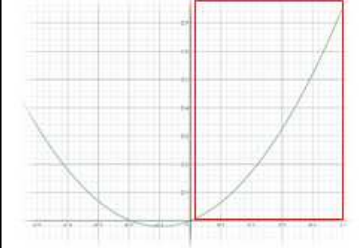
〈표 5-3〉는 생산함수의 2단계 최소자승법 결과이다. 총 관측치의 경우 취항 항공사 수나 직원 수 자료를 구하지 못한 31개 관측치를 제외하고 총 113개 관측치로 분석을 진행하였다. 제외된 관측치는 간사이공항 1개, 베이징공항 4개, 푸둥공항 8개, 광저우공항 12개, 타오위안공항 4개, 창이공항 2개 연도이다. 모형 적합도 수준은 0.8766으로 적합한 것으로 나타났다. 추정치의 경우 상수항, 항공사 수와 직원 수의 제곱 항, 화물특성 변수를 제외한 나머지는 1% 유의수준에서 유의했다.

〈표 5-3〉 생산함수 2단계 최소자승법 결과①

Parameter	Estimate	(s.e)
$\beta_{constant}$	-0.307	0.267
$\beta_{airlines}$	0.895***	0.128
$\beta_{employee}$	0.144***	0.052
$\beta_{ATM}$	0.335***	0.129
$\beta_{airlines}^2$	0.872	0.593
$\beta_{employee}^2$	0.149	0.133
$\beta_{ATM}^2$	1.886***	0.576
$\beta_{airlines \times employee}$	0.832***	0.150
$\beta_{airlines \times ATM}$	-1.501***	0.521
$\beta_{employee \times ATM}$	-0.853***	0.230
$\theta_{cargo/WLU}$	-0.116	0.080
$R^2$	0.8766	
Observations	113	

<표 5-4>는 투입요소와 산출요소의 관계를 나타낸 표이다. 투입요소인 항공사 수(운영), 직원 수(노동), 항공기 이착륙 횟수(자본)와 산출요소인 항공 여객 수는 양의 관계인 것으로 나타났다. 이는 투입요소의 증가가 생산량인 항공 여객 수의 증가에 기여한다는 의미가 된다.

<표 5-4> 생산함수 2단계 최소자승법 결과②

$\beta_{airlines}^2$	$\beta_{airlines}$	$\beta_{Employee}^2$	$\beta_{employee}$	$\beta_{ATM}^2$	$\beta_{ATM}$
0.872	0.895	0.149	0.144	1.886	0.335
					

### 제 3 절 생산함수 분석 결과

#### 1. 생산구조 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수)

<표 5-5>는 1단계 최소자승법 결과에서 투입요소 간 곱으로 구성된 변수의 추정계수와 P-value를 정리한 표이다. 생산함수 추정 결과에서 요소 간 곱으로 구성된 변수의 추정계수 부호와 P-value를 통해 투입요소 간 관계를 분석할 수 있다. 추정치가 양의 부호일 경우 두 투입요소는 보완관계이며, 음의 부호일 경우 투입요소 간 관계는 대체관계로 분석된다.

우선 계류장과 게이트는 활주로와 보완관계로 결과가 분석되었다. 계류장과 게이트가 활주로와 보완관계라는 것은 활주로의 수가 증가할 때 계류장 수와 게이트 수가 함께 증가해야 함을 의미한다. 통계적 유의성을 살펴보면 게이트의 P-value는 0.001로 통계적으로 유의했지만, 계류장의 경우 0.339로 통계적으로 유의하지 않았다. 이와 같은 차이는 계류장은 게이트를 지원하는 역할을 하기



때문의 결과로 보인다. 다시 말해 게이트가 계류장보다 활주로와 직접적인 관계가 있기 때문에 통계적 유의성에서 이러한 차이가 보인 것으로 분석된다.

계류장과 게이트의 경우 대체관계로 분석되었으며 P-value는 0.001로 통계적으로 유의함을 보였다. 이는 게이트의 역할인 탑승 및 정비를 계류장에서 대신할 수 있기 때문의 결과로 보인다.

<표 5-5> 투입요소 간 관계 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수)

Parameter	$\alpha_{runway \times garage}$	$\alpha_{runway \times gate}$	$\alpha_{garage \times gate}$
Estimate(P-value)	0.384(0.339)	0.744(0.001)	-0.637(0.001)

<표 5-6>은 1단계 최소자승법의 산출요소인 항공기 이착륙 횟수에 대하여 투입요소들의 탄력성을 정리한 표이다. 인천공항과 아시아태평양 공항을 비교하기 위하여 인천공항과 8개 공항의 요소 탄력성을 비교하였다. 투입요소 중에서 게이트가 가장 탄력적이었으며 계류장이 가장 탄력성이 낮았다. 인천공항과 아시아태평양 공항을 비교해보면 활주로의 탄력성은 인천공항이 아시아태평양 공항보다 낮았다. 반면 인천공항의 게이트와 계류장의 탄력성은 아시아태평양 공항과 비교하여 높게 분석되었다.

<표 5-6> 요소 탄력성 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수)

	활주로	게이트	계류장
아시아태평양 공항	0.429	0.562	0.002
인천공항	0.364	0.616	0.112

위 요소 탄력성의 합으로 아시아태평양 공항과 인천공항의 규모수익(Return To Scale)을 계산하여 규모의 경제 특성을 비교분석하였다. <표 5-7>은 아시아태평양 공항과 인천공항의 규모의 경제 특성을 정리한 표이다. 수치가 1미만일 경우 규모수익체감(Decreasing Return to Scale)상태이며 공항의 생산특성에 규모의 비경제가 나타났다고 분석된다. 수치가 1일 경우 규모수익불변(Constant Return to Scale)상태이다. 만약 수치가 1초과라면 규모수익체증(Increasing

Return to Scale)상태이며 공항의 생산특성에 규모의 경제가 나타난다고 분석된다.

아시아태평양 공항의 경우 규모수익은 0.993으로 거의 규모수익불변상태로 분석되었다. 인천공항의 경우 1.092로 규모수익체증상태로 분석되었다. 인천공항이 규모수익체증상태라는 것은 인천공항의 효율적인 운영을 위해 현재 투입수준에서 항공기 이착륙 횟수를 더 늘려야 함을 의미한다.

<표 5-7> 규모의 경제 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수)

	아시아태평양 공항	인천공항
규모수익	0.993	1.092

## 2. 생산구조 분석(산출요소 : 항공 여객 수)

<표 5-8>은 2단계 최소자승법 결과에서 요소 간 곱으로 이루어진 변수의 추정계수와 P-value를 정리한 표이다.

우선 항공사 수와 직원 수의 경우 보완관계로 보였으며 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 항공사 수가 증가하면 항공사를 관리하는 공항공사 직원도 증가하여야 하기 때문의 결과로 보인다.

항공사 수와 항공기 이착륙 횟수는 대체관계로 분석되었으며 추정치는 통계적으로 유의했다. 이는 2000년대 초부터 다양한 항공사 Alliance가 생겨나고 활성화됨에 따른 결과로 보인다. 여러 항공사가 항공기의 Load Factor를 높이기 위해 단일항공편에 Alliance를 맺은 항공사의 승객을 한 번에 탑승시키는 전략을 사용하고 있다. 따라서 항공사는 Alliance를 맺어 자본(활주로, 게이트, 계류장)을 의미하는 항공기 이착륙 횟수를 대체한 것으로 분석되었다.

직원 수와 항공기 이착륙 횟수는 대체관계였으며 추정치는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 일반적으로 기술이 진보될수록 노동의 역할이 줄어든다는 통설에 따라 노동과 자본은 대체관계이다. 하지만 본 연구에서 자본은 기술을 의미하는 자본요소가 아니라 활주로, 게이트와 같은 물리적 자본이기 때문에 노동과 자본이 보완관계이어야 한다. 하지만 2000년대부터 현재까지 공항의 노동 특성 때문에 선행 연구와 다른 결과가 나온 것으로 사료된다. 이러한 결과는 아

아웃소싱 직원의 비율이 매우 높은 공항의 특성 때문의 결과로 보인다. 따라서 공항의 자본(게이트, 계류장)이 늘어나더라도 자본을 관리하는 직원은 대부분 아웃소싱 직원이기 때문에 노동(공항공사 직원 수)과 자본(항공기 이착륙 횟수)은 대체관계에 있는 것으로 분석되었다.

<표 5-8> 투입요소 간 관계 분석(산출요소 : 항공 여객 수)

Parameter	$\beta_{airlines \times employee}$	$\beta_{airlines \times ATM}$	$\beta_{employee \times ATM}$
Estimate(P-value)	0.832(0.000)	-1.501(0.004)	-0.853(0.000)

<표 5-9>는 2단계 최소자승법의 산출요소인 항공 여객 수에 대하여 투입요소들의 탄력성을 정리한 표이다. 인천공항과 아시아태평양 공항을 비교하기 위하여 인천공항과 8개 공항의 요소 탄력성을 비교하였다.

투입요소 중에서 항공사 수가 가장 탄력적이었으며 직원 수가 가장 탄력성이 낮았다. 이는 본 연구의 노동요소 자료는 공항공사 직원으로 한정되기 때문에 아웃소싱 직원의 비중이 높은 공항의 특성상 탄력성이 낮게 나온 것으로 보인다. 인천공항과 아시아태평양 공항을 비교해보면 항공사 수, 직원 수, 항공기 이착륙 횟수 모두 인천공항의 탄력성이 낮았다.

<표 5-9> 요소 탄력성 분석(산출요소 : 항공 여객 수)

	항공사 (운영)	직원 (노동)	항공기 이착륙 (자본)
아시아태평양 공항	0.665	0.084	0.326
인천공항	0.493	0.054	0.228

위 요소 탄력성의 합으로 아시아태평양 공항과 인천공항의 규모수익(return to scale)을 계산하여 규모의 경제 특성을 비교분석하였다. <표 5-10>은 아시아태평양 공항과 인천공항의 규모의 경제 특성을 정리한 표이다.

아시아태평양 공항의 경우 규모수익은 1.075로 규모수익체증상태로 분석되었다. 이는 아시아태평양 공항의 생산특성에 규모의 경제가 나타남을 의미하며, 지속해서 자본, 노동, 운영 요소를 투자하여 항공 여객 수를 증가시켜야 함을

의미한다.

인천공항의 경우 0.775로 규모수익체감 상태로 분석되었다. 인천공항이 규모수익체감 상태라는 것은 인천공항의 항공 여객 수는 이미 포화상태라는 것을 의미한다. 실제로 연구기간동안 인천공항은 이미 제1터미널의 연간 여객처리용량인 5400만 명을 넘었다. 더불어 연구자료가 2001년부터 2016년으로 한정되어 있기 때문에 2018년 개장한 제2터미널 및 활주로가 자료로 포함되기 전이므로 이러한 결과가 나온 것으로 분석된다.

<표 5-10> 규모의 경제 분석(산출요소 : 항공 여객 수)

	아시아태평양 공항	인천공항
규모수익	1.075	0.775

## 제 6 장 기술적 효율성 분석

### 제 1 절 확률경계 추정모형

제3장의 방법론과 제4장을 종합하여 본 연구에서 효율성 분석을 위하여 추정하고자 하는 확률경계모형은 다음과 같다. 제5장의 생산함수 추정모형에 사용된 변수와 거의 동일한 변수가 사용되었으며, 오차항과 비효율성을 나타내는 확률 변수가 추가되었다는 점에서 차이가 있다.

#### 1. 1단계 확률경계 추정모형

$$\begin{aligned} \ln ATM = & \alpha_1 + \alpha_2 \ln runway + \alpha_3 \ln garage + \alpha_4 \ln gate + \\ & \alpha_5 0.5(\ln runway)^2 + \alpha_6 0.5(\ln garage)^2 + \alpha_7 0.5(\ln gate)^2 + \\ & \alpha_8 (\ln runway)(\ln garage) + \alpha_9 (\ln runway)(\ln gate) + \alpha_{10} (\ln garage)(\ln gate) + v - u \end{aligned}$$

#### 2. 2단계 확률경계 추정모형

$$\begin{aligned} \ln PAX = & \beta_1 + \beta_2 \ln \widehat{ATM} + \beta_3 \ln Employee + \beta_4 \ln Airlines + \\ & \beta_5 0.5(\ln \widehat{ATM})^2 + \beta_6 0.5(\ln Employee)^2 + \beta_7 0.5(\ln Airlines)^2 + \\ & \beta_8 (\ln \widehat{ATM})(\ln Employee) + \beta_9 (\ln \widehat{ATM})(\ln Airlines) + \beta_{10} (\ln Employee)(\ln Airlines) + \\ & \beta_{11} \ln \left( \frac{CGO}{WLU} \right) + v - u \end{aligned}$$

## 제 2 절 확률경계모형 추정 결과

생산함수는 초월대수 생산함수의 형태로 하였으며 오차항과 비효율성을 나타내는 확률변수는 정규-반 정규분포(half-normal distribution)를 따른다고 가정하였다. 기술적 비효율성을 포함한 확률경계모형 추정이 타당함을 증명하기 위해 오차항과 기술적 비효율성의 분산 비율( $\lambda$ )이 0보다 큰 값을 가져야 한다.  $\lambda$ 의 값이 0이라는 것은 모형에 기술적 비효율성이 존재하지 않으며, 생산경계로부터 모든 편차는 오차항에만 기인한다는 것을 의미한다.

### 1. 1단계 최소자승법 결과

<표 6-1>은 확률경계모형의 1단계 최소자승법 결과이다. 총 관측치는 144개이며,  $\alpha_{runway \times garage}$ 만 통계적으로 유의하지 않았다.  $\alpha_{constant}$ ,  $\alpha_{garage}$ 와  $\alpha_{gate}^2$ 는 유의수준 10%에서 유의했으며, 나머지는 1% 유의수준에서 유의함을 보였다.  $\lambda$ 값을 통해 비효율성의 영향이 존재함을 확인하였다.

<표 6-1> 확률경계모형 1단계 최소자승법 결과

Parameter	Estimate	(s.e)
$\alpha_{constant}$	0.122 <sup>*</sup>	0.064
$\alpha_{runway}$	0.424 <sup>***</sup>	0.110
$\alpha_{garage}$	0.105 <sup>*</sup>	0.619
$\alpha_{gate}$	0.607 <sup>***</sup>	0.550
$\alpha_{runway}^2$	-1.808 <sup>***</sup>	0.541
$\alpha_{garage}^2$	0.750 <sup>***</sup>	0.195
$\alpha_{gate}^2$	0.374 <sup>*</sup>	0.217
$\alpha_{runway \times garage}$	0.426	0.335
$\alpha_{runway \times gate}$	0.742 <sup>***</sup>	0.210
$\alpha_{garage \times gate}$	-0.663 <sup>***</sup>	0.163
$\lambda = \sigma_U^2 / (\sigma_U^2 + \sigma_V^2)$	0.745	
$Log - L$	18.665	
Observations	144	

## 2. 2단계 최소자승법 결과

〈표 6-2〉는 확률경계모형의 2단계 최소자승법 결과이다. 총 관측치는 113개였으며,  $\beta_{airlines}$ ,  $\beta_{Employee}^2$  와  $\theta_{cargo/WLU}$ 는 유의수준 10%에서 유의하였다. 나머지는 상수항을 제외하고 1% 유의수준에서 통계적으로 유의했다.  $\lambda$ 값은 0.916으로 오차항( $\sigma_V^2$ )보다 효율성 차이에 의한 변동( $\sigma_U^2$ )이 더 크므로 비효율성이 존재하여 본 연구에서 확률경계모형 추정이 적합함을 확인하였다.

〈표 6-2〉 확률경계모형 2단계 최소자승법 결과

Parameter	Estimate	(s.e)
$\beta_{constant}$	-0.264	0.280
$\beta_{airlines}$	0.907***	0.147
$\beta_{employee}$	0.181***	0.056
$\beta_{ATM}$	0.271**	0.136
$\beta_{airlines}^2$	1.355*	0.819
$\beta_{Employee}^2$	0.208*	0.125
$\beta_{ATM}^2$	2.010***	0.626
$\beta_{airlines \times employee}$	0.745***	0.173
$\beta_{airlines \times ATM}$	-1.900***	0.683
$\beta_{employee \times ATM}$	-0.805***	0.241
$\theta_{cargo/WLU}$	-0.158*	0.085
$\lambda = \sigma_U^2 / (\sigma_U^2 + \sigma_V^2)$	0.916	
Log-L	40.562	
Observations	113	

### 제 3 절 확률경계모형 분석 결과

#### 1. 기술적 효율성 분석(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수)

<표 6-3>은 확률경계모형의 1단계 최소자승법을 통해 연구대상 공항의 연도별 효율성을 정리한 표이다. 공항의 특성상 미래의 수요를 예측하여 자본을 투자하는 경향이 있으므로 터미널이나 활주로와 같은 자본이 건설된 해에는 효율성이 심하게 감소했다가 시간이 지날수록 효율성이 회복되는 추세를 보였다.

인천공항의 경우 2001년 개항된 해에 가장 낮은 효율성을 보였으며 점차 높아지다가 2008년 제3 활주로 완공, 탑승동 개장과 2008년 세계 금융위기가 겹치면서 효율성이 크게 하락하였다. 2010년부터 효율성이 상승하기 시작하였으며 2016년에는 9개 공항 중에서 5번째로 효율성이 높았다. 2010년부터 추세를 볼 때 9개 공항 중에서 효율성 상승률이 가장 높은 것으로 나타났다.

상하이 푸둥공항의 경우 인천공항과 비슷하게 2008년에 제2여객터미널 개장, 제3터미널 완공과 세계 금융위기가 겹치면서 효율성이 큰 폭으로 감소하였다. 2001년부터 2016년까지 평균 효율성은 0.748로 9개 공항 중에서 가장 낮은 수치를 보였다.

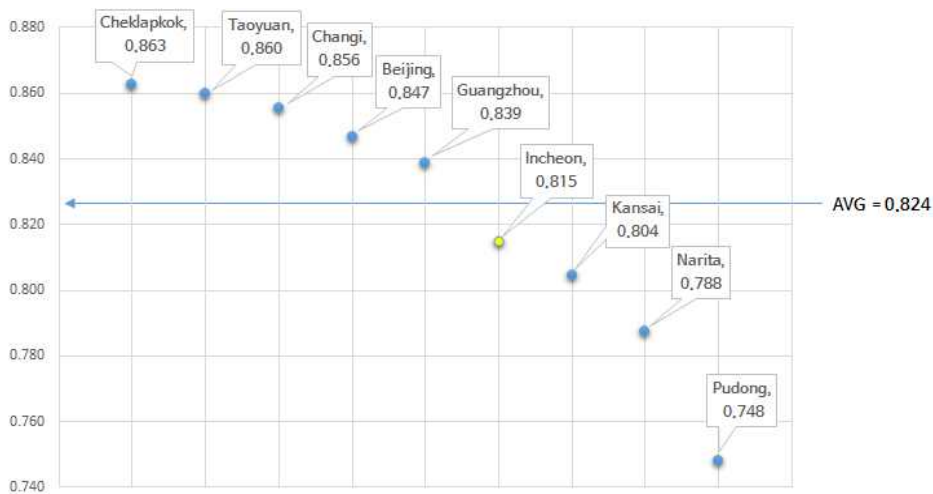
<표 6-3> 각 공항의 연도별 효율성(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수)

year	Incheon	Narita	Kansai	Beijing	Pudong	Guangzhou	Cheklapok	Taoyuan	Changi
2001	0.559	0.911	0.896	0.653	0.555	0.598	0.908	0.859	0.848
2002	0.733	0.693	0.861	0.697	0.713	0.631	0.918	0.882	0.841
2003	0.750	0.714	0.829	0.684	0.824	0.613	0.756	0.864	0.812
2004	0.819	0.758	0.842	0.812	0.912	0.737	0.805	0.912	0.837
2005	0.849	0.766	0.876	0.860	0.693	0.809	0.848	0.826	0.879
2006	0.890	0.765	0.886	0.891	0.816	0.836	0.906	0.853	0.800
2007	0.924	0.778	0.853	0.906	0.853	0.878	0.917	0.859	0.815
2008	0.775	0.779	0.851	0.901	0.593	0.899	0.920	0.821	0.749
2009	0.745	0.763	0.772	0.855	0.629	0.920	0.904	0.792	0.776
2010	0.789	0.771	0.764	0.875	0.699	0.931	0.796	0.780	0.823



2011	0.822	0.750	0.768	0.884	0.717	0.939	0.835	0.802	0.901
2012	0.861	0.809	0.663	0.897	0.743	0.946	0.855	0.847	0.913
2013	0.851	0.833	0.680	0.901	0.756	0.919	0.891	0.873	0.924
2014	0.872	0.847	0.723	0.907	0.796	0.927	0.896	0.912	0.921
2015	0.888	0.822	0.784	0.910	0.821	0.912	0.822	0.934	0.923
2016	0.914	0.841	0.822	0.916	0.848	0.924	0.828	0.946	0.930
평균	0.815	0.788	0.804	0.847	0.748	0.839	0.863	0.860	0.856

<그림 6-1>은 2001년부터 2016년까지 항공기 이착륙 횟수를 산출요소로 각 공항 효율성의 평균 순위를 그래프로 정리한 것이다. 홍콩 첵랍콕공항의 효율성이 0.863으로 16년 동안 가장 효율적으로 운영되었다. 대한민국 인천공항의 평균 효율성은 0.815로 나타났으며 상하이 푸둥공항의 평균 효율성은 0.748로 9개 공항 중에서 가장 비효율적으로 운영되었음을 보였다.



<그림 6-1> 각 공항의 평균 효율성

(산출요소 : 항공기 이착륙 횟수)

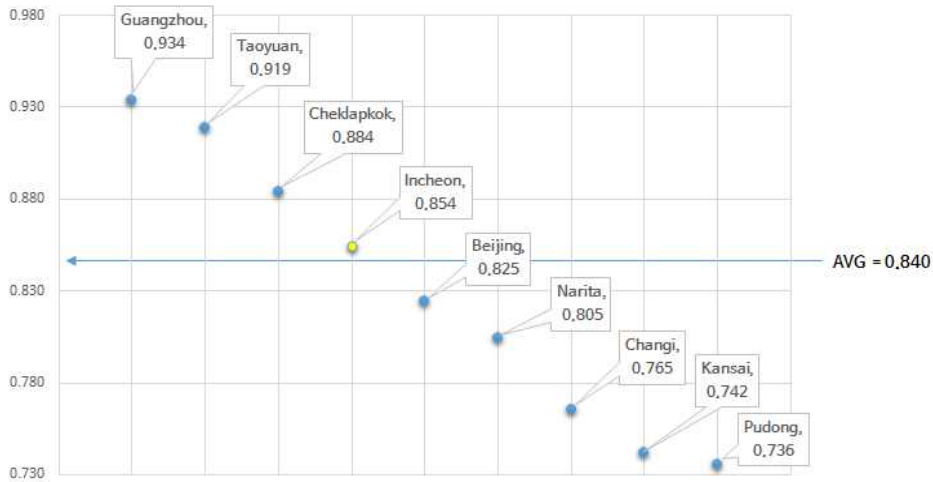
## 2. 기술적 효율성 분석(산출요소 : 항공 여객 수)

<표 6-4>는 확률경계모형의 2단계 최소자승법을 통해 연구대상 공항의 연도별 효율성을 정리한 표이다. 취항 항공사 수나 직원 수 자료를 구하지 못한 31개 관측치를 제외하고 총 113개의 효율성 결과를 구하였다.

<표 6-4> 각 공항의 연도별 효율성(산출요소 : 항공 여객 수)

year	Incheon	Narita	Kansai	Beijing	Pudong	Guangzhou	Cheklapok	Taoyuan	Changi
2001	0.677	0.627	0.936	0.536	0.523		0.896		0.729
2002	0.860	0.790	0.925		0.761		0.908		0.748
2003	0.836	0.741	0.763		0.920		0.703		0.653
2004	0.900	0.839	0.872	0.771	0.882		0.829		0.843
2005	0.905	0.865	0.900	0.851	0.566		0.858	0.887	0.734
2006	0.907	0.906	0.897	0.875	0.808		0.896	0.918	0.887
2007	0.913	0.917	0.802				0.906	0.908	
2008	0.779	0.884	0.747	0.892			0.943	0.892	
2009	0.749	0.875	0.711	0.763		0.908	0.898	0.902	0.768
2010	0.842	0.854	0.723	0.838		0.964	0.825	0.881	0.861
2011	0.832	0.730	0.693	0.882		0.955	0.850	0.881	0.818
2012	0.865	0.764	0.632	0.904			0.856	0.916	0.800
2013	0.854	0.821	0.660	0.911		0.945	0.894	0.936	0.765
2014	0.895	0.797		0.924			0.915	0.951	0.873
2015	0.919	0.804	0.710		0.673		0.871	0.958	0.885
2016	0.954	0.833	0.723	0.947	0.716		0.887	0.955	0.899
평균	0.855	0.816	0.780	0.841	0.731	0.943	0.871	0.915	0.805

<그림 6-2>는 2001년부터 2016년까지 항공 여객 수를 산출요소로 각 공항 효율성의 평균 순위를 그래프로 정리한 것이다. 광저우 바이윈공항의 효율성이 0.934로 가장 높았지만, 자료 부족으로 5개 연도로만 평균 효율성이 계산되었기 때문에 다른 공항들과 비교하기에는 한계가 있다. 따라서 연구기간동안 타오위안공항과 첵랍콕공항이 항공기 이착륙 횟수와 항공 여객 수 기준 가장 효율적으로 운영된 공항으로 분석되었으며 상하이 푸둥공항이 두 산출요소 기준 모두 가장 비효율적으로 운영된 공항으로 분석되었다.

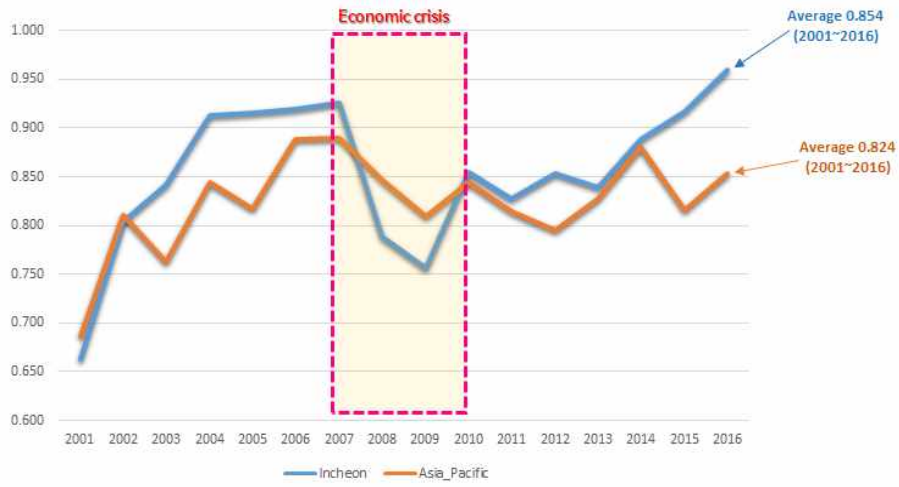


<그림 6-2> 각 공항의 평균 효율성

(산출요소 : 항공 여객 수)

<그림 6-2>는 2001년과 2016년까지 인천공항과 아시아태평양 공항의 연도별 효율성 추이를 그림으로 나타낸 것이다. 인천공항의 평균 효율성은 0.854로 아시아태평양 공항의 평균 효율성 0.824보다 높았다.

인천공항의 경우 2008년에 있었던 세계 금융위기와 2008년 탑승동 개장이 겹치면서 효율성이 다른 공항보다 크게 하락하였으며 그 영향이 2009년까지 이어진 것으로 보인다. 하지만 2010년 이후 인천공항의 효율성이 크게 상승하였고 2016년에 효율성은 0.954로 아시아태평양 공항의 2016년 평균 효율성인 0.852보다 0.100이상 높아 가장 효율적으로 운영되었다.



<그림 6-3> 인천공항과 아시아태평양 공항의 연도별 효율성 비교  
 (산출요소 : 항공 여객 수)

## 제 7 장 결 론

### 제 1 절 연구결과 요약 및 시사점

아시아태평양 항공 여객 수요는 높은 성장률을 보이며 앞으로의 성장 가능성 또한, 높을 것이다. 2000년대 초부터 아시아태평양 공항들은 경쟁 우위를 확보하여 허브공항으로 발전하기 위해 공항 시설에 적극적인 투자를 하고 있다. 하지만 투자에 앞서, 공항 경쟁력의 지속적인 향상을 위해서는 현 상황에서 공항이 무분별한 투자를 하고 있지는 않은지, 비효율적으로 공항을 운영하고 있지 않은지에 대한 전반적인 이해가 필요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 아시아태평양 공항의 생산구조를 파악하여 운영적 인 흐름의 근거를 찾고, 효율성을 측정하여 공항을 평가하고자 한다.

따라서 본 연구는 2단계 최소자승법으로 생산함수모형과 확률경계모형을 추정하여 2001년부터 2016년까지 생산구조와 기술적 효율성을 분석하였다. 생산함수모형 추정을 통하여 요소 탄력성, 요소 간 관계, 규모의 경제 여부와 같은 생산구조를 분석하였으며, 확률경계모형 추정을 통해 각 공항의 연도별 효율성 추이를 비교분석하여 공항을 평가하였다.

<표 7-1>은 규모의 경제 분석 결과를 정리한 표이다. 인천공항의 경우 항공기 이착륙 횟수는 규모의 경제가 존재하였으며, 항공 여객 수는 규모의 경제가 존재하지 않았다. 이는 인천공항에 밀도의 경제가 존재한다는 것을 의미하며, 항공기 이착륙 횟수 당 항공 여객 수가 높아 밀도가 높다는 것을 나타낸다. 아시아태평양 공항의 경우 항공기 이착륙 횟수와 항공 여객 수 모두 불변에 가까운 상태로 나타났다. 이는 평균비용이 최소화되는 최적의 밀도를 유지함으로써 공항의 경쟁력을 높이고 있는 것으로 판단된다.

<표 7-1> 규모의 경제 분석 결과 정리

	항공기 이착륙 횟수	항공 여객 수
인천공항	1.092	0.775
아시아태평양 공항	0.993	1.075

<표 7-2> 기술적 효율성과 공항별 산출량 비교

	항공기 이착륙 횟수		항공 여객 수	
	효율성	산출량(회)	효율성	산출량(천 명)
인천공항	0.815(6)	339,673(6)	0.855(4)	57,850(6)
나리타공항	0.788(8)	242,474(8)	0.816(6)	36,640(8)
간사이공항	0.804(7)	177,109(9)	0.780(8)	25,237(9)
베이징공항	0.847(4)	606,086(1)	0.841(5)	94,393(1)
푸둥공항	0.748(9)	479,902(2)	0.731(9)	66,002(3)
바이윈공항	0.839(5)	435,231(3)	0.943(1)	59,732(4)
첵랴콕공항	0.863(1)	411,530(4)	0.871(3)	70,513(2)
타오위안공항	0.860(2)	244,464(7)	0.915(2)	42,296(7)
창이공항	0.856(3)	360,490(5)	0.805(7)	58,698(5)

<표 7-2>는 기술적 효율성 분석 결과와 공항별 산출량을 정리한 표이다. 괄호 안의 수치는 9개 공항 중 순위를 나타낸다. 기술적 효율성 분석 결과, 가장 많은 연간 항공 여객 수와 항공기 이착륙 횟수를 기록했던 베이징 수도공항이 효율성 측면에서는 항공 여객 수는 5위, 항공기 이착륙 횟수는 4위로 나타났다. 이러한 결과는 약 5년 간격으로 대규모 공항 시설을 개장한 베이징 수도공항의 과한 투자의 결과로 보인다. 반면 항공 여객 수와 항공기 이착륙 횟수에서 모두 7위였던 타오위안공항의 경우 효율성 측면에서 항공 여객 수는 1위, 항공기 이착륙 횟수는 2위를 기록하여 가장 효율적으로 운영된 공항으로 나타났다. 따라서 무분별한 투자는 공항의 비효율적 운영을 야기하기 때문에, 항공 여객 수요의 적절한 예측을 기반으로 공항 운영 및 확장하여야 한다.

일본 나리타공항과 간사이공항의 경우 연구대상 공항 중에서 항공 여객 수와 항공기 이착륙 횟수가 가장 낮았고, 효율성 또한, 하위권으로 나타났다. 따라서 나리타공항과 간사이공항의 경우 새로운 자본 투자로 공항 시설을 확대하기보다는 기존 자본요소의 재배치를 통해 더 공항을 효율적으로 운영해야 한다.

또한, 인천공항을 포함한 아시아태평양 공항의 효율성은 세계 경제위기와 같은 사건에 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 공항의 지속적인 경쟁력 향상을 위하여, 아시아태평양 공항은 앞으로 발생할지 모르는 세계적인 사건에 대비하기 위한 체계화된 방안이 필요하다.

## 제 2 절 연구의 한계점 및 향후 연구방향

본 연구는 다음과 같은 한계를 가지고 있다. 본 연구에서는 아웃소싱의 비중이 높아, 산출 대비 투입비용이 낮게 나오는 경우가 있다는 공항의 특성을 고려하여 생산함수를 추정하였다. 그러나 투입요소의 가격을 고려한 비용함수 추정이 더 타당한 결과를 낼지도 모르며, 공항의 경우 다종산출물의 특성을 가지기 때문에 비용함수 추정이 공항 산업을 분석하는데 더 적절할지도 모른다.

또한, 본 연구에서 고려한 공항의 산출물은 항공기 이착륙 횟수와 항공 여객수, 화물 톤수라는 점에서 한계가 있다. 공항의 경우 활동별로 규제와 관리가 다르므로 더 다양한 산출물을 고려하여야 한다. 특히, 공항 내에 비 항공 수익과 관련된 시설이 늘어남에 따라서 비 항공 수익을 산출물로 고려한 연구가 진행되어야 한다.

마지막으로 본 연구에 포함된 공항은 총 9개 공항으로 아시아태평양 전체를 대변하기에는 한계가 있다. 따라서 최근 높은 성장률을 기록하고 있는 베트남, 인도네시아 등과 같은 동남아시아 공항을 포함한 연구가 진행되어야 한다. 더 나아가 유럽이나 북미지역 공항과 비교분석을 통하여 세계 공항 산업의 경쟁력 향상을 위해 노력해야 한다.

## 참 고 문 헌

### <통계자료>

각 공항의 연차보고서 및 재무요약자료, 2001 ~ 2017.

각 공항의 지속가능보고서 및 CSR보고서, 2001 ~ 2017.

ACI, 연차보고서, 2008 ~ 2014, 2016

ACI; ATRS, 사이트 통계자료

ATRS, Airport Benchmarking Report, 2013 ~ 2016

각 공항공사 및 공항사이트 통계자료

대한민국 인천공항 → <https://www.airport.kr/co/ko/index.do>

대만 타오위안공항 → [http://www.taoyuanairport.com.tw/company\\_en/](http://www.taoyuanairport.com.tw/company_en/)

홍콩 첵랍콕공항 → <http://www.hongkongairport.com/sitesearch/eng/search.jsp>

싱가포르 창이공항 → <http://www.changiairport.com/content/cacorp/en.html/>

일본 나리타공항 → <https://www.naa.jp/en/airport/traffic.html>

일본 간사이공항 → <http://www.nkiac.co.jp/en/news/2015/index.html>

중국 광저우 바이윈공항 → <http://quicktake.morningstar.com>

중국 공항 통계사이트

<http://www.caac.gov.cn>

<http://www.stats.gov.cn>

<http://m.chyxx.com/>

<http://www.stats.gov.cn>

<http://data.stats.gov.cn/>



## <국내문헌>

고길근, 효율성 분석 이론 : 자료포락분석과 확률변경분석, 문우사, 2017.

김영수; 변창욱; 이상호, 지역산업의 생산성과 정책효과 분석 방법 연구, 산업연구원 연구보고서 제 558호, 2009.

김윤희. DEA-Malmquist 생산성 지수를 이용한 국내 공항의 효율성 분석. 인하대학교 석사학위논문, 2010.

김태승, 육상화물운송업 비용특성과 탈규제의 경제적효과, 서울대학교 박사학위논문, 1999.

양동현; 장영재; 노재확. 확률변경모형 (Stochastic Frontier Model) 을 이용한 공공병원의 기술적 비효율성 (Technical Inefficiency) 분석. 보건경제와 정책연구 (구 보건경제연구), 2012, 18.4: 41-64.

이준구, 미시경제학 6<sup>th</sup> edition, 문우사, 2013.

최태성; 김성호. 몬테카를로 분석에 의한 효율성 추정방법의 비교. 경영과학, 2002, 19.1: 117-128.

## <국외문헌>

AIGNER, Dennis; LOVELL, CA Knox; SCHMIDT, Peter. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, 1977, 6.1: 21-37.

BATTESE, George E.; COELLI, Tim J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. *Journal of productivity analysis*, 1992, 3.1-2: 153-169.

COELLI, Timothy J., et al. An introduction to efficiency and productivity analysis. Springer Science & Business Media, 2005.

FUSS, Melvyn, et al. A survey of functional forms in the economic analysis of production. *History of Economic Thought Chapters*, 1978, 1.

KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, CA Knox. Stochastic production frontier. Cambridge University Press. Kumbhakar, SC, & Sarkar, S.(2003). Deregulation, ownership and productivity growth in the banking industry: Evidence from India. *Journal of Money Credit and Banking*, 2000, 35.3: 403-424.

LOW, Joyce MW; TANG, Loon Ching. Factor substitution and complementarity in the Asia airport industry. *Journal of Air Transport Management*, 2006, 12.5: 261-266.

MARTÍN, Juan Carlos; VOLTES-DORTA, Augusto. The econometric estimation of airports' cost function. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2011, 45.1: 112-127.

MEEUSEN, Wim; VAN DEN BROECK, Julien. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International economic*

review, 1977, 435-444

PELS, Eric; NIJKAMP, Peter; RIETVELD, Piet. Inefficiencies and scale economies of European airport operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2003, 39.5: 341-361.

WINSTON, Clifford. Conceptual developments in the economics of transportation: an interpretive survey. *Journal of Economic Literature*, 1985, 23.1: 57-94.

YANG, Hsu-Hao. Measuring the efficiencies of Asia-Pacific international airports-Parametric and non-parametric evidence. *Computers & Industrial Engineering*, 2010, 59.4: 697-702.