

한·중·일·대만 주요 항만의 동태적 효율성과 포지셔닝 분석

이문봉*, 김삼문*, 홍한국*

요약

최근 한국·중국·일본·대만 등을 중심으로 한 아시아 지역권은 미주 지역권 및 유럽 지역권에 이어 세계 경제의 중요한 축으로 등장하고 있다. 아시아 지역권의 주요국들은 늘어나는 교역물동량을 처리하고 허브 항으로서의 기능을 수행하기 위해 경쟁적으로 대형 항만을 증축하고 있으며, 특히, 홍콩, 상하이, 선전, 부산 등 세계 주요 항만들은 항만 효율성을 제고하기 위한 여러 가지 전략을 수립·실시하고 있는 실정이다. 기존 DEA를 적용한 항만의 효율성 평가에 관한 연구는 특정 시점의 항만 효율성을 측정하는데 중점을 두었다. 하지만 시간의 흐름을 고려한 동적 자료를 가지고 효율성 변동에 관한 연구는 찾아보기가 어렵다. 또한 포지셔닝 분석을 통한 생산구조의 경쟁력에 대한 비교연구도 미미한 상태이다. 따라서 본 연구는 한국·중국·일본·대만 등 각 나라의 3대 항만을 대상으로 12개 주요 항만의 동적인 맥락의 자료(2006~2010년)를 가지고 DEA/Window 분석을 활용하여 항만효율성의 추세(trend)를 파악하고, 또한 투입-산출변수의 성장률에 대한 포지셔닝 분석을 통해 생산구조의 경쟁력을 분석하고자 한다.

Study on Analysis of the Dynamic Efficiency and Positioning in the Major Port of Korea·China·Japan·Taiwan

Moon Bong Lee*, Sam Moon Kim*, Han Kuk Hong*

ABSTRACT

The increase of cargo volumes and vessel demand has led port authorities to improve infrastructure, enlarge area, and construct a hub port in Asia. This study applies the Data Envelopment Analysis(DEA) model to 12 Asia major ports. This study tries to apply the Data Envelopment Analysis(DEA) model to 12 Asia major ports. DEA is a methodology that compares the relative efficiency of each decision making unit(DMU) with similar input and output structure, and is specially very useful when a form of production function of each DMU such as a port is not known. DEA provides the extent of inefficiency of DMUs, which is practically useful information (like the efficiency score and reference sets) required to improve efficiency. This paper aims to analyze and compare the competitiveness of 3 major Korean ports, 3 major Chinese ports, 3 major Japanese ports, and 3 major Taipei using Data Envelopment Analysis(DEA) windows analysis based on 2006-2010 data from Containerization International Yearbooks. Through this study, we will investigate the efficiency of these major East Asian ports and demonstrate the trend of the efficiency.

Key Words : DEA, DEA/Window, Cross-sectional Data Analysis, Efficiency, Positioning

* 동의대학교 경영정보학과(✉mblee@deu.ac.kr)

· 제1저자(First Author) : 이문봉 · 교신저자(Correspondent Author) : 홍한국

· 접수일(2012년 5월 28일), 수정일(1차 : 2012년 8월 19일), 게재확정일(2012년 8월 22일)

1. 서론

최근 중국·일본·대만·한국 등을 중심으로 한 아시아 지역권은 미주 지역권 및 유럽 지역권에 이어 세계 경제의 중요한 축으로 등장하고 있다. 아시아 지역권의 주요국들은 늘어나는 교역물동량을 처리하고 허브 항으로서의 기능을 수행하기 위해 경쟁적으로 대형 항만을 증축하고 있으며, 특히, 홍콩, 상하이, 선전, 부산 등 세계 주요 항만들은 항만 효율성을 제고하기 위한 여러 가지 전략을 수립·실시하고 있는 실정이다.[8]

따라서 과거 대규모 시설투자를 통한 항만 간 경쟁 중심에서 항만 간 협력과 항만운영의 효율성이 중시되고 있다. 이에 따라 각국 항만들은 대대적인 항만시설투자를 통한 중심항 개발전략을 추구하는 동시에 항만운영의 효율성 증대를 통한 경쟁력 강화에 노력하고 있다. 이러한 항만의 경쟁우위를 좌우하는 가장 중요한 결정요인 중 하나가 바로 항만의 효율성이다. 항만 효율성은 비단 개별항만의 경쟁력에만 국한되는 문제가 아니며, 해상운송비용 절감을 통해 한 나라의 수출경쟁력을 제고하는데 중요한 역할을 한다.[9]

따라서 우리나라와 주요 경쟁항만들 간의 상대적 효율성을 분석함으로써, 항만의 현재 효율성 수준을 정확히 파악하여 이를 개선시킬 수 있는 방안을 제시하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 한국·중국·일본·대만 등 4국의 3대 항만을 대상으로 12개 주요 항만의 동적인 맥락의 자료(2006~2010년)를 가지고 DEA/Window 분석을 활용하여 항만의 효율성의 추세(trend)와 투입-산출변수의 성장률에 대한 포지셔닝 분석을 통해 생산구조의 경쟁력을 분석하고자 한다.

이러한 측면에서 본 논문은 동북아시아 한·중·일·대만 4국의 주요 항만간의 효율성 비교 연구를 통해 동아시아 물류시장의 무게중심이 중국을 중심으로 급속하게 이동되고 있는 상황에서 그동안 우리나라가 지향해 온 동북아 물류중심국가 발전전략을 되살펴보

는 한편 역내 국가들 간의 협력적 경쟁을 위한 대안제시를 위해서 중요한 기초가 될 수 있을 것이다.

본 연구의 구성은 II 장에서 DEA 모형의 고찰과 본 연구를 위해서 사용한 방법론인 DEA/Window 분석 방법론을 소개하고, III 장에서는 항만의 효율성 평가를 위해 정태적·동태적 방법의 적용과 포지셔닝 분석을 통한 생산구조의 경쟁력에 대한 시사점을 제시한다. 마지막으로 IV 장에서 결론과 한계점 및 향후 연구 방향에 대해서 서술한다.

II. 문헌연구

항만의 효율성을 측정하기 위해서 그동안 많이 이용된 비모수적인 방법에는 DEA(Data Envelopment Analysis: 자료포괄분석)측정방법이 있다. DEA측정 방법은 1978년에 처음으로 Charnes, Cooper, and Rhodes (1978, CCR모형이라 칭함)에 소개되었으며, 그 후에 Banker, Charnes, and Cooper(1984, BCC모형이라 칭함)에 의해서 가변규모수확(variable returns to scale, VRS라 칭함)하의 효율성 측정모형으로 발전되었으며, 그 이후로 위의 두 가지 모형을 기본으로 하여 제약조건식 등을 변형시킨 모형들이 항만효율성 측정에 많이 사용되어 오고 있다. 즉, 위와 같은 정상적인 DEA모형은 효율성을 측정함에 있어서 일반적으로 용인되는 투입요소와 산출요소들을 이용하였으며, 효율성 측정결과 나타난 비효율적인 항만들에 대해서는 투입요소 측면의 과다와 산출요소측면의 과소를 벤치마킹항만(준거집단)들과 비교하여 제시함으로써 해당 항만들이 효율성을 개선시킬 수 있는 방법을 보여주었다.[4]

DEA를 이용한 항만의 효율성 평가에 대한 국내에서의 기존연구는 대표적으로 전일수·김학소·김범중(1993), 하명신(2009), 나주몽·경성림(2010), 박노경(2008, 2010)의 연구가 있다. 외국에서의 연구는 K.

Cullinane, D. W. Song, and R. Gray(2002) 등이 있다.

박노경(2008)은 국내 20개 항만의 효율성을 측정하고, 2년간 모두 효율적인 항만을 제외한 16개 항만들의 효율성 순위를 이용하여 월콕슨의 부호순위점정을 통해 슬랙변수모형이 갖고 있는 항만효율성 측면의 예측력을 측정하는 방법을 보여주고 있다. 하명신(2009)은 2005~2007년 자료를 이용하여 동북아시아 23개, 미국의 12개 컨테이너항만에 대해 DEA를 이용한 효율성을 분석하였다. 나주몽·경성립(2010)은 DEA기법을 이용하여 한국의 3대항만과 중국의 4대항만을 대상으로 2002~2008년 간 각 항만별 기술효율성을 측정하고, 또한 투입-산출변수의 성장률에 대한 포지셔닝 분석을 통해 생산구조의 경쟁력을 분석하고 있다. 박노경(2010)은 항만의 정책당국이나 항만의 경영관리자들이 항만의 효율성을 측정하기 위한 정책입안 시 참고가 될 수 있도록 퍼지DEA 평균지수접근모형의 이론적, 실증적 근거를 제시하였다.

그러나 이들의 연구는 특정 시점의 항만 효율성을 측정하는데 중점을 두었다. 하지만 시간의 흐름을 고려한 동적 자료를 가지고 효율성 변동에 관한 연구는 찾아보기가 어렵다. 또한 포지셔닝 분석을 통한 생산구조의 경쟁력에 대한 비교분석은 나주몽·경성립(2010)의 연구를 제외하고는 미미한 상태이다.

2.1 DEA 모형

DEA는 다수의 투입 산출 변수를 가지고 의사결정 단위 (DMU)의 효율성을 측정하는 비모수 방법이다. 이 효율성은 생산함수를 사전에 정의하지 않고 가상의 단일 투입물 대비 가상의 단일 산출물에 의해 계산된다. DEA 와 CCR 모형은 1978년에 처음으로 Charnes, Cooper 와 Rhodes 에 의해 소개된 이후 수 년 동안 이론, 방법론 및 응용 부분에 확장되어 이용되어 왔다.[11] CCR 모형의 영향력은 1999년까지 700번 이상 인용되어온 사실에 의해 입증된다[14].

DEA 분야에서 여러 모형들 중 가장 널리 사용되고

있는 두 모형은 DEA CCR 모형과 BCC 모형이다. DEA-CCR 모형은 불변 규모 수익(constant return to scale)을 가정하고 있어 모든 관측 생산 결합은 규모를 비율적으로 올리거나 내릴 수 있다. 그러나 DEA-BCC 모형은 가변규모수익(variable return to scale)를 허용하고 있어 구간 선형 볼록 함수로 표현된다.

일반적으로 산출물, $y_k=(y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{Nk}) \in R^N$ 을 생산하는 투입물을 $x_k=(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{Mk}) \in R^M$ 라고 하자. 열 벡터 x_k 와 y_k 는 각각 행렬 X 와 Y 의 k 번째 열을 형성한다. K 기업들의 선형결합을 형성하는 비음 벡터를 $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k) \in R^k$ 라고 하고 $e=(1, 1, \dots, 1)$ 를 단위값을 갖는 차원 벡터라고 하자.

산출 지향 DEA 모형은 생산가능집합을 유지하면서 산출에 비례적인 증가를 극대화를 추구한다. 산출 지향 효율성 측정의 문제는 식 (1)에서 (5)까지 보는바와 같이 DEA-CCR 과 DEA-BCC의 각각 다른 제약식을 K 개의 선형계획문제로 표현된다.

$$\text{Maximize } \theta \tag{1}$$

Subject to

$$\theta x_o - X\lambda \leq 0 \tag{2}$$

$$Y\lambda - y_o \leq 0 \tag{3}$$

$$\lambda \geq 0 \quad (\text{CCR Model}) \tag{4}$$

$$\sum_i \lambda_i = 1 \quad (\text{BCC Model}). \tag{5}$$

식 (1)에서 (4)까지의 조합과 식 (1)에서 (5)까지의 조합은 각각 DEA-CCR과 DEA-BCC 모형을 형성한다. k 번째 DMU의 기술적 효율성의 산출지향적 측정 은 식 (6)과 같이 계산되고 TE_k 로 나타낸다.

$$TE_k = 1 / \theta_k \quad (6)$$

투입지향모형도 유사한 방법에 의해 만들어 질 수 있다.[9-10] DEA-CCR과 DEA-BCC 모형들로부터 산출된 기술 효율성은 식 (7)에서 보는바와 같이 규모 효율성을 얻기 위해서 자주 사용된다.[16]

$$SE_k = \theta_{CCR,k} / \theta_{BCC,k} \quad (7)$$

여기서 SE_k 는 규모 효율성을 가리키며, $\theta_{CCR,k}$ 와 $\theta_{BCC,k}$ 는 각각 DEA-CCR과 DEA-BCC 모형에서 얻어진 DMU_k 의 기술효율성이다. $SE_k=1$ 는 규모 효율성을 의미하고, $SE_k < 1$ 는 규모 비효율성을 의미한다. 규모 비효율성은 규모 수익율의 감소 혹은 증가에 기인하며, 이는 CCR 모형의 결과 하에서 가중치 λ 의 합을 검토하여 결정할 수 있다. 합이 1이면 불변 규모 수익을 의미하며, 합이 1보다 작거나 클 때 각각 규모수익의 증가와 규모수익의 감소를 의미한다. CCR 효율성은 기술 효율성이라 하는 반면에 BCC 효율성은 규모 수익의 가변을 가정하기 때문에 순수 기술 효율성이라 한다. 이러한 개념을 이용하여 효율성을 다음 식 (8)과 같이 분해하면, 비효율성의 원인이 비효율적인 운영에 의한 것인지, 규모에 의한 불리한 상황에 의한 것인지, 혹은 둘 다에 의한 것인지 분석할 수 있다.

$$\text{기술효율성} = \text{순수기술효율성} \times \text{규모효율성} \quad (8)$$

규모수익은 수익의 증가 또는 감소에 따라 규모수익 증가(Increasing Return-to-Scale, IRS)와 감소(Decreasing Return-to-Scale, DRS)로 나뉜다. CCR은 규모에 대해 수익불변(Constant Return-to-Scale, CRS)을 가정한다. 규모수익은 모든 투입요소를 똑같은 비율로 변동시킬 때, 산출량이 어떤 비율로 변하는가를 나타내고, 규모에 대해 수익증가(IRS) 일 경우, 특

정 항만은 규모의 경제를 이룬다고 할 수 있다.

2.2 DEA/Window 모형

DEA는 처음에 주어진 DMU를 동일기간동안 생산하는 다른 모든 DMU들과 비교하는 횡단면 자료(cross-sectional data)를 분석하기 위해서 사용되었다. 그러나 이는 동적 맥락에서 미래에 유용한 결과를 낳기 위해 과도한 자원을 사용할 수 있는 오류를 가져올 수 있다. 다차원 자료(panel data)는 특정 DMU를 다른 DMU들과 비교 가능 할 뿐만 아니라 특정 DMU의 효율성 동향을 일정 시기동안 추적할 수 있다는 점에서 횡단면 자료와는 차별화 된다. 이런 측면에서 다차원 자료가 DMU의 실제 효율성을 반영하기에 적당할 수 있다.

Charnes, Clark, Cooper 와 Golany (1985)에 의해 제안된 윈도우 분석은 DEA의 시간 종속이다. 기본적인 개념은 각각의 DMU를 고려하는 시간의 각각에 대해 서로 다른 DMU처럼 고려하는 것이다.[12] 각 DMU를 전체 자료와 비교하지는 않지만 대신에 다차원 자료의 선택적인 부분집합들과 비교한다. 윈도우 분석은 과거에 가능한 것이 계속적으로 가능한 것으로 유지하는 가정 그리고 시간에 대한 구성은 윈도우에 포함하고 있는 시간대의 평균에 두고 있는 가정에 기반을 두고 있다. 윈도우의 크기 뿐 만 아니라 과거의 한 부분을 포함하지 않는 사실에 대한 임시방편적 판단이상을 찾는다는 것은 어렵다.

시대별 효율성 변동을 포착하는 윈도우 분석은 DMU를 각 시대에 있는 서로 다른 DMU로 간주하여 성과를 평가한다. 이 방법은 단위나 프로세스의 성과에 대한 추적도 가능하다. 예를들어 k 시기에 투입과 산출 측정에 대한 자료를 가진 n 단위가 있다면, 총 nk 단위들은 동시에 시대별 효율성 변동을 포착하기 위해 측정할 필요가 있다. 위에서 언급한 정통적인 윈도우 분석에서 새로운 시기가 윈도우에 들어올 때 초기의 시기는 빠진다. 이러한 방법은 시대별 단위의 성과

를 효과적으로 평가하고 프로세스 개선 및 벤치마킹을 돕기 위해서 Talluri et al. (1997)에 의해 제안되었다.

2.3 투입변수와 산출변수의 선정

DEA를 적용하는데 있어서 중요한 문제는 투입변수와 산출변수의 선정이다. 투입변수와 산출변수를 어떻게 선정하느냐에 따라 전체적인 효율성 측정 결과가 다를 수 있기 때문이다. 그러나 DEA 모형의 경우, 변수의 선정이 타당한 지의 여부는 사전적으로나 사후적으로 검증될 수 없기 때문에 결국 연구자의 자의적 판단에 맡길 수밖에 없는 실정이다.

본 연구에서는 항만의 효율성에 영향을 미칠 수 있는 변수를 국내의 기존 연구<표 1>를 참고하여 측정변수를 선정하였는데 선석수, 수심, C/C수, 부두면적을 투입변수로 화물처리량(TEU)을 산출변수로 선정하였다. 이러한 변수들은 항만의 선택기준과 효율성을 측정하는 대표적인 변수들로 기존의 연구에서도 많이 이용된 변수이다.

표 1. 항만의 투입 및 산출 변수

Table 1. The variables of Input and Output

연구자	투입요소	산출요소
Nottoboom(2000)	안벽길이, 부두면적, 크레인수	TEU
Cullinane(2002)	안벽길이, 부두면적, 크레인수	TEU
Valentine(2002)	컨테이너수, 선석길이, 부두면적	TEU
강상곤(2001)	선석총길이, 터미널총면적, 각종하역장비	TEU
권신혜(2007)	선석수, C/C수, 수심, 부두면적, 선석길이	TEU
이장원 외(2008)	선석수, C/C수, 수심, 부두면적, 선석길이	TEU
하명신(2009)	선석수, C/C수, 수심, 부두면적	TEU

III. 효율성 평가 및 분석

본 연구에서 우리는 항만의 평가 모델을 <표 2>에서와 같이 4개의 투입 요소와 1개의 산출 요소로 제한한다. 기존연구에서 산출요소로 처리물동량(TEU)을 거의 모든 연구에서 선정하였으나, 투입요소에 대해서는 상당히 다양하게 사용되고 있다. 투입요소를 정할 때 다수의 항만을 대상으로 공통적으로 자료를 수집할 수 있는 변수들이어야 한다는 제약이 있다. 그래서 본 연구에서는 기존연구에서 많이 사용되고 있고 항만에서 가장 중요한 선석수, 수심, 부두면적, C/C수를 투입요소로 정하고, 처리물동량을 산출요소로 하였다.

평가대상 선정에 있어 처리물동량을 기준으로 세계 100위(2010년 기준)안에 포함된 한·중·일·대만 등 네 나라의 3대 항만을 대상으로 하였다. 분석에 사용된 자료는 Containerization International Yearbook (2011)을 이용하여 수집하였다.

표 2. 변수 설명

Table 2. Variable Descriptions

변수		변수 설명
투입 요소	선석수	터미널 내의 선석수
	수심	터미널 내의 선석길이
	부두면적	CT의 총 면적
	C/C수	Container Crane의 총 수량
산출 요소	TEU	연간 처리하는 총 컨테이너 처리물동량

3.1 정태적 효율성 분석

2010년 기준으로 12개 항만의 효율성을 파악하기 위해 DEA-SOLVER를 이용하여 상대적 효율성을 계산하였다. 이 효율성 값을 <표 3>에 재구성하여 나타내었다.

표 3. DEA모형을 이용한 항만의 효율성 분석 결과

Table 3. Efficiency Ratings

항만(DMU)	CCR	BCC	규모 효율성	준거 집단	규모 수익	
중국	상하이	1.00	1.00	1.00		CRS
	홍콩	1.00	1.00	1.00		CRS
	선전	1.00	1.00	1.00		CRS
대만	까오슝	0.56	1.00	0.56	상하이, 선전	DRS
	기룽	0.19	1.00	0.19	선전	DRS
	타이츄	0.15	0.96	0.16	선전	DRS
일본	토쿄	0.23	0.34	0.68	상하이, 홍콩, 선전	DRS
	요코	0.16	0.24	0.67	상하이, 홍콩, 선전	DRS
	고베	0.14	0.30	0.47	상하이, 홍콩, 선전	DRS
한국	부산	0.56	0.56	1.00	상하이, 홍콩, 선전	CRS
	인천	0.21	1.00	0.21	선전	DRS
	광양	0.15	1.00	0.15	선전	DRS

12개 항만 중 CCR과 BCC모형의 효율성 모두 100%로 나타난 가장 효율적인 항만은 상하이, 홍콩, 선전 등이며 모두 중국항만들이다. 국내항만들을 살펴보면, 규모에 대한 수익 불변을 가정한 CCR모형의 경우 부산(0.56), 인천(0.21), 광양(0.15) 모두 비효율적이며, 광양은 고베(0.14) 다음으로 비효율적인 것으로 나타났다. 규모에 대한 수익 가변을 가정한 BCC모형의 경우 부산(0.56)을 제외하고 인천(1.0)과 광양(1.0) 모두 효율적인 것으로 나타났다. 준거집단을 보면, 대부분 중국 선전항만이 국내 항만의 준거집단으로 나타났다.

대만의 경우, BCC모형의 까오슝을 비롯한 대부분의 항만이 효율적인 반면, CCR모형의 경우는 0.56 미만의 매우 비효율적인 것으로 나타났다. 일본은 두 모형 모두에서 매우 비효율적인 것으로 나타났다.

규모효율성은 CCR모형으로 평가된 효율성을 BCC모형으로 평가된 효율성으로 나눈 비율로 측정되었다. 이 값이 1에 근접할수록 최적 규모에 가까운 것으로 해석할 수 있다. 규모수익불변(CRS)인 항만은 상하이, 홍콩, 선전 등 중국항만들과 부산항만이다. 나머지 8

개 항만들의 경우, 한 항만시설 요소의 투입량을 고정시키고 다른 항만시설 요소의 투입을 늘렸을 때 처리물동량이 체감하는 규모수익체감(DRS)인 항만이다. 따라서 인천과 광양 항만은 운영상의 효율성 향상방안 수립을 통한 효율성 제고가 필요하다.

3.2 동태적 효율성 분석

본 절에서는 연도간의 자료비교를 어느 정도 한정하여 년도별 1개 항만의 효율성을 분석하고자 한다. 이는 제 2장에서 소개된 DEA/Window 분석 기법을 이용하여 분석하였다. 전체기간은 2006년에서 2010년까지이며, 윈도우의 폭은 3년이고 윈도우의 수는 3개로 구성하였으며 각 윈도우의 의사결정단위의 수는 12개로 하여 분석하였다. DEA-CCR 기반 DEA/Window 분석 결과를 <표 4>에 정리하였다.

이러한 윈도우 분석은 유사시대 또는 유사환경 내에서 발생한 12개 항만들의 운영 자료들을 비교함으로써 효율성 값을 얻고자 하는 것이다. <표 4>에서 평균은 각 항만들의 윈도우 별 3년간 효율성 값을 평균한 것이며, 전체 평균과 표준편차는 3개 윈도우 평균의 평균값과 표준편차이다. DEA-CCR 기반 DEA/Window 분석에 의한 효율성 표로부터 최근 5년간 12개 항만 전체에 대한 효율성 변화 추이를 파악하기 위해서 이다. 먼저 효율성의 전체 평균을 살펴보면, 중국의 3개 항 모두 0.9 이상으로 가장 높은 것으로 나타났으며, 한국을 포함한 세 나라는 비슷한 수준으로 나타났다. 역시 동태적 분석에서도 중국 항만들이 경쟁력이 있는 것으로 나타났다.

표준편차를 살펴보면, 표준편차의 값이 작을수록 각 윈도우의 효율성이 안정적임을 알 수 있다. 분석결과 표준편차가 0.004로 가장 작은 값을 나타낸 일본 고베항만이 가장 안정적이며, 반면에 0.155로 가장 큰 값을 나타낸 대만 기룽항만이 각 윈도우의 효율성이 가장 불안정적인 것으로 나타났다. 국내 항만은 대부분 0.05미만이어서 안정적으로 볼 수 있다.

를 효과적으로 평가하고 프로세스 개선 및 벤치마킹을 돕기 위해서 Talluri et al. (1997)에 의해 제안되었다.

2.3 투입변수와 산출변수의 선정

DEA를 적용하는데 있어서 중요한 문제는 투입변수와 산출변수의 선정이다. 투입변수와 산출변수를 어떻게 선정하느냐에 따라 전체적인 효율성 측정 결과가 다를 수 있기 때문이다. 그러나 DEA 모형의 경우, 변수의 선정이 타당한 지의 여부는 사전적으로나 사후적으로 검증될 수 없기 때문에 결국 연구자의 자의적 판단에 맡길 수밖에 없는 실정이다.

본 연구에서는 항만의 효율성에 영향을 미칠 수 있는 변수를 국내의 기존 연구<표 1>를 참고하여 측정변수를 선정하였는데 선석수, 수심, C/C수, 부두면적을 투입변수로 화물처리량(TEU)을 산출변수로 선정하였다. 이러한 변수들은 항만의 선택기준과 효율성을 측정하는 대표적인 변수들로 기존의 연구에서도 많이 이용된 변수이다.

표 1. 항만의 투입 및 산출 변수

Table 1. The variables of Input and Output

연구자	투입요소	산출요소
Nottoboom(2000)	안벽길이, 부두면적, 크레인수	TEU
Cullinane(2002)	안벽길이, 부두면적, 크레인수	TEU
Valentine(2002)	컨테이너수, 선석길이, 부두면적	TEU
강상곤(2001)	선석총길이, 터미널총면적, 각종하역장비	TEU
권신혜(2007)	선석수, C/C수, 수심, 부두면적, 선석길이	TEU
이장원 외(2008)	선석수, C/C수, 수심, 부두면적, 선석길이	TEU
하명신(2009)	선석수, C/C수, 수심, 부두면적	TEU

III. 효율성 평가 및 분석

본 연구에서 우리는 항만의 평가 모델을 <표 2>에서와 같이 4개의 투입 요소와 1개의 산출 요소로 제한한다. 기존연구에서 산출요소로 처리물동량(TEU)을 거의 모든 연구에서 선정하였으나, 투입요소에 대해서는 상당히 다양하게 사용되고 있다. 투입요소를 정할 때 다수의 항만을 대상으로 공통적으로 자료를 수집할 수 있는 변수들이어야 한다는 제약이 있다. 그래서 본 연구에서는 기존연구에서 많이 사용되고 있고 항만에서 가장 중요한 선석수, 수심, 부두면적, C/C수를 투입요소로 정하고, 처리물동량을 산출요소로 하였다.

평가대상 선정에 있어 처리물동량을 기준으로 세계 100위(2010년 기준)안에 포함된 한·중·일·대만 등 네 나라의 3대 항만을 대상으로 하였다. 분석에 사용된 자료는 Containerization International Yearbook (2011)을 이용하여 수집하였다.

표 2. 변수 설명

Table 2. Variable Descriptions

변수		변수 설명
투입 요소	선석수	터미널 내의 선석수
	수심	터미널 내의 선석길이
	부두면적	CT의 총 면적
	C/C수	Container Crane의 총 수량
산출 요소	TEU	연간 처리하는 총 컨테이너 처리물동량

3.1 정태적 효율성 분석

2010년 기준으로 12개 항만의 효율성을 파악하기 위해 DEA-SOLVER를 이용하여 상대적 효율성을 계산하였다. 이 효율성 값을 <표 3>에 재구성하여 나타내었다.

표 3. DEA모형을 이용한 항만의 효율성 분석 결과

Table 3. Efficiency Ratings

항만(DMU)	CCR	BCC	규모 효율성	준거 집단	규모 수익	
중국	상하이	1.00	1.00	1.00		CRS
	홍콩	1.00	1.00	1.00		CRS
	선전	1.00	1.00	1.00		CRS
대만	까오슝	0.56	1.00	0.56	상하이, 선전	DRS
	기룽	0.19	1.00	0.19	선전	DRS
	타이쑹	0.15	0.96	0.16	선전	DRS
일본	토쿄	0.23	0.34	0.68	상하이, 홍콩, 선전	DRS
	요코	0.16	0.24	0.67	상하이, 홍콩, 선전	DRS
	고베	0.14	0.30	0.47	상하이, 홍콩, 선전	DRS
한국	부산	0.56	0.56	1.00	상하이, 홍콩, 선전	CRS
	인천	0.21	1.00	0.21	선전	DRS
	광양	0.15	1.00	0.15	선전	DRS

12개 항만 중 CCR과 BCC모형의 효율성 모두 100%로 나타난 가장 효율적인 항만은 상하이, 홍콩, 선전 등이며 모두 중국항만들이다. 국내항만들을 살펴보면, 규모에 대한 수익 불변을 가정한 CCR모형의 경우 부산(0.56), 인천(0.21), 광양(0.15) 모두 비효율적이며, 광양은 고베(0.14) 다음으로 비효율적인 것으로 나타났다. 규모에 대한 수익 가변을 가정한 BCC모형의 경우 부산(0.56)을 제외하고 인천(1.0)과 광양(1.0) 모두 효율적인 것으로 나타났다. 준거집단을 보면, 대부분 중국 선전항만이 국내 항만의 준거집단으로 나타났다.

대만의 경우, BCC모형의 까오슝을 비롯한 대부분의 항만이 효율적인 반면, CCR모형의 경우는 0.56 미만의 매우 비효율적인 것으로 나타났다. 일본은 두 모형 모두에서 매우 비효율적인 것으로 나타났다.

규모효율성은 CCR모형으로 평가된 효율성을 BCC모형으로 평가된 효율성으로 나눈 비율로 측정되었다. 이 값이 1에 근접할수록 최적 규모에 가까운 것으로 해석할 수 있다. 규모수익불변(CRS)인 항만은 상하이, 홍콩, 선전 등 중국항만들과 부산항만이다. 나머지 8

개 항만들의 경우, 한 항만시설 요소의 투입량을 고정시키고 다른 항만시설 요소의 투입을 늘렸을 때 처리물동량이 체감하는 규모수익체감(DRS)인 항만이다. 따라서 인천과 광양 항만은 운영상의 효율성 향상방안 수립을 통한 효율성 제고가 필요하다.

3.2 동태적 효율성 분석

본 절에서는 연도간의 자료비교를 어느 정도 한정하여 년도별 1개 항만의 효율성을 분석하고자 한다. 이는 제 2장에서 소개된 DEA/Window 분석 기법을 이용하여 분석하였다. 전체기간은 2006년에서 2010년까지이며, 윈도우의 폭은 3년이고 윈도우의 수는 3개로 구성하였으며 각 윈도우의 의사결정단위의 수는 12개로 하여 분석하였다. DEA-CCR 기반 DEA/Window 분석 결과를 <표 4>에 정리하였다.

이러한 윈도우 분석은 유사시대 또는 유사환경 내에서 발생한 12개 항만들의 운영 자료들을 비교함으로써 효율성 값을 얻고자 하는 것이다. <표 4>에서 평균은 각 항만들의 윈도우 별 3년간 효율성 값을 평균한 것이며, 전체 평균과 표준편차는 3개 윈도우 평균의 평균값과 표준편차이다. DEA-CCR 기반 DEA/Window 분석에 의한 효율성 표로부터 최근 5년간 12개 항만 전체에 대한 효율성 변화 추이를 파악하기 위해서 이다. 먼저 효율성의 전체 평균을 살펴보면, 중국의 3개 항 모두 0.9 이상으로 가장 높은 것으로 나타났으며, 한국을 포함한 세 나라는 비슷한 수준으로 나타났다. 역시 동태적 분석에서도 중국 항만들이 경쟁력이 있는 것으로 나타났다.

표준편차를 살펴보면, 표준편차의 값이 작을수록 각 윈도우의 효율성이 안정적임을 알 수 있다. 분석결과 표준편차가 0.004로 가장 작은 값을 나타낸 일본 고베항만이 가장 안정적이며, 반면에 0.155로 가장 큰 값을 나타낸 대만 기룽항만이 각 윈도우의 효율성이 가장 불안정적인 것으로 나타났다. 국내 항만은 대부분 0.05미만이어서 안정적으로 볼 수 있다.

표 4. DEA/Window 분석에 의한 효율성 변화추이
Table 4. The Changing Trend of Efficiency by D/W

항만	'06	'07	'08	'09	'10	평균	전체 평균	표준 편차
상하이	0.85	0.95	1.00			0.93	0.94	0.053
		0.91	0.93	1.00		0.95		
			0.93	1.00	0.89	0.94		
홍콩	1.00	0.99	1.00			1.00	0.96	0.048
		0.93	0.94	1.00		0.96		
			0.94	1.00	0.86	0.93		
선전	0.77	0.88	1.00			0.88	0.93	0.088
		0.88	1.00	1.00		0.96		
			1.00	1.00	0.85	0.95		
카오슝	0.66	0.68	0.72			0.69	0.58	0.086
		0.53	0.55	0.53		0.54		
			0.55	0.53	0.46	0.51		
기룽	0.53	0.54	0.56			0.54	0.35	0.155
		0.31	0.32	0.21		0.28		
			0.32	0.21	0.16	0.23		
타이쑹	0.15	0.14	0.15			0.15	0.13	0.019
		0.10	0.11	0.13		0.11		
			0.11	0.13	0.13	0.12		
부산	0.51	0.51	0.54			0.52	0.52	0.019
		0.50	0.53	0.53		0.52		
			0.53	0.53	0.48	0.51		
인천	0.20	0.24	0.29			0.24	0.19	0.048
		0.12	0.19	0.17		0.16		
			0.19	0.17	0.18	0.18		
광양	0.14	0.16	0.16			0.15	0.14	0.016
		0.15	0.12	0.13		0.13		
			0.12	0.13	0.13	0.13		
토쿄	0.32	0.34	0.20			0.29	0.23	0.059
		0.22	0.19	0.20		0.20		
			0.19	0.20	0.19	0.19		
요코하마	0.14	0.16	0.17			0.16	0.16	0.013
		0.16	0.17	0.17		0.17		
			0.17	0.17	0.14	0.16		
고베	0.12	0.13	0.13			0.13	0.13	0.004
		0.13	0.13	0.13		0.13		
			0.13	0.13	0.12	0.13		

윈도우(시대) 별 동태적 효율성 변화추이를 그래프로 표현한 것이 <그림 1> 이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 윈도우 1 (2006-2008)에서 윈도우 3 (2008-2010)에 이르기까지 항만들의 전체 평균 효율성이 몇 개 항만들을 제외하고 지속적으로 하락 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, 대만의 카오슝과 기룽, 그리고 국내의 인천항만은 급격하게 하락 양상을 보이고 있다. 국내 3개 항만 모두 효율성이 상대적으로 상당히 낮은

수준에서 머무르고 있다. 이러한 이유는 항만 책임자의 리더십, 정치적 환경, 국내의 경제적 상황 등의 외적 환경과 내부 직원의 역량과 전략적 정보 기술의 활용 등의 내부 환경에 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 하락하고 있는 항만들은 효율성이 뛰어난 항만들을 벤치마킹하여 효율성을 향상시키는 전략이 필요하다.

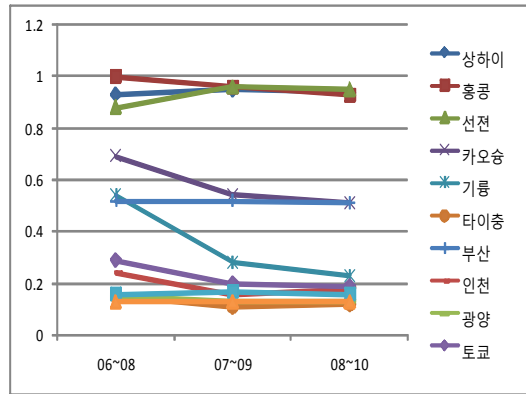


그림 1. 윈도우 분석을 통한 시대별 효율성 빈도
Fig. 1. The Efficiency Frequency by 3 years

3.3 생산구조의 포지셔닝 분석

항만의 2006~2010년 사이에 투입변수인 선석수와 성장, 선석길이와 성장, 크레인수와 성장, 부두총면적 성장에 대해 처리물동량 성장간의 포지셔닝 분석을 통해 각 항만의 생산구조의 경쟁력을 비교분석해 보면 다음과 같이 나타난다. 여기에서 제1사분면에서는 투입변수와 처리물동량이 항만의 평균성장률 보다 높은 성장률을 보이고, 3사분면에서는 항만의 평균성장률보다 모두 낮은 성장률을 보이는 영역이다. 2사분면에서는 투입변수가 항만의 평균성장률보다 높지만 처리물동량은 낮은 경우이며, 4사분면은 투입변수가 항만의 평균성장률보다 낮지만 처리물동량은 높은 경우를 나타낸다.

<표 5>의 항목별 평균성장률은 연도별 12개 항만의 항목별 성장률을 계산한 후 5년간(2006~2010) 평균해서 구한 값이다. 각 항만의 항목별 평균성장률도 동일

한 방법으로 계산하였다.

표 5. 항목별 평균성장률
Table 5. Average growth rate by Items
(단위 %)

	선석수	수심	크레인수	면적	TEU
평균성장률	0.1	0.7	1.5	1.4	1.1

1) 선석수와 처리물동량의 성장 비교

선석수와 처리물동량의 성장 간에 포지셔닝 분석을 통해 12개 항만의 생산구조의 경쟁력을 살펴보았다. 처리물동량 평균 성장률은 1.1 %이며, 선석수의 평균 성장률은 0.1 %이다. 여기에서 1사분면에 속한 항만은 상하이, 인천이 해당되며, 3사분면에는 고베가 해당되는 것으로 나타났다. 한편 부산, 홍콩 등은 2사분면에 속하고 선전 등은 4사분면에 속하는 것으로 나타났다.

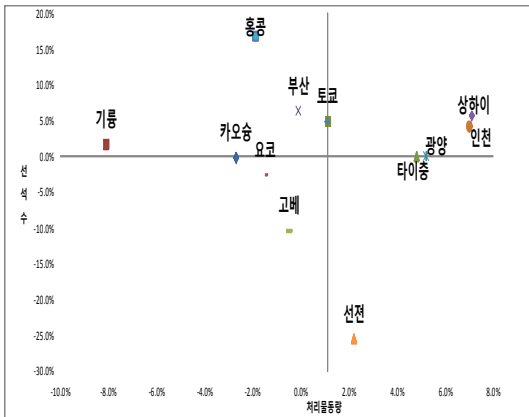


그림 2. 각 항만의 선석수와 처리물동량의 성장비교
Fig. 2. The Growth comparisons of Berth and TEU

2) 수심과 처리물동량의 성장 비교

수심과 처리물동량의 성장 간에 포지셔닝 분석에서는 처리물동량 평균성장률은 1.1 %이며, 수심의 평균성장률은 0.7 %이다. 여기에서 1사분면에 속한 항만은 선전, 광양, 인천이 해당되며, 3사분면에는 카오슝

과 홍콩이 해당되는 것으로 나타났다.

3) 크레인수와 처리물동량의 성장 비교

크레인수와 처리물동량의 성장 간에 포지셔닝 분석에서는 처리물동량 평균성장률은 1.1 %이며, 크레인수와 평균성장률은 1.5 %이다. 여기에서 1사분면에 속한 항만은 상하이 해당되며, 3사분면에는 카오슝, 요코하마, 고베 등이 해당되는 것으로 나타났다.

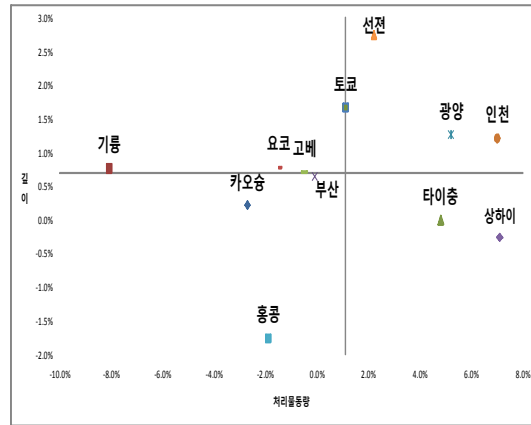


그림 3. 각 항만의 수심과 처리물동량의 성장비교
Fig. 3. The Growth comparisons of Water depth and TEU

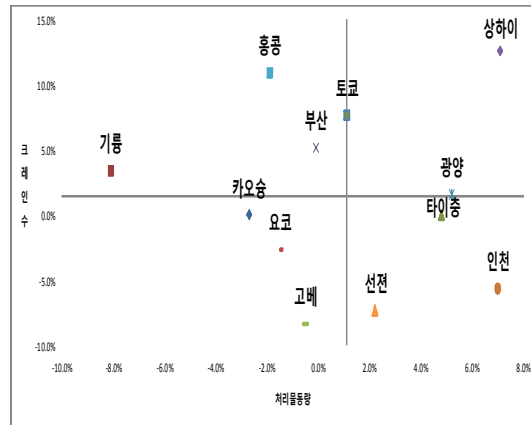


그림 4. 각 항만의 크레인수와 처리물동량의 성장비교
Fig. 4. The Growth comparisons of CC and TEU

4) 부두면적과 처리물동량의 성장 비교

부두면적과 처리물동량의 성장 간에 포지셔닝 분석에서는 처리물동량 평균성장률은 1.1 %이며, 부두면적 평균성장률은 1.4 %이다. 여기에서 1사분면에 속한 항만은 상하이, 3사분면에는 카오슝, 요코하마, 고베 등이 해당되는 것으로 나타났다

12개 항만의 성장측면의 포지셔닝을 통해 생산구조 경쟁력을 살펴보면 <표 6>과 같다. 성장측면의 생산구조에서 상대적 우위를 갖고 있는 항만은 상하이로 나타났다. 반면, 상대적인 열위에 위치하고 있는 항만은 고베로 나타났다. 국내 항만을 보면, 인천항만이 선석수와 선석길이 측면에서 우위에 있는 것으로 나타났다.

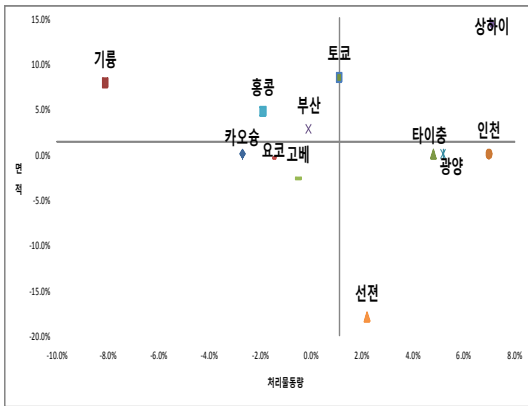


그림 5. 각 항만의 부두면적과 처리물동량의 성장비교
Fig. 5. The Growth comparisons of Pier area and TEU

표 6. 성장측면의 생산구조 경쟁력

Table 6. The Competitiveness of Production Structure at Growth aspects

	상대적 우위	상대적 열위
선 석 수 - 처리량	상하이, 인천	고베
선 석 길 이 - 처리량	광양, 인천 선전	카오슝, 홍콩
크 레 인 수 - 처리량	상하이	고베, 요코하마 카오슝
부 두 면 적 - 처리량	상하이	고베, 요코하마 카오슝

VI. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 중국·일본·대만·한국 등 각 나라의 3대 항만을 대상으로 12개 주요 항만의 동적인 맥락의 자료(2006~2010년)를 가지고 DEA/Window 분석을 활용하여 항만의 효율성의 추세(trend)와 투입-산출변수의 성장률에 대한 포지셔닝 분석을 통해 생산구조의 경쟁력을 분석하였다.

정태적 분석결과, 12개 항만 중 상하이, 홍콩, 선전 등 중국항만 모두가 효율적인 것으로 나타났으며, 반면, 국내항만은 부산(0.56), 인천(0.21), 광양(0.15) 모두 비효율적인 것으로 나타났다. 그리고 대부분 중국 선항만이 국내항만의 준거집단으로 나타났다.

규모효율성의 경우, 인천과 광양 항만은 한 항만시설 요소의 투입량을 고정시키고 다른 항만시설 요소의 투입을 늘렸을 때 처리물동량이 체감하는 규모수익체감(DRS)인 항만이어서 운영상의 효율성 향상방안 수립을 통한 효율성 제고가 필요하다.

최근 5년간 12개 항만 전체에 대한 동태적 효율성 변화 추이를 파악하기 위해서 DEA-CCR 기반 DEA/Window 분석결과를 살펴 보면, 중국의 3개 항 모두 0.9 이상으로 가장 높은 것으로 나타나 동태적 분석에서도 중국항만들이 한국·중국·일본·대만 항만들 보다 가장 경쟁력이 있는 것으로 나타났다.

12개 항만의 성장측면의 포지셔닝을 통해 생산구조 경쟁력을 살펴보면, 성장측면의 생산구조에서 상대적 우위를 갖고 있는 항만은 상하이로 나타났다. 반면, 상대적인 열위에 위치하고 있는 항만은 고베로 나타났다.

본 연구에서 최근의 중국 항만이 동북아 지역에서 효율적으로 나타난 이유로는 일본이 1980년대, 한국이 1990년대, 중국이 2000년대와 같이 3국이 시기를 달리하여 고도 경제성장 과정을 거치면서 산업구조의 고도화 및 수송수요의 증가에 따른 컨테이너화 진전 시기의 차이를 보이고 있는 점, 1980년대 중반 이후 대

형화, 통합화와 같은 정기선 시장의 재편에 따른 정기선사의 기항지 선택의 중요도 차이에 따른 거점항만의 변화, 그리고 최근의 글로벌 기업들의 현지화 전략의 강화에 동반한 물류거점체제정비의 확대 등의 이유로 각국별로 효율성을 바탕으로 한 항만의 경쟁력이 높은 시기가 다른 것으로 나타났으며, 최근에는 세계규모의 생산거점, 거대한 구매력을 가진 소비시장, 글로벌 기업들의 물류거점으로서의 역할증대에 따른 컨테이너 화물수송 수요의 증가, 물류중심화를 국가경제발전의 주요 전략으로 채택하여 항만정비에 집중한 중국의 항만이 경쟁력을 가질 수밖에 없는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 항만의 효율성을 결정하는 투입·산출요소를 선정하는데 있어, 유일한 자료집인 Containerization International Yearbook만을 전적으로 의지함으로써 인해 정량적인 변수만을 선정하였다. 향후 설문조사를 통해 얻을 수 있는 항만의 서비스 만족도와 같은 다양한 정성적인 변수도 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 특정연도의 투입요소와 산출요소를 가지고 상대적 효율성을 비교하고, 효율성에 영향을 미치는 요소를 분석하였다. 상대적 효율성 비교이기 때문에 효율적이라고 측정된 항만도 실제로는 비효율적일 가능성도 있고 개선의 여지도 있을 수 있다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구의 분석이 국내항만의 특징과 효율성을 이해하고 각 지역의 항만을 이용하고 또한 우리나라 항만의 발전방향을 설정할 때 참조가 되기를 기대한다.

참고문헌

[1] 강상곤, "DEA모형을 이용한 컨테이너항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구", 해양대 대학원 석사학위논문, 2001.
 [2] 권신혜, "동북아시아 항만의 효율성 분석에 관한 연구", 부경대 석사학위논문, 2007.

[3] 나주몽·경성림, "한 중 주요항만의 상대적 효율성과 생산구조의 경쟁력 분석: DEA를 중심으로", 한국동북아논총, 제55집, pp.47-70, 2010.
 [4] 박노경, "국내항만투자의 유효성 검증을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구", 한국항만경제학회지, 제24집 제2호, pp. 209-239, 2008.
 [5] 박노경, "컨테이너 터미널의 방사 비방사적 효율성 측정 방법 비교 모형개발 및 실증 적 적용에 관한 연구", 제24집 제2호, 한국항만경제학회, pp.17-41, 2010.
 [6] 이장원·김형기·김성호, "한 중 일 3국의 항만 경쟁력 비교 연구", 국제지역연구, 제11권, 제4호, pp.333-360, 2008.
 [7] 전일수, 김학소, 김범중, "우리나라 컨테이너 항만의 국제 경쟁력 제고방안에 관한 연구", 해운산업연구원, 정책자료090, 1993.
 [8] 여정희, 구종순, 동무성, "아시아 항만의 효율성 분석에 관한 연구: DEA 방법을 중심으로", 무역학회지, 제34권 제5호, pp. 75-91, 2009.
 [9] 하명신, "동북아 지역과 미국 주요 컨테이너항만간의 효율성 비교 - DEA 기법을 중심으로 -", 한국항만경제학회지, 제25집, 제3호, pp.229-250, 2009.
 [10] Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," Management Science, 30, pp.1078-1092, 1984.
 [11] Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E., "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," European Journal of Operational Research, Vol.2, pp.429-444, 1978.
 [12] Charnes, A. Clark, C. T. Cooper, W. W. and Golany, B., "A Developmental Study of DEA in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the U.S. Air Forces," Annals of Operation Research, Vol.2, pp.95-112, 1985.
 [13] Cullinane, K., "The Productivity and Efficiency of Ports and Terminals: Methods and Applications", The Handbook of Maritime Economics and Business, London, 2002.
 [14] Forsund, F. R. and Sarafoglou, N., "On the Origins of Data Envelopment Analysis," Journal of Productivity Analysis, Vol.17, pp.23-40, 2002.

[15] Notteboom T., Cook C. and Van den Brook J., "Measuring and Explaining the Relative Efficiency of Container Terminals by means of Bayesian Stochastic Frontier Models", Journal of Maritime Economics & Logistics, Vol.2, pp.83-106, 2000.

[16] Talluri, S., Huq, F., & Pinney, W. E., "Application of data envelopment analysis for cell performance evaluation and process improvement in cellular manufacturing", International Journal of Production Research, Vol.35, No.8, pp.2157-2170, 1997.

[17] Valentine, V. C. and R. Gray, "Competition of Hub Ports: A Comparison between Europe and the Far East", Korean Association of shipping Studies, April, pp.161-176, 2002.



김삼문 (Sam-Moon Kim)
 1990년 동명대 경영정보 (학사)
 2011년 동의대 경영정보 (석사)

1996년~현재 : (주) SK 브로드밴드
 2011년~현재 : 동의대학교 경영정보학과 박사과정
 ※ 관심분야: DEA, 데이터마이닝, CRM, SCM



홍한국 (Han-Kuk Hong)
 1988년 고려대학교 졸업(경제학사)
 1990년 KAIST 산업공학과 (석사)
 2000년 KAIST 경영공학과 (박사)

1990년~1996년 : 삼성경제연구소 선임연구원
 1997년~1998년 : 삼성화재 과장
 2000년~현재 : 동의대학교 경영정보학과 교수
 ※ 관심분야: 경영정보시스템, 데이터마이닝, 고객관계관리, 공급사슬관리, 기업위기관리대응

감사의 글

본 논문은 동의대학교 교내연구비(2012AA073) 를 지원받은 논문임.

저자소개



이문봉(Moon-Bong Lee)
 1989년 연세대학교 졸업(경영학사)
 1991년 연세대학교 대학원 졸업
 (경영학석사, MIS 전공)
 2002년 연세대학교 대학원 졸업
 (경영학박사, MIS 전공)

1991년~1998년 : 대외경제정책연구원 전문연구원
 2002년~현재 : 동의대학교 경영정보학과 교수
 ※ 관심분야: 정보시스템 성과 분석, 정보기술의 수용과 사용, ERP, 온라인 커뮤니티, 인터넷 마케팅