



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경영학석사 학위논문

동북아시아 항만의 효율성 분석에 관한 연구
: *DEA*모형을 중심으로



2007년 2월

부경대학교 대학원

국제통상물류학과

권 신 혜

경영학석사 학위논문

동북아시아 항만의 효율성 분석에 관한 연구
: DEA모형을 중심으로

지도교수 하 명 신

이 논문을 경영학석사 학위논문으로 제출함.

2007년 2월

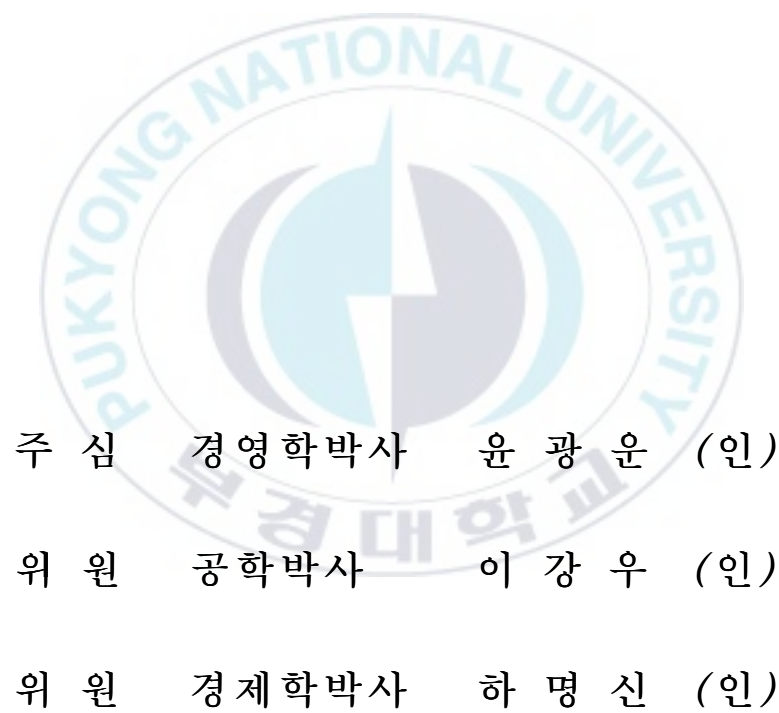
부경대학교 대학원

국제통상물류학과

권 신 혜

권신혜의 경영학석사 학위논문을 인준함.

2007년 2월



< 목 차 >

표목차	iii
그림목차	iv
ABSTRACT	v

제1장 서론

1.1. 연구배경	1
1.2. 연구목적 및 구성	3

제2장 동북아시아 항만의 현황 및 특징

2.1. 중국의 주요 항만의 현황 및 특징	4
2.2. 일본의 주요 항만의 현황 및 특징	10
2.3. 대만의 주요 항만의 현황 및 특징	10
2.4. 한국의 주요 항만의 현황 및 특징	11

제 3장 효율성의 개념

3.1. 효율성의 개념	13
3.1.1. 효율성의 정의	13
3.1.2. 효율성과 유사한 용어에 대한 정의	13
3.2. 효율성의 측정방법	15
3.3. 항만효율성	18
3.3.1. 항만 효율성의 정의	18
3.3.2. 항만 효율성의 종류	19

제 4장 DEA모형

4.1. DEA모형의 개념	20
4.2. DEA모형을 이용한 효율성 측정	22
4.2.1. DEA모형의 기존연구	22
4.2.2. DEA모형의 전개	27

제5장 DEA모형의 적용결과

5.1. DEA분석을 위한 동북아시아 항만의 기초자료	31
5.1.1. 투입변수와 산출변수의 선정	31
5.1.2. 평가대상의 선정	33
5.2. DEA분석결과	38
5.2.1. DEA-CCR모형에 의한 분석결과	38
5.2.2. DEA-BCC모형에 의한 분석결과	50
5.2.3. 규모의 효율성 분석결과	62
제6장 결론	66
참고문헌	68

< 표 목 차 >

<표 1-1> 세계 주요 항만별 물동량 현황	2
<표 2-1> 중국의 7개 항만	4
<표 2-2> 홍콩항 시설현황	5
<표 2-3> 홍콩항 개발계획	5
<표 2-4> 상하이항의 시설현황	6
<표 2-5> 상하이항의 개발계획	6
<표 2-6> 선전항의 시설현황	7
<표 2-7> 선전항의 개발계획	7
<표 2-8> 칭다오항의 시설현황	8
<표 2-9> 칭다오항의 개발계획	8
<표 2-10> Ningbo항의 시설현황	9
<표 2-11> Ningbo항의 개발계획	9
<표 2-12> Tientsin항의 시설현황	9
<표 2-13> Tientsin항의 개발계획	9
<표 2-14> 도쿄항의 시설현황	10
<표 2-15> 카오슝항의 시설현황	11
<표 2-16> 카오슝항의 개발계획	11
<표 2-17> 부산항의 시설현황	12
<표 2-18> 부산항의 개발계획	12
<표 4-1> 항만 및 컨테이너항만의 효율성에 관한 국내외 기존연구	23
<표 5-1> 항만효율성 분석의 투입·산출변수에 대한 기존연구	32
<표 5-2> 분석에 사용된 동북아시아 항만	34
<표 5-3> 2003년도 투입·산출 자료	35
<표 5-4> 2004년도 투입·산출 자료	36

<표 5-5> 2005년도 투입·산출 자료	37
<표 5-6> CCR모형에 의한 동북아시아 항만들의 효율성 측정결과	40
<표 5-7> 2003년 CCR(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투사	41
<표 5-8> 2004년 CCR(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투사	44
<표 5-9> 2005년 CCR(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투사	47
<표 5-10> BCC모형에 의한 동북아시아 항만들의 효율성 측정결과	51
<표 5-11> 2003년 BCC(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투사	53
<표 5-12> 2004년 BCC(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투사	56
<표 5-13> 2005년 BCC(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투사	59
<표 5-14> 2003년도 규모의 효율성	63
<표 5-15> 2004년도 규모의 효율성	64
<표 5-16> 2005년도 규모의 효율성	65

< 그림 목 차 >

<그림 2-1> 투입물 1개, 산출물 2개의 DEA모형	29
--------------------------------	----

A Comparative Study on the Efficiency Analysis of Northeast Asia Ports
: focused on DEA model

Kwon, Sin-Hye

Department of International Commerce and Logistics,
Graduate School, Pukyong National University

ABSTRACT

This paper aims to implement an empirical research about the efficiency of Northeast Asia ports, and to suggest an effective strategy which can operate these ports more well.

This study tries to apply the Data Envelopment Analysis(DEA) model to Northeast Asia ports. DEA is an efficiency evaluation model based on mathematical programming theory. DEA offers an alternative to classical in extracting information from sample observation. DEA optimizes each individual observation with the objective of calculating a discrete piece-wise frontier determined by the set of Pareto efficient decision making units(DMUs). DEA analysis can involve multiple inputs as well as multiple outputs in its efficiency valuation. This makes DEA analysis more suitable for port efficiency measurement because ports produce a number of different outputs. Furthermore,

DEA provides the user with information about the efficient and inefficient units, as well as the efficiency scores and reference sets for inefficient units.

This paper analyzed the relative efficiency of 22 ports in Northeast Asia for 3 years from 2003 to 2005 through DEA-CCR, DEA-BCC model and scale efficiency.



제 1 장 서론

1.1. 연구배경

2004년 세계컨테이너 항만은 중국특수로 인한 유례없는 해운호황에 힘입어 성장에 성장을 거듭하였고, 2005년에도 세계주요항만의 컨테이너 처리량은 연속해서 전년의 처리량을 웃돌아 과거의 최고기록을 갱신한 항만들이 속출하고 있다.

이러한 가운데 주목해야 할 점은 세계 컨테이너 물동량의 동북아 중심화 현상이다. 동북아 항만들의 컨테이너물동량 처리량은 지난 20세기 이후 가장 역동적인 변화를 보이고 있다. 세계의 세계 5대항만 중 4개 항만이 동북아시아의 항만들이며, 20대 컨테이너 항만들 중 9개 항만들이 동북아시아 지역에 위치하고 있다(표 1-1). 이는 세계의 공장이자 거대한 소비시장으로 급부상한 중국으로 수출입 되는 물동량이 폭증하고 있기 때문이다. 따라서 주도권을 장악하고 실익을 챙기기 위한 동북아시아 항만의 경쟁이 갈수록 치열해져 왔고, 이러한 양상은 국가 간의 항만개발 경쟁에서도 두드러지게 나타나고 있다. 특히 중국항만들은 대대적인 투자에 힘입어 유례없는 급성장을 거듭하여, 세계2위 홍콩항(2,260만), 3위 상하이항(1,808만), 4위의 선전항(1,619만)을 비롯하여 13위의 칭다오항(631만), 15위 Ningbo항(521만), 16위 텐진항(480만), 18위 광저우항(468만) 등 7개 항만이 20위권에 속해있어 중국 항만들이 위협적인 경쟁 항만으로 떠오르고 있다. 이와 같은 중국 항만들의 급부상에 대하여 홍콩은 향후 15년간의 항만 개발 전략을 담은 “마스터플랜2020”을 발표했고, 대만도 “뉴대만 프로그램”을 수립하여 아시아의 물류·유통센터를 지향하고 있으며, 특정항만 육성을 지향해온 일본까지도 “슈퍼 중추항만육성계획”을 마련하여 허브항 경쟁에 뛰어 들었다. 부산항의 경우, 2005년 전년대비 3.4% 증가한 1,184만TEU의 컨테이너를 처리하여 최근 5년간 평균 11% 증가율과 비교하여 저조한 물동량 증가세를 기록했지만 컨테이너물동량 처리량 순위는 지난해와 같은 5위 자리를 유지하였다. 부산항의 항만개발계획은 부산신항을 2011년까지 30개 선석을 건설하여 800만TEU 이상의 시설을 확보할 계획이며, 1차로 2006년 1월 5만톤급 3선석(1-1단계 6선석 중 조기개장 분)을 개장하였다.

이처럼 동북아시아 항만들의 급성장으로 인해 동북아시아에 위치한 항만들은 경쟁항만들과 컨테이너 물동량을 유치하기 위한 치열한 경쟁 상황에 처해 있다. 이에 따라 각국 항만들은 대대적인 항만시설투자를 통한 중심항 개발전략을 추

구하는 동시에 항만운영의 효율성 증대를 통한 경쟁력 강화에 노력하고 있다. 이러한 항만의 경쟁우위를 좌우하는 가장 중요한 결정요인 중 하나가 바로 항만의 효율성이다. 항만효율성은 비단 개별항만의 경쟁력에만 국한되는 문제가 아니며, 해상운송비용 절감을 통해 한 나라의 수출경쟁력을 제고하는데 중요한 역할을 한다¹⁾. 따라서 자국의 항만에 대한 내부적인 효율성 평가 방법과 더불어 경쟁 항만들 간의 상대적 효율성을 분석함으로써, 항만의 현재 효율성 수준을 정확히 파악하여 이를 개선시킬 수 있는 방안을 제시하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

<표1-1> 세계 주요 항만별 물동량 현황

(단위: 천TEU, %)

순 위		항 만 명	2004년	2005년	증 감 율
'05	'04				
1	2	싱가포르	20,600	23,190	8.0
2	1	홍콩	21,984	22,602	2.7
3	-	상하이	14,557	18,084	19.5
4	-	선전	13,650	16,197	15.7
5	-	부산	11,442	11,840	3.4
6	-	카오슝	9,710	9,471	- 2.5
7	-	로테르담	8,281	9,287	10.8
8	9	함부르크	7,003	8,088	13.4
9	10	두바이	6,429	7,619	15.6
10	8	L A	7,321	7,484	2.2
11	12	L B	5,780	6,710	13.9
12	11	앤티워프	6,064	6,482	6.4
13	14	칭다오	5,140	6,307	18.5
14	13	포르투갈	5,244	5,544	5.4
15	17	닝보	4,006	5,208	23.1
16	15	톈진	4,479	4,785	6.4
17	18	뉴욕/뉴저지	3,814	4,801	20.6
18	22	광저우	3,313	4,683	29.3
19	16	탄중펠라파스	4,020	4,177	3.8
20	19	리암차방	3,529	3,794	7.0

자료출처: CI연감, 한국컨테이너부두공단

1) 한철환, “항만의 성과와 효율성 결정요인에 관한 실증연구”, 『월간 해양수산』, 제221호, 해양수산개발원, 2003. 2, p.25.

1.2. 연구목적 및 구성

기존의 항만 효율성 평가 방법에 관한 연구들은 다양한 방법론을 이용하여 항만의 효율성 분석을 실시하여 왔다. 그러나 상대적 효율성을 측정하기 위한 대상선정에 있어 전세계항만을 대상으로 하거나, 국내 항만을 대상으로 한 연구들이 이루어져 왔다. 따라서 최근 급성장한 동북아시아의 항만들 간의 효율성을 정확히 파악하기 위해 동북아시아 항만을 대상으로 하는 연구의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 분석 대상 항만들을 효율적인 항만과 비효율적인 항만들로 구분하고 비효율적인 항만들이 효율적인 항만에 비해 상대적으로 얼마나 비효율적인지에 대한 구체적인 정보와 효율적이 되기 위한 방안에 대한 정보를 제시하여 줄 수 있는 DEA(Data Envelopment Analysis)방법론을 통해 동북아시아 지역에 위치한 항만들을 대상으로 상대적 효율성을 분석하고자 한다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

첫째, DEA모형은 기본적으로 규모에 대한 수익이 불변일 경우와 가변일 경우로 나누어 살펴본다.

둘째, 동북아시아 항만의 상대적 효율성을 평가함으로써 각 항만에 대한 효율성 순위와 효율성 값을 제시하며, 비효율적인 항만에 대해서는 벤치마킹(benchmarking)의 대상이 되는 참조집합을 제시한다.

셋째, 비효율적인 항만에 대해 효율적인 항만이 되기 위해서 각 변수들의 개선 값들을 알아본다.

넷째, 규모효율성(scale efficiency)을 측정하여 비효율성의 원인이 비효율적인 운영에 의한 것인지 규모로 인한 불리한 상황에 의한 것인지 혹은 둘 다에 의한 것인지를 살펴본다.

본 연구는 처리물동량이 세계 100위 내에 있는 22개의 동북아시아 항만을 대상으로 분석을 실시하여 다음과 같은 방향으로 연구를 진행하려 한다.

제1장 서론에서는 이 연구의 배경과 목적을 설명하고 앞으로 진행하게 될 부분의 방향을 제시한다.

제2장에서는 동북아 항만의 현황과 특징에 대해 살펴보도록 한다.

제3장에서는 효율성의 개념과 측정방법에 대해 알아보도록 한다.

제4장에서는 이 연구에 사용된 DEA모형에 대해 고찰하였다.

제5장에서는 투입물, 산출물의 변수를 선정한 다음 수집된 자료에 의한 DEA 분석결과를 제시, 해석하였다.

제6장에서는 본 연구의 결과를 요약하며, 연구의 한계점을 제시한다.

제 2 장 동북아시아 항만의 현황 및 특징

2.1. 중국의 주요 항만의 현황 및 특징

중국 경제의 급성장으로 인해 2002년부터 중국의 주요 항만들이 서서히 율곡을 드러내기 시작했다. 2005년에는 세계 2위 홍콩항(2,260만), 3위에 상하이항(1,808만), 4위의 선전항(1,619만)을 비롯하여 13위의 칭다오항(630만), 15위 닝보항(520만), 17위 톈진항(480만) 등 6개 항만이 20위권에 속해있다. 이를 표로 정리해 보면 다음과 같다.

<표2-1> 중국의 7개 항만의 물동량

(단위: 천TEU, %)

순 위		항 만 명	2004년	2005년	증 감 율
'05	'04				
2	1	홍 콩	21,984	22,602	2.7
3	-	상 하이	14,557	18,084	19.5
4	-	선 전	13,650	16,197	15.7
13	14	칭 다 오	5,140	6,307	18.5
15	17	닝 보	4,006	5,208	23.1
16	15	톈 진	4,479	4,785	6.4
18	22	광 저 우	3,313	4,683	29.3

주: <표1-1>을 요약

1) 홍콩(Hong Kong)항

1999년부터 2004년까지 6년간 '세계 1위 컨테이너항'의 지위를 유지해오던 홍콩항이 작년 한 해 동안 전년대비 2.7% 증가한 2,260만TEU의 컨테이너를 처리하여 싱가포르에 이어서 2위를 차지하였다. 이와 같은 저조한 성장률은 세계 5대 컨테이너항 중 최저 수준이며 앞으로 컨테이너항만 순위가 조만간 또 다시 하락하게 됨을 의미하고 있으며, 매년 20%이상의 성장률로 각각 1,808만TEU와 1,620만TEU까지 쫓아온 상하이항과 선전항에 추월당하는 것은 시간문제라는 관측이 나오고 있다. 이처럼 홍콩항의 성장이 정체된 가장 큰 이유로는 Midstream과 River trade 등 재래부두의 부진이 그 원인으로 지적되고 있다. 현대식 부두인 Kwai Chung 터미널은 작년 1,440만TEU를 처리하여 비교적 양호한 6.4%의 성장률을 나타냈으나, 재래식부두는 작년 계속해서 마이너스 성장을 기록하여 전년대비 12% 감소한 820만TEU를 처리하는데 그쳤다. 이들 재래

부두는 홍콩항의 피더부두 개념으로, 주로 중국 광둥성 주강 삼각주 지역 물량을 Kwai Chung 터미널에 연결해 주는 역할을 수행해 왔는데, 재래부두의 물동량 감소는 곧 선전, 광저우항 등 중국 본토 항만으로의 직기항이 크게 증가하고 있음을 의미한다. 한편 Kwai Chung 터미널은 지난 1993년 9단계터미널(CT-9)이 완공된 이래 13년간 항만건설에 대한 투자가 제로에 가까워 처리능력이 전혀 증가하지 않고 있는 반면, 중국 인근의 선전항 등 이웃 항만들은 경쟁적으로 건설하고 있어 CT-10의 조기 착공을 촉구하는 의견이 대두되고 있다. 홍콩항의 총선석수는 24개, 총선석길이는 7,999m, C/C는 97대 등으로 나타났다(표2-2).

<표2-2> 홍콩 항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)	운영자
터미널1/2/5/9(S)	7	2,322	14-15.5	926	27	MTL
터미널 3	1	305	14	167	4	DPA
터미널 8(East)	2	640	14.5	300	10	CHT
터미널 8(West)	2	740	15.5	285	8	ACT
터미널4/6/7/9(N)	12	3,992	12-15.5	1,110	48	HIT
계	24	7,999	12-15.5	2,788	97	-

자료출처: Containerization International Yearbook, 2006

한편 홍콩항은 향후 2011년까지 대단위 항만개발의 필요성을 인식하고 1990년 항만개발위원회(Port Development Board : PDB)를 설립하여 항만개발에 관한 모든 사항에 대하여 자문하고 있으며, 정부는 공유수면의 매립과 부지조성, 주요도로망, 지원시설용지, 산업용지 등을 공급함에 있어 투자자인 민간기업에 대해 금융, 세제, 제도적 지원을 아끼지 않고 있다. <표2-3>은 홍콩항 개발계획을 정리한 것이다.

<표2-3> 홍콩 항 개발계획

구 분	총면적(천㎡)	선석수	부두길이(m)	처리능력(천TEU)	사업기간	비고
CT10	-	4	1,280	1,600	~'11	
CT11,12	800	8	2,560	3,200	~'11	총 17선석개발

자료출처: 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2006), 「2005년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.19.

2) 상하이(Sanghai)항

중국 상하이항은 전년대비 19.5% 증가한 1,808만TEU의 컨테이너 처리량으로 1·2위권을 바짝 추격하고 있는데, 이는 '05 12월 양산항 1단계터미널 개장에 힘입어 올해나 내년부터는 본격적으로 1위 다툼에 뛰어날 것으로 예상되며, 이와 같은 상하이의 폭발적인 물동량 창출의 주요인으로는 첫 번째, 상하이항의

배후권역인 푸둥지구에 입주해 있는 GM, 소니, 코닥 등 글로벌 기업들이 생산 규모를 계속해서 확대하고 있어 앞으로도 상당기간 물량이 창출될 것으로 전망되고 있기 때문이다. 두 번째, 장쑤성, 저장성의 강력한 물량지원으로 상하이항 컨테이너 물량 중 장강 삼각주 지역별 화물 비중은 상하이 30%, 장쑤성 30%, 저장성 21%, 기타 지역이 19%로, 그중에서도 장쑤성의 급격한 무역량 증가는 상하이항이 2000년에서 2006년까지 26.4%의 성장률을 기록하게 한 원인으로 파악되고 있다. 세 번째로는 양쯔강 수로를 통한 내륙화물의 지속적인 공급으로 중국의 4대 직할시 중 하나로 인구 3,000만의 대도시이자 서부 내륙지역의 물류 집산지인 충칭(重慶)시에서 시작해 쓰촨성, 후베이성, 후난성, 안후이성, 장쑤성을 거쳐 상하이까지 연결되는 장강 수로는 상하이항 전체 컨테이너 물량의 주요 공급원이 되고 있다. 이처럼 막대한 로컬 물량을 보유하고 있는 상하이항이지만 국제 환적 물량이 단 1%에 불과함, 따라서 진정한 허브항으로 거듭나기 위해 2020년까지 상하이 해역에서 30여km 떨어진 대소양산섬에 2020년까지 총 50선석개발을 목표로 건설중이며, 부산신항 개발 완료 이전인 2010년까지 소양산섬에 우선 16선석을 건설하는 사업을 추진하고 있다.

<표2-4> 상하이항의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천 m ²)	C/C(대)	운영자
SCT	10	2,281	12.5	830	19	SCT
SCT(E)	4	1,250	14.2	1,550	14	SCT
장 화 방	3	540	10.5	303	8	SCT
외고교	6	1,635	12	1,660	22	SPIT
계	23	5,706	10.5~14.2	4,343	63	

자료출처: Containerization International Yearbook, 2006

<표2-5> 상하이항의 개발계획

구 분	총면적 (천 m ²)	선석수	부두길이 (M)	처리능력 (천 TEU)	사업기간	비고
외고교 V	-	13	-		'01~'11	'05까지 9개 준공
대소양산	-	52	21,200	15,000	'01~'20	'05까지 5개 준공

자료출처: 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2006), 「2005년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.20.

3) 선전(Shenzhen)항

최근 6년간 연평균 30% 이상의 물동량 증가세를 보이던 선전항이 지난해는 15.7% 증가한 1,620만TEU의 처리량을 기록하여 물동량 증가세가 다소 주춤하였으나 지난해에 이어 4위 자리를 굳건히 지키고 있다. 선전항의 폭발적인 성장 가능성을 한 것은 이 지역의 임금수준이 매우 낮아 그 동안 홍콩, 북미, 유럽 및 아

시아 등 주요 제조업체들의 입주가 대규모로 이루어졌기 때문이다. 이 같은 제조업체들의 물동량을 기반으로 성장하고 있는 선전항은 '04년 1,365만TEU를 처리함으로써 28만TEU를 처리한 1995년에 비해 괄목할 만한 성장을 이루었으며, 특히 선전항은 홍콩과 인접하고 있어 무역, 금융, 보험 등에 관한 높은 수준의 서비스를 용이하게 받을 수 있는 장점이 있는 것으로 분석되고 있다. 따라서 이 같은 이점 때문에 미국의 수입업자들의 경우 선전항이 홍콩항보다 TEU당 150달러의 물류비를 절감할 수 있는 것으로 분석하고 있다. 선전항은 홍콩 국경 주변에 위치한 주요 터미널로 이루어져 있는데, 대표적인 터미널은 선전 동부의 옌티엔(鹽田), 그리고 서부의 서커우(蛇口)와 츠완(赤灣) 터미널이며, 현재 파찬완 지역에 향후 2~3년 내에 16개 선석을 개발할 예정으로 4번째 컨테이너 터미널을 건설하고 있다. 아울러 8,000TEU급 초대형 컨테이너선의 기항에 대비하여 컨테이너 하역생산성을 시간당 35개 이상으로 증진시키고 있으며, 2010년에는 현재의 2배인 2,500만TEU를 처리할 것으로 전망하고 있다.

<표2-6> 선전항의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)	운영자
치 완	4	1,270	12.5~14.5	400	9	KFT
세 코 우	2	650	14	243	4	SCT
안 티 안	9	2,350	15	1,180	18	YICT
계	15	4,270	12.5~15	1,823	31	

자료출처: 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2006), 「2005년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.20.

<표2-7> 선전항의 개발계획

구 분	총면적(천㎡)	선석수	부두길이(M)	처리능력(천TEU)	사업기간	비고
치완3단계	-	4	-			
세코우3단계	830	5	1,750		~'08	'08까지 4선석
안티안4단계	1,020	6	1,828			

자료출처: 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2006), 「2005년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.20.

4) 칭다오(Qingdao)항

중국 3위 항만이자 북중국 메인포트로 우리나라 항만에 가장 직접적인 영향을 미칠 것으로 평가되고 있는 칭다오항은 작년 631만TEU의 컨테이너를 처리하여 전년대비 18.5%의 증가율을 기록하여 13위를 차지하였다. 칭다오항의 높은 경제성장에 발맞춰 세계적인 대형 정기선사와 터미널운영업체들이 잇달아 칭다오

항 개발 사업에 뛰어들고 있어 향후 칭다오항 내에서 터미널간 치열한 경쟁 체제가 구축될 전망이다. 이러한 치열한 경쟁체제가 칭다오항 전체 물동량 증가에 있어 강력한 시너지 효과를 발휘할 것으로 기대되고 있으며 칭다오항은 2010년까지 부산항의 2005년 컨테이너 처리량 수준을 넘어서는 1,200만TEU를 목표로 하고 있다.

<표2-8> 칭다오항의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)	운영자
QQCT	8	2,500	14.5~17.5	350	29	QQCTC
QHCC	5	2,600	10.5~17.5	786	14	
계	13	5,100	10.5~17.5	1,136	43	

자료출처: Containerization International Yearbook, 2006

<표2-9> 칭다오항의 개발계획

구 분	총면적 (천㎡)	선석수	부두길이 (M)	처리능력 (천TEU)	사업기간	비고
관완3단계	-	6	1,200		'01~'05	3석석 '06완공
관완4단계	-	8	1,600		'06~'11	

자료출처: 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2006), 「2005년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.21.

5) 닝보(Ningbo)항

화상(華商)의 본고장으로 유명한 닝보항이 전년도에 521만TEU를 처리하여 최초로 500만TEU를 돌파하였으며, 전년대비 23.1%라는 높은 수치의 증가세를 기록하였으며, 이와 같은 증가세는 작년 20위권 항만내 최고기록으로 인접한 상하이항의 유일한 경쟁상대로서 확실한 토대를 구축하였다. 닝보항은 “10차 5개년 계획(2000~2005년, 十五計劃)” 동안 중국의 교역량 증가와 장강 삼각주 지역의 급성장을 기반으로 제2의 도약을 이룬다는 비전을 설정한 바 있으며, 이에 따라 심수항이라는 우수한 항만조건, 장비 현대화, 최적의 항내 물류시스템, 풍부한 인적자원 등 5대 장점을 강화하고, 컨테이너, 철광석, 원유, 석탄, 액화석유제품 등 5대 수송시스템을 비약적으로 발전시킨다는 목표를 추진해 왔다. 그리고 이와 함께 닝보항의 컨테이너 처리실적 또한 비약적으로 늘었는데, 2000년 연간 물동량이 90만TEU에 그쳤던 것과 비교할 때, 지난 5년간 닝보항의 컨테이너 물동량은 연평균 42%씩 증가하여 2005년 컨테이너 처리실적은 521만TEU를 기록하여 「십오계획」 기간중 세계 67위 항만에서 15위로 도약하였고 서비스 수 또한 48개 220항차에서 147개 672항차로 늘어났다. 한편 '06년 1월부터는 인근의 저우산(舟山)항과 단일 브랜드로 통합 운영되며 저장성 정부 차원에서 닝보-저우

산항을 중점적으로 개발해 2010년까지 세계 3위항만으로, 장기적으로는 세계 최대항만으로 발전시키겠다는 야심 찬 계획을 발표한 바 있다.

<표2-10> Ningbo항의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천 m ²)	C/C(대)	운영자
BCT	3	900	13.5	757	8	NPA
BL2	1	1,238	15		8	NPA
계	4	2,138	13.5~15	757	16	

자료출처: Containerization International Yearbook, 2006

<표2-11> Ningbo항의 개발계획

구 분	총면적 (천 m ²)	선석수	부두길이 (M)	처리능력 (천 TEU)	사업기간	비고
	-	18	-		'02~'09	

자료출처: 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「2004년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.23.

6) 텐진(Tianjin)항

'04년 448만TEU를 처리하여 15위를 차지한 텐진(天津)항은 작년 한 해 동안 6.4%증가한 479만TEU를 처리하였지만 작년보다 1위 떨어진 16를 차지하였다. 텐진항 향후 5년 동안 300m 규모의 7개선석(부두길이 2,200m), 수심 15m의 신항 개발 계획을 발표하였으며, 이 신항이 완공되는 2010년에 텐진항은 연간 1,000만TEU의 컨테이너를 처리할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 최근 중국 정부는 텐진을 상하이, 선전등과 함께 자유무역구로 지정, 시범운영할 계획임을 발표했으며, 이는 기존의 보세구에서 수출입과 통관 절차를 개선한 것이다.

<표2-12> 텐진항의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천 m ²)	C/C(대)	운영자
CT	4	1,300	12~15.2	575	7	THCC
CSX OCT	4	1,150	14	429	8	CSX
계	8	2,450	12~15.2	1,004	15	

자료출처: Containerization International Yearbook, 2006

<표2-13> 텐진항의 개발계획

구 분	총면적 (천 m ²)	선석수	부두길이 (M)	처리능력 (천 TEU)	사업기간	비고
1단계	-	5	1,600	1,500	'04~'07	
2단계		5	1,600	1,500	'07~'09	

자료출처: 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「2004년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.23.

2.2. 일본의 주요 항만의 현황 및 특징

일본 도쿄항은 2005년 컨테이너 취급량이 전년대비 10.2%인 두 자리 수의 성장세를 기록한 376만TEU를 처리하여 한 계단 상승한 21위를 차지하여하였다. 국토교통성의 자료에 의하면 일본 수출입 컨테이너 물동량은 2003년 331만TEU로 1990년부터 지난 13년 동안 연평균 증가율은 5.5%에 머물고 있다. 수출입화물이 저하되는 요인은 생산기지의 중국 이전에 따른 전국적인 수출 물동량 둔화에 기인하는 것으로 나타났으며, 또한 지나치게 높은 항만가격으로 외국의 환적화물이 인근 경쟁항만인 부산항으로 전이되고 있기 때문이다. 환적화물은 조건이 좋은 항만을 찾아 쉽게 이동해 갈 수 있는(foot loose cargo) 특성으로 인해 일본의 항만이 경쟁력을 잃는 순간 순식간에 빠져나간 것으로 분석된다. 특히 항비와 하역비 등 항만에서 발생하는 비용이 부산항에 비해 약 3배에 이르고 있어 항비를 낮추고 하역비용을 할인해주기 위한 노력의 일환으로 슈퍼 중추항만제도를 도입하는 등 많은 노력을 하고 있다.

<표2-14> 도쿄항의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천 m ²)	C/C(대)	운영자
Berth1-OB	1	252	13.0	88	2	TKK
Berth2-OC	2	660	15.0	259	4	Daito
Berth3-OD	1	250	13.0	92	3	"
Berth C-1~3	3	1000	12.0~14.0	245	4	Sankyu
Berth 4-OE	2	600	13.0	222	5	ICT
Ohi	2	680	15	28	6	NCT
Shungawa	3	574	10	87	3	-
계	14	4,016	10~15	1,021	27	

자료출처 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2006), 「2005년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.22.

2.3. 대만의 주요 항만의 현황 및 특징

대만의 카오슝항은 지난해 전년대비 2.5% 하락한 947만TEU의 컨테이너를 처리하였지만 전체 순위는 부산항에 이어 6위 자리를 계속 유지하고 있다. 22개 선석으로 운영하고 있는 카오슝항은 2003년 모든 컨테이너 터미널을 자유무역지역으로 지정하는 등 대만 항만당국은 동북아 환적센터로 육성한다는 야심찬 중장기전략을 추진하는 있지만 물동량이 감소하였다. 이러한 물동량 감소원인은

중국 항만의 빠른 성장과 대만 제조업체들이 동중국으로 이전한데 따른 것으로 지적되고 있는데, 2020년까지 2,500만TEU를 처리하는 것을 목표로 하는 카오슝항은 최근에 그 기반이 약해지는 추세이다. 특히 이와 관련해 타이완 항만당국은 머스크라인이 카오슝항의 이용을 포기하는 경우 이 같은 물동량 감소세는 더욱 가속화될 것으로 우려하고 있으며, 현재 머스크라인은 카오슝항의 4개 선석을 이용하고 있는데 2개 선석은 2008년에 계약을 갱신하도록 되어 있다. 또한 머스크라인은 중국의 샤이먼(Xiamen) 지역에 3개 선석의 컨테이너터미널을 개발하는 방안을 지방 항만당국과 협의하고 있어 현재 카오슝항에서 처리하고 있는 물동량이 앞으로 서면으로 이전될 가능성도 있어 이와 관련해 대만 당국은 물동량 감소를 줄이기 위한 가장 좋은 방법은 타이완과 중국간 직항로 개선을 크게 늘리는 것이라고 항만전문가들은 조언하고 있다.

<표2-15> 카오슝항의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)	운영자
터미널 1	2	429	10.4	105	4	KHB
터미널 2	4	1,203	12	450	5	OOCL
터미널 3	3	1,072	14	-	1	OOCL
터미널 4	7	2,197	14	233	5	APM
터미널 5	6	1,810	14~15	633	6	EMC
계	22	6,711	10.4~15	1,421	21	

자료출처: Containerization International Yearbook, 2006

<표2-16> 카오슝항의 개발계획

구 분	총면적 (천㎡)	선석수	부두길이 (M)	처리능력 (천TEU)	사업기간	비고
1단계	-	5	-	2,500	'02~'08	
2단계	-	4	-	2,000	'04~'11	
3단계	-	14	-	-	~ '20	

자료출처: 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2006), 「2005년도 세계 주요항만 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, p.22.

2.4. 한국의 주요 항만의 현황 및 특징

부산항은 2005년 전년대비 3.4% 증가한 1,184만TEU의 컨테이너를 처리하여 최근 5년간 평균 11% 증가율과 비교하면 저조한 물동량 증가세를 기록했지만 20대항만 순위는 지난해와 같은 5위 자리를 유지하였다. 특히 로컬화물의 경우는 사상 처음으로 감소세를 나타내어 부산항의 위상과 관련하여 주위의 불안감

을 증폭시키고 있는데, 이와 같은 로컬화물 감소는 우리나라 기업의 생산기지 중국 이전에 따른 전국적인 수출 물동량 성장률 둔화와 광양, 인천항 개발에 따른 수도권 물량의 분산으로 인한 것으로 분석된다. 또한, 동북아의 중심항 경쟁의 최대관건인 환적화물 유치는 같은 기간 8%의 성장률을 기록했으나, 이 또한 2000년부터 2004년까지 평균 19% 증가율과 비교하면 저조한 수준으로 증가율이 둔화되는 요인으로 부산항 환적화물의 주요공급처인 중국이 급속한 항만시설 확충으로 미주/유럽항로의 직기항이 증가하는 것으로 분석된다. 하지만, 위와 같은 불안한 요소들이 내재하고 있지만 부산항은 유럽과 북미를 잇는 해상교통의 요지라는 지리적 이점과 초대형 선박이 접안할 수 있는 부두시설, 최첨단 하역장비 및 운영시스템을 갖추고 있어 이들 강점을 살리고 중·일 항만들과 선의의 경쟁과 협력을 통해 역내 물류흐름을 최적화한다면 동북아의 중심항만이 될 무한한 가능성을 가진 항만이다. 한편, 부산항의 항만개발계획은 부산신항을 2011년까지 30개 선석을 건설하여 800만TEU 이상의 시설을 확보할 계획이며, 1차로 2006년 1월 5만톤급 3선석(1-1단계 6선석 중 조기개장분)을 개장하였다.

<표2-17> 부산항의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)
감천 CT	2	600	13	142	4
허치슨 CT	1	350	15	149	4
신선대 CT	4	1,200	14~15	1,039	11
감만 CT	3	1,050	14~15	454	9
신감만 CT	3	826	15	308	7
우암 CT	2	500	11	184	4
자성대 CT	5	1,447	12.5~15	648	13
신항	3	1,050	16	810	9
계	23	7,023	12.5~16	3,734	61

자료출처: Containerization International Yearbook, 2006

<표2-18> 부산항의 개발계획

구분	선석수	선석길이	수심	사업기간
부산신항 1단계	18	5,750		'95~'08
부산신항 2-1단계	4	1,100	18	'95~'11
부산신항 2-2단계	4	1,150	17	'95~'11
합계	26	8,000		-

자료출처: 부산항만공사 "부산신항 현황"

제 3장 효율성의 개념

3.1. 효율성의 정의

3.1.1. 효율성의 정의

효율성이란 “투입량에 대한 산출량의 비율”을 의미한다.²⁾ 즉, 최소의 비용으로 목적하는 바의 성과를 얼마나 달성하는가 하는 문제이다. 이것은 기술적 효율성(technical efficiency, 생산가능곡선 상에 위치하면 효율적이고 그 하부에 위치하면 비효율적임을 의미함), 규모의 효율성(scale efficiency, 한 단위의 투입물을 증가(감소)시켜도 한 단위의 산출물을 더 이상 증가(감소)시킬 수 없는 경우를 말함), 배분의 효율성(allocative efficiency, 조직의 목표에 따라서 배분효율성이 다르게 나타남)으로 나뉜다.

3.1.2. 효율성과 유사한 용어에 대한 정의³⁾

1) 효과성(effectiveness)

효과성이란 어느 조직의 목표나 목적에 대한 업무의 공헌도(달성도)를 의미하며, 효율성보다는 범위가 넓지만 계수화하기 어려운 불확실성을 갖는다.

2) 생산성(productivity)

생산성이란 협의로 설명할 때 “투입과 산출 간의 비율”로 정의할 때는 효율성과 차이가 없다.⁴⁾ 즉 조직의 목표내지 설립목적에도 불구하고 최소의 비용으로 최대의 효율적인 이익을 거둘 때 조직의 생산성은 극대화된다. 그러나 최근에는 생산을 광의로 해석 할 때 효율성과 효과성의 상위개념(생산성=효과성/효율성)으로 파악하고 있다.

2) Rober N. Anthony and John Dearden, Management Control System, Richard D. Irwin Inc., 1980, p.8.

3) 이정호, “국내 수출입항만의 효율성측정에 관한 실증적 연구”. 박사학위논문, 전북대학교 대학원, 1998, p.9-11.

4) David Bain, The Productivity Prescription: The Manager's Guide to Improving Productivity and Profit, Mc Graw-Hill Co., 1982, p.51.

한편 ILO(International Labor Organization)의 정의에 의하면 생산성이란 “부의 산출량과 자원투입량의 비율”이라 하고, 산출량은 “설비, 자원, 에너지, 노동, 기술 등 다수의 요소가 결합된 투입의 결과로써 얻어지는 것”이라고 하였다.⁵⁾ 이러한 생산성을 측정하기 위한 접근방법에는 총생산성(total productivity), 부분생산성(partial productivity), 총요소생산성(total factor productivity) 등 세 가지로 크게 구분할 수 있고 이를 지수형태로 나타내고 있다. 총생산성은 [산출량(금액)]/[노동+자본+에너지+원재료+기타경비]로 부분생산성은 투입요소의 종류에 따라 노동생산성의 경우[산출량(금액)]/[노동] 등으로, 총요소생산성은 [산출량(금액)-중간재투입액]/[가중된 노동투입시간+총자본]으로 측정된다. 일반적으로 부분생산성은 특정상의 용이함과 다양함으로 기업에서 활용도가 높지만 생산활동을 위해 투입한 모든 요소들을 종합적으로 고려하지 않기 때문에 기업 전체적인 수준에서의 생산성측정에도 부적합하다. 총요소생산성은 경제학적인 측면에서는 유용하지만 산출량을 부가가치로 계산하므로 중간재투입이 원가의 큰 비중을 차지할 경우 원재료 투입이 생산성측정에 반영되지 않는 등의 문제가 있어 생산효율측정에 부적합하다. 따라서 총체적인 산출과 투입이 함께 고려되고 있는 총생산성이 기업 전체적 수준의 효율성평가에 보다 유용하다고 하겠다.⁶⁾

자주 생산성(productivity), 효율성(efficiency), 효과성(effectiveness)이란 용어가 사용되는데 효율성과 효과성이란 공공수송회사의 성과평과에 관한 논문에서 발견할 수 있다. 특히 효율성목표는 생산된 산출물과 관련이 있으며, 효과성목표는 소비된 산출물과 관련이 있다. 효율성이란 회사가 효과적이기 위한 필요조건이다.⁷⁾

3) 수익성(profitability)

일정투입물을 소비하여 생산된 산출물의 시장가치와 투입물가치를 말한다.⁸⁾ 즉, 비용측면이 강조되는 용어로서 효율성과 밀접한 관계를 갖는다. 그러나 수익성은 투입물과 산출물간의 비율에 가격효과를 포함하고 있어 비효율적인 경우에도 가격효과를 통하여 수익성은 오히려 증가할 수 있다.

5) 정수영, 『신경영학원론』 (서울 : 박영사, 1971), p.177.

6) 손승태, 『국내은행의 경영효율성 비교분석』, (서울 : 한국개발원, 1993.5.), pp.24-26.

7) W. K. Talley and P. Anderson, " Effectiveness and Efficiency in Transit Performance : A Rheoretical Perspective", Transportation Research, Vol. 15A, 1981, pp.431-436.

8) Davis M. Miller, "Profitability = Productivity + Price Recovery", Harvard Business Review, May-June 1984, p.145.

4) 효율성, 효과성, 생산성, 수익성의 관계

R. Mali교수의 견해에 따르면 다음과 같은 공식을 통해서 효율성과 유사용어의 관계를 설명하였다.

$$\begin{aligned} * \text{생산성지수} &= \text{획득된 산출물} / \text{투입물} \\ &= \text{달성된 성과} / \text{사용된 자원} \\ &= \text{유효성} / \text{효율성} \end{aligned}$$

미국생산성본부의 견해에 따르면

$$\begin{aligned} * \text{수익성} &= \text{매출액} / \text{비용} \\ &= (\text{산출물} \times \text{가격}) / (\text{투입량} \times \text{단위당비용}) \\ &= (\text{산출물} / \text{투입량}) \times (\text{가격} \times \text{단위당비용}) \\ &= \text{생산성} \times \text{"price recovery : 가격효과"} \end{aligned}$$

3.2. 효율성의 측정방법

기업의 효율성을 측정하는 방법은 기업의 측정목적에 따라 다양하게 구분할 수 있다. 여기서는 일반적으로 많이 이용되고 있는 측정방법들에 대한 개념을 파악하고자 한다.

1) 함수적 측정법(functional measurement)

트랜스로그비용함수를 이용하여 다품목의 서비스를 제공하는 기업의 효율성을 측정하는 방법이다. 즉, Cobb-Douglas생산함수나 규모의 대체탄력성생산함수가 규모에 대한 수확불변을 사전적으로 가정하고 있거나 단일품목생산구조에만 적용될 수 있음에 반하여 트랜스로그비용함수는 일반적인 함수형태이고 2차 미분이 가능한 모든 형태의 함수의 테일러변형이라 할 수 있기 때문에 다품목 생산구조에 적합한 형태의 함수를 폭넓게 표현할 수 있다.⁹⁾

9) W. J. Baumol, J. c. Panzar and R. D. Willig, Contestable Markets and the Theory of Industry Structure, Harcourt Brace Jovanovich Inc., New York, 1982.

2) 비율분석측정법(ratio analysis measurement)

비율분석측정방법은 기업의 재무제표를 이용하여 기업의 경제적 실태를 설명해 줄 수 있는 재무비율을 계산한 다음, 이를 산업표준비율과 비교하거나 특정 기업의 재무비율 추이를 관찰하여 기업의 수익성, 유동성, 안정성, 성장성 등을 분석한다. 최근에는 기업부실예측, 신용등급의 분류, 채권등급평가, 포트폴리오 결정 등 경영자의 의사결정에 그 이용도가 높아가고 있다.¹⁰⁾

3) 총생산성지수측정법(productivity index approach)

총생산성을 측정하는 지수법에는 투입요소와 산출물의 구성요소와 측정방법 산출이 산정기준(판매액 또는 생산액)에 따라 여러 가지 형태의 모형이 있으나 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$\text{총생산성지수(TP)} = \text{TO} / (\text{L} + \text{K} + \text{R} + \text{OC})$$

단, TO : 총생산량

L : 노동투입량

K : 자본투입량

R : 원재료투입량

OC : 기타경비투입량

이러한 총생산성지수법은 항만 경영자의 관점에서 볼 때 변환 과정의 효율성을 나타내는 척도가 되며 전략적 차원에서의 합리적 의사결정에 기여한다. 그러나 지수에 의한 총생산성의 개념은 규모에 대한 보수가 불변인 상태를 가정하고 있어 다품목생산체제의 경우 규모의 경제나 범위의 경제를 측정할 수 없다. 또 다수의 산출물과 다수의 투입물을 동시에 고려할 수 없다는 등의 단점이 있다.

4) 비용함수접근법(function approach)

다품목의 서비스를 생산하는 은행의 비용함수는 규모 및 범위의 경제를 규명하기 위해 여러 가지 유형의 다품목비용함수(multi-product cost function) 즉 콥-더글라스 생산함수나 CES생산함수, 트랜스로그생산함수 등이 제시되고 있다. 다품목 비용함수를 통한 실증분석이 기업에 적용되기 위한 중요 논점은 생산과정을 어떻게 모형화 하느냐 하는 것과 기업에 있어서 규모 및 범위의 경제

10) 한국생산성본부, 전략적 계획 및 관리통제시스템을 위한 생산성 관리시스템의 활용방안 - 은행산업을 중심으로, 1990.12, p.96.

의 원천을 규명하는데 있다.

신축적인 함수형태를 갖되 실증적 분석에 유용하도록 비교적 간단한 형태를 취하는 트랜스로그함수의 형태는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ln C^* = & \alpha_0 + \sum_{r=1}^s \alpha_r \ln y_r + \sum_{i=1}^m \beta_i \ln w_i + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^s \sum_{t=1}^s \delta_{rt} \ln y_r \ln y_t \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m r_{ik} \ln w_i \ln w_k + \sum_{r=1}^s \sum_{i=1}^m \rho_{ri} \ln y_r \ln w_i + \epsilon \end{aligned}$$

또한 위 식이 비용함수이기 위해서는 다음의 대칭성 제약과 일차동차성 제약이 충족되어야 한다.

$$\text{대칭성 제약 : } \delta_{rt} = \delta_{tr}; \gamma_{ik} = \gamma_{ki}; \rho_{ri} = \rho_{ir}$$

요소가격에 대한 일차동차성 제약 :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \beta_i &= 1, \sum_{i=1}^m \gamma_{ik} = 0, (k = 1, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m \rho_{ri} &= 1 (r = 1, \dots, s) \end{aligned}$$

비용함수 접근법에 의한 연구는 통계적 회귀분석법을 사용함에 따른 일반적인 문제뿐만 아니라 모델에 사용된 함수형태에 따라 연구결과에 상당한 차이를 가져오고 있다. 또, 이러한 연구는 거시적이고 통계적인 분석방법을 통하여 해당 업종의 규모 및 범위의 경제성을 개관할 수 있는 장점은 있으나 사전적인 비용함수의 형태를 가정하고 있다는 문제 외에도 분석대상의 표본수가 한정되어 있는 경우 신뢰성 있는 비용함수를 추정하기가 어렵고 최소자승법에 따른 평균값을 사용하여 효율성 차이를 측정하기 때문에 특정한 값의 영향을 크게 받게 된다는 단점이 있다.

5) 모수적 접근법

경제학에서 효율성을 측정함에 있어서 관찰된 자료(observed data)를 토대로 경험적 생산함수 혹은 프론티어를 추정하는 방법에 따라 두 가지의 접근방법의

로 분류할 수 있다. 흔히 이들은 모두 모수적 접근법(parametric approach)과 비모수적 접근법(non-parametric approach)으로 불린다.

또한 이들은 확률적 접근방법(stochastic approach), 비확률적 접근방법(non-stochastic approach)이라고도 하는데, 모수적 접근방법은 주로 계량경제학적인 기법으로서 프론티어를 추정하며 비모수적 접근방법은 주로 수리계획법에 의해 프론티어를 추정한다.¹¹⁾

먼저 모수의 접근방법 중 대표적으로 계량경제학적 프론티어 접근방법(EFA)을 살펴보면, 비용함수와 share equation으로 구성된 EFA모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ln CA &= \ln CF + \ln A + u \\ SA_i &= SF_i + b + u \quad (\text{단, } i = 1, 2, \dots, m) \end{aligned}$$

이 방법은 전통적인 비용함수를 변형시켜 그 변형된 함수의 예측치가 비용프론티어를 형성하게 되고 비효율성은 잔차항에 포함된다. 따라서 비효율성을 측정하기 위해서는 잔차항에 포함되어 있는 비효율성과 잔차변동(random fluctuation)을 구분하여 비용함수의 프론티어로부터 각 기업의 이탈(deviation) 정도를 기술적 비효율성이 측정될 수 있고 배분적 비효율성도 자료의 평균으로부터 구할 수 있다. 그러나 이 방법에서는 비효율성의 구성원소들이 일반적으로 비대칭적인 반정규분포(half normal distribution)를 따르고 잔차변동은 대칭적인 정규분포를 따른다는 가정이 필요하다. 이러한 가정 하에서 잔차항을 비효율성과 잔차변동으로 구분하기 때문에 비효율성의 결과는 결정적으로 자료의 왜곡도에 의존하게 된다. 즉, 다소대칭적인 비효율성은 잔차변동으로 간주되고 다소 비대칭적인 잔차변동은 비효율성으로 간주됨으로써 비효율성을 정확하게 측정할 수 없게 된다.

3.3. 항만 효율성

3.3.1. 항만 효율성의 정의

항만의 효율성에 관한 사항은 항만과 해운산업 전체에서 경영전략 수립 시 매우 중요한 평가 자료가 된다. 이 연구에서 다루어질 자료는 투입자료가 될 수

11) Ferrier and Lovell(1990)은 모수적 접근방법을 계량경제학적인 접근방법(econometric approach), 비모수적 접근방법을 선형계획법에 의한 접근방법(linear programming approach)으로 분류하였다.

있는 선석의 길이, 장비 및 부두 총면적 등의 항만시설과 산출자료가 될 수 있는 항만의 처리 물동량이다.

이것은 DEA를 이용한 컨테이너항만 및 터미널간의 효율성 평가의 소중한 지표가 되고 결국 중앙정부, 지방정부, 공공단체 및 민간에서 항만을 소유하고 경영할 시에 참고하게 되는 적극적인 영업자료가 될 것이다.

따라서 항만의 효율성이라는 것은 간단히 얘기하자면 이미 주어진 투입되는 조건 즉, 항만시설(하역시설 등 포함)하에서 얼마나 많은 양의 산출물 즉, 컨테이너 처리량이 나오는가에 따른 투입자료 대비 산출자료의 양의 비율로써 효율·비효율을 판단하게 되는 것이다.

3.3.2. 항만효율성의 종류

1) 항만효율성

항만의 효율성은 터미널의 효율성이 가지는 성격과는 달리 그 항만에 소속되어진 터미널의 각각의 실적에 따라서 항만의 평가가 내려진다. 즉, 한두 터미널의 실적이 부족해도 나머지 터미널에서 그 부족한 부분을 메워주면 충분히 상위권의 항만으로 진입할 수 있는 것이다. 이 말은 각 터미널의 장단점을 잘 살려서 개발하면 시설과 장비의 다수 또는 노후화와 상관없이 충분한 경쟁력을 지닐 수 있다는 뜻이 된다.

2) 터미널 효율성

터미널의 효율성은 항만의 효율성과는 다른 점이 있다. 개별 터미널이 시설 및 장비의 수와 컨테이너 처리량의 다수에 따라서 그 분석 결과와 의미가 크게 차이가 난다. 하드웨어적인 측면이 강화되어 있다면 평균적인 컨테이너 처리량이 늘어난다는 의미이고 반대로 컨테이너의 처리량이 적다면 이를 취급할 수 있는 시설 및 장비의 수가 적거나 노후화 되어 있을 것이라고 추측할 수 있을 것이다. 이에 따라서 항만의 효율과 비효율을 가늠해 볼 수가 있다.

제 4장 DEA모형

4.1. DEA모형의 개념

Charnes, Cooper, Rhodes(1978)가 제시한 DEA(Data Envelopment Analysis) 모형은 다수의 산출요소와 투입 요소간의 관계를 객관적인 방법으로 동시에 고려하여 그 효율성 값을 도출하는 방법으로서, 기존의 생산성 측정방법이 가지고 있는 문제점들을 극복한 비모수적 방법이다. 평가 대상인 DMU들의 효율성 값을 측정하는 과정에서 각각의 산출물 또는 투입요소에 대해 미리 결정된 가중치를 필요로 하지 않을 뿐만 아니라, 비효율성이 어느 부문에서 얼마 정도가 발생하는지에 대한 정보를 제공해 주는 상대적인 평가방법이다.

비모수적 효율성 측정방법 중에서 DEA는 통계학적으로 회귀분석법과는 달리 사전적으로 구체적인 함수형태를 가정하고 모수(parameter)를 추정하는 것이 아니고, 선형계획법에 근거하여 일반적으로 생산 가능집합에 적용되는 몇 가지의 공준을 가지고 평가대상의 경험적인 투입요소와 산출물간의 자료를 이용하여 경험적 효율적 프론티어를 도출한 후 평가대상들이 효율성 프론티어상에서 얼마나 떨어져 있는지의 여부로써 비효율성을 측정한다. 이 방법은 다양한 산출물과 여러 가지 투입요소를 동시에 고려하여 상대적 효율성 값을 도출하여 그 과정에서 각각의 산출물 또는 투입요소에 대해 미리 결정된 가중치를 필요로 하지 않을 뿐만 아니라 비효율성이 어느 부문에서 발생하며 그 크기가 얼마 정도인지에 대한 수치적 정보를 제공해줌으로써 경영자가 효율성을 제고하는데 실제적인 도움을 줄 수 있다는 장점이 있다.

DEA는 투입과 산출의 명확한 인과관계를 밝히기 어려운 비영리적이며 공적인 의사결정단위(DMU)들의 상대적 효율성을 평가하기 위하여 개발된 기법으로서, 여러 종류의 산출을 생산하기 위하여 여러 종류의 투입요소를 사용하는 조직들의 생산성을 평가하기 위한 선형계획기법(Liner Programming Technique)이다. 이 방법은 DMU들로부터 산출과 투입을 상호 비교함으로써 생산성을 측정하고, 측정대상이 되는 DMU를 다른 DMU들과 비교하여 상대적 개념에서의 비효율성을 나타내준다. 앞에서 살펴본 것처럼 모수적 접근방법이 자료들을 평균에 회귀시키려는 목적을 가지고 있는데 반해 DEA는 자료들을 모두 포락하는 선형평면을 구하는 것이 목적이므로 자료들의 점을 찍었을 때 평균에 가까운 자료보다는 변경에 위치하는 자료들이 더 중요하다. 또 모수적 분석방법은 정태적 분석 및 산업전체의 분석에 주로 이용하였는데 이와 다르게 DEA는 한 시기의 특정산업의 생산단위 개개에 대한 생산경계를 추정하는데 주로 이용한다. 여

기서 평가대상이 되는 단위를 의사결정단위(DMU)라고 부르는데 각 DMU는 여러 가지 투입요소를 사용하여 다양한 산출물을 생산하는 책임중심점으로서 병원, 학교, 법원, 군부대, 은행을 비롯한 금융기관 등 여러 가지가 있을 수 있다.

DMU의 선정 시 지켜야 할 원칙으로는 각 DMU간에는 그 성격이 유사하여야 하고, 투입요소와 산출요소를 통제할 수 있는 경제주체이어야 하며, 평가대상이 되는 DMU의 수는 추정된 효율성 값이 신뢰도를 확보할 수 있도록 충분히 커야 한다.

DEA방법은 투입과 산출의 명확한 관계를 밝히기 어려운 비영리적이며 공적인 DMU들 간의 상대적 효율성을 평가하기 위해 개발된 이래 은행지점의 영업성과 평가(Schaffnit, Rosen, & Parai, 1997), R&D 프로젝트 평가(Oral, Ossama & Lang, 1991), 생산기술의 선택(Shang & Sueyoshi, 1995), 소프트웨어 개발팀의 평가(Parkan, Lam & Hang, 1997), 소매점의 효율성 평가(Rhonda, Richard & willa & John, 1998)등 수많은 분야에 걸쳐 평가방법으로서 응용되어 왔다.

비율분석법이나 지수법은 보통 여러 가지 비율 혹은 지수 중 몇 가지는 유리하게 나타나고 몇 가지는 불리하게 나타날 경우 종합적으로 평가하는 어떤 체계적인 방법이 존재하지 않는다. 따라서 비율분석법에서 선택되는 비율들, 지수화 시키는데 사용되는 가중치의 선택 등이 상당히 주관적이다.

또 종래 특정한 비용함수를 가정하고 회귀분석법에 의해 구체적 비용함수를 추정하는 비용함수를 이용한 효율성분석과 달리 함수형태를 사전에 가정하지 않고 단순히 정규조건에 의해 규정되어지는 생산 가능집합(production possibility set)만을 가정하여 직접 분석하는 것이 특징이다.

DEA기법 특성은 첫째, 다수의 투입과 산출이 존재하나 이들을 적절한 방법으로 하나의 지수로 종합화하기 힘든 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 특히, 투입 및 산출요소들의 측정단위가 각각 다른 경우에도 적용 가능하고 화폐단위로 표시 불가능하거나 매매의 대상이 될 수 없는 자원의 경우에도 적용이 가능하다.

둘째, DEA에서는 평가대상 조직과 투입과 산출관계가 유사한 다른 효율적인 조직들이 먼저 선정되고 이를 준거집단으로 하여 상대평가를 한다. 이에 따라, 비효율적인 조직의 경우에는 실현가능한 목표치의 설정이 가능하게 되고 비효율성의 원인이 순수 기술적인 것인지, 아니면 규모에 의한 것인지를 밝힐 수 있으며 각 DMU의 규모 수익에 대한 특성을 알 수 있다.

셋째, DEA에서는 평가 대상조직의 효율성을 최대한으로 하는 투입과 산출에 대한 가중치를 직접 추정하기 때문에, 비율분석 등과 같이 경영평가를 위한 항목별 가중치를 사전에 주관적으로 결정할 필요가 없다. 그리고 측정단위가 상이한 여러 가지의 투입요소와 산출물을 동시적으로 고려할 수 있다. 이와 같이 이들

측정단위가 상이한 여러 산출물 및 투입요소가 동시에 사용되는 경우는 다른 측정방법에서는 거의 찾아볼 수가 없다.

넷째, 구체적 생산함수에 관한 정의를 필요로 하지 않는다. 즉 효율적인 투입, 산출관례를 알 필요가 없다. 따라서 DEA는 비영리적이며 공적인 부문을 평가하는데 유용한데, 이들 조직의 산출은 시장경제에 의해 가격결정이 이루어지지 않고 산출에 필요한 투입량의 관계를 명확히 정의하기 어렵기 때문이다. 종래 특정한 비용함수를 정의하고 회귀분석법에 의해 구체적 비용함수를 추정하는 효율성 분석과는 달리, 특정한 함수형태를 사전에 가정하지 않고 단순한 정규분포에 의해 규정되는 생산 가능집합만을 가정하여 직접 분석하는 것이 특징이다.

4.2. DEA모형을 이용한 효율성 측정

4.2.1. DEA모형의 기존연구

컨테이너항만의 생산성(또는 생산효율성)방법을 포함시킨 국내에서의 기존연구는 대표적으로 전일수·김학소·김범중(1993.12), 하동우(1996. 12), 전국경제인연합회(1997. 12), 오성동·박노경(2001), Chul-Hwan, Han(2002), 박노경(2002)의 연구가 있다. 컨테이너항만의 생산효율성과 관련된 외국에서의 연구는 G. De Monie(1987), T. J. Dowd and T. M. Leschine(1990), D. K. Fleming(1997), K. Cullinane, D. W. Song, and R. Gray(2002)이 있다. 국내외 기존연구에 대한 내용은 <표4-1>에 제시하였다.

한편 항만의 생산효율성분석과 관련하여서는 다양한 방법들이 사용되어져 왔는데 그 중에는 DEA방법을 채택한 연구도 포함이 된다. 이 분석방법은 원래는 공공단체나 비영리단체의 생산성분석을 목표로 하였다. Charnes, Cooper and Rhodes(1978)가 개발하였으며 많은 분야에서 이용되고 있는 기법이다. 이 방법에 의거하여 효율적인 의사결정단위(Decision Making Unit : DMU)가 최적포괄(optimum envelope)로서 정의되며 그것은 비효율적인 단위들의 참조단위로서 역할을 하는 선형결합을 말한다. 생산함수방법을 DEA접근방법과 비교한 연구는 Fecher et.al.과 Ferrer and Lovell에 의해서 행해졌으며 두 방법사이에 긍정적인 상관관계가 있음을 발견하였다. 또한 항만의 생산효율성분석에 DEA기법을 적용한 최근의 예는 Y. Roll and Y. Hayuth(1993), Jose Tongzon(2001), Valentine and Gray(2002)의 연구에서 찾아볼 수 있다.

<표 4-1> 항만 및 컨테이너항만의 효율성에 관한 국내외 기존연구

연구학자 구분	F. Suykens(1987)	G. D. Monie(1987)	W. K. Talley(1988)
분석대상국가	유럽	파키스탄	-
분석대상	엔트워프, 함부르크, 브레멘, 노테르담	카라치 항만	-
표본수	4	1	-
분석모형	부두노동장 1인당 화물처리량, 정박시간당 선적화물의 톤수, 노동자 1인당의 시간당 화물 하역량, 부두정박시간당 화물하역량, 컨테이너 화물처리의 측정 모형	항구에서 선박의 정박과 관련된 변수, 화물처리에 대한 변수, 항구통과시 내륙운송수단에 대한 서비스품질변수	공학적 측정 모형 (ship/apron이전능력, yard보관능력, storage/내륙운송이전능력, 내륙수송단위처리능력) 경제적 측정 모형 (단위당 비용절감능력)

연구학자 구분	T. J. Dowd and T. M. Leschine(1990)	E. G. Frankel(1991)	Y. Roll and Y. Hyuth(1993)
분석대상국가	미국	-	이스라엘
분석대상	-	-	가상적인 20개 항구
표본수	-	-	20
분석모형	생산성측정과 생산성에 영향을 미치는 요소:터미널운영요소, 생산성에 영향을 미치는 체계적인 요인, 운영에 영향을 미치는 기타 제약요인, 생산측정모형, 측정된 생산성요인	사용자 중심의 성과측정모형(선박관련비용, 화물처리비용, 선박보관비용, 피더비용) 항구사용자의 비용중심모형(고정비용, 화물량과 처리능력의 기회비용, 화물량과 톤당비용과 처리비용, 화물보관과 이전비용, 화물이전 및 검사비용)	DEA모형:CCR모형 산출요소:화물처리능력, 서비스수준, 사용자만족, 선박이용회수 투입요소:연간노동력의 연평균수치, 항구당 연간 총투자자본과 기계설비, 화물의 통일성

연구학자 구분	A. Sachish(1996)	D. K. Fleming(1997)	J. Tongzon(2001)
분석대상국가	이스라엘	전세계	전세계
분석대상	Ashdod and Haifa	전세계 컨테이너항만	전세계 컨테이너항만
표본수	2	25	16
분석모형	공학적 접근모형 투입요소:노동, 건물, 기기, 기타 산출요소:년간화물 처리건수	TEU Throughput Data	DEA모형:CCR과 가법모형 산출요소:Cargo Throughput, Ship Working rate 투입요소:크레인수 , Berth수, Tug수, 터미널수, Delaytime, Labor

연구학자 구분	V. F. Valentine and R. Gray(2002)	K. Cullinane, D. W. Song and R. Gray(2002)	Chul-Hwan Han(2002)
분석대상국가	유럽과 동북아시아	아시아	아시아
분석대상	유럽과 동북아시아 12개 컨테이너항만	아시아 15개 컨테이너항만	아시아 항만 25개
표본수	12	15	28
분석모형	A. 군집분석 1. 조직구조 2. 소유권 B. DEA분석 1. 투입물:컨테이너수, 선석의 총길이, 컨테 이너선석의 총길이 2. 산출물:총화물처리 총톤수	확률프론티어모형 1. 투입물:터미널 안벽 길이, 터미널면적, 화 물처리기기수 2. 산출물: 컨테이너처 리량(TEUs)	콤팩트글래스 로그-선 형모형 생산함수 1. 종속변수:터미널 의 컨테이너 처리량, 선석이용율을 나타 낸 터미널 효율성 2. 독립변수:항만의 지리적 입지, 선사의 직기항 서비스횟수, 각국의 경제활동수 준, 총크레인생산성, 선석면적, 야드처리량

연구학자 구분	전일수 · 김학소 · 김범중(1993)	하동우(1996)	전국경제인 연합회(1997)
분석대상국가	전세계각국	동북아	전세계각국
분석대상	1991년도 처리물동량기준 세계20위 컨테이너항만	동북아 컨테이너 7개항만	-
표본수	20	7	9-13
분석모형	1. 전통적분석방법 (토지이용율, 안벽당 년간 취급량, 크레인 1기당 취급량, 터미널 면적당 연간 취급량, TGS회전율과 슬로트 회전율) 2. 복합효용함수이용 (항만입지, 항만시설, 항만이용물동량구성, 서비스수준, 부두운영 형태)	TEU/선석, TEU/m, TEU/GC	취항실적, 물류비용, 서비스수준, 입지

연구학자 구분	박노경(2002)	강상곤(2001)	오성동·박노경 (2001)
분석대상국가	전 세계 20개 국가	세계 50대 항만	전 세계, 동북아
분석대상	전 세계 20개의 컨테이너항만	세계 50대 컨테이너항만, 터미널	컨테이너항만 28개
표본수	20	항만('97-35, '98-33) 터미널(68)	28
분석모형	1. 투입변수:안벽길이, G/C수, CY면적, CFS 면적 2. 산출요소:총물동량, 항만사용량	1.투입요소:선석총길 이, 터미널총면적, 각 종하역장비 2. 산출요소:양하시 적 · 공컨테이너처리량 적하시 적 · 공컨테이 너처리량	DEA기법 중에서 CCR, BCC기법을 이 용하여 생산효율성 을 분석함으로써 컨 테이너항만의 경쟁 력분석방법을 확장 1. 투입변수:안벽길 이, G/C수, CY면적, CFS면적 2. 산출요소:총물동 량, 항만사용량

연구학자 구분	송재영(2004)	차용우(2005)	이형석(2006)
분석대상국가	세계 53대 국가	국내	국내
분석대상	세계 53개 컨테이너항만	국내 26개 무역항만	국내 해운업체
표본수	53('96 ~ '03)	26	50
분석모형	1. 투입요소:선석길이, 총면적, G/C장비, 야 드장비, 컨테이너야적 장면적, 평균작업시간 2. 산출요소:총컨테이 너처리물량(TEU)	CCR-BCC모형 규모효율성모형 Malmquist 모형 1. 투입요소:접안능력, 하역능력 2. 산출요소:수출물량, 수입물량, 입출항척수	CCR-O모형 BCC-O모형 산출중심 규모효율 성 범주형 DMU분석 DEA/분석 1. 투입변수:종업원 수, 고정자산, 총자 본 2. 산출변수:매출액, 영업이익, 당기순이 익

4.2.2. DEA모형의 전개

일반적으로 효율성이라 함은 다음과 같이 하나의 투입요소와 산출요소를 이용하여 표현할 수 있다.

이러한 표현 식은 각기 다른 다수의 투입요소와 산출요소에 대한 효율성을 설명하기엔 부적합하다. 그러므로 다음과 같은 식으로 상대적인 효율성을 표현할 수 있다.

$$\text{효율성(Efficiency)} = \frac{\text{산출요소의가중치합}}{\text{투입요소의가중치합}} \quad (4.1)$$

즉, 각 평가대상의 효율성은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{평가대상 } j \text{의 효율성} = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_t y_{tj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \quad (4.2)$$

u_r = 산출요소 r 에 주어진 가중치($r=1, 2, \dots, t$)

y_{rj} = 평가대상 j 의 산출요소 r 의 양($j=1, 2, \dots, n$)

v_i = 투입요소 i 에 주어진 가중치($i=1, 2, \dots, m$)

x_{ij} = 평가대상 j 의 투입요소 i 의 양($i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$)

이러한 정의의 초기 가정은 모든 평가대상에 적용되는 가중치가 요구된다는 것이고 이는 평가대상모두에게 적용 가능한 공통의 가중치를 구해야 한다는 문제를 야기한다. 그러나 각각의 요소에 대한 가중치는 조직마다 그 특성에 따라 달라지고 있으므로 하나의 공통된 가중치로는 모든 평가대상의 효율성 측정에 대하여 만족시킬 수 없다는 문제점이 있다.

Charnes, Cooper, and Rhodes(1978)는 이러한 문제점을 인식하고 각각의 DMU가 각기 다른 가중치를 가질 수 있는 선형계획식에 기반을 둔 식(4.3)과 같은 CCR모형을 개발하였다. 식(4.3)를 선형계획모형(Liner Programming)의 형태로 변환하면 식(4.4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Max } h_o = \frac{\sum_{r=1}^t u_r y_{rj_o}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o}} \quad (4.3)$$

subject to

$$\frac{\sum_{r=1}^t u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$$

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

$$Max \ h_o = \sum_{r=1}^t u_r y_{rj_o} \quad (4.4)$$

subject to

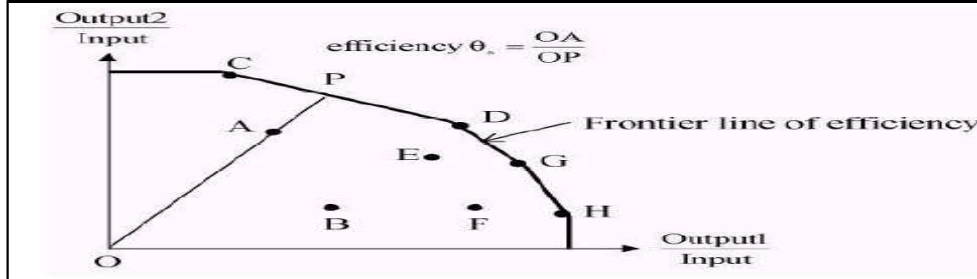
$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} = 1$$

$$\sum_{r=1}^t u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, t$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m$$

DEA모형의 기본 개념은 <그림 2-1>과 같이 투입요소 1개, 산출요소 2개인 경우의 DEA모형으로 설명할 수 있는데, 최적의 활동을 하고 있는 효율적인 DMU들(C,D,G,H)을 이은 선을 Frontier Line이라 하고, 이 선에서 떨어져 있는 DMU들(A,B,E,F)은 비효율적 집단으로 구분할 수 있다. 예로서, 비효율적인 Awl점의 DMU가 효율적이 되기 위해서는 가장 가까운 곳에 이웃한 C, D지점 (이를 참조집합이라 함)을 이용해서 P지점으로 이동하기 위한 Productivity Indices를 구할 수 있다.



<그림 2-1> 투입물1개, 산출물 2개의 DEA모형

이러한 모형의 기본이 된 CCR모형은 각 DMU의 규모수익이 불변이라는 가정 하에 효율성을 평가한다. 그러므로 이모형은 규모의 효율성과 순수한 기술적 효율성을 구분하지 못한다는 단점을 지니고 있다.

이에 Banker, Charnes and Cooper(1984)는 규모의 효율성 정도를 파악할 수 있는 BCC모형의 효율성을 평가함에 있어, 규모의 수익 효과를 파악하고 이를 전반적 효율성에서 분리시켜 규모의 효율성을 제외한 순수한 기술적 효율성에 의해 효율적인 DMU들을 구분할 수 있도록 해준다. 식(4.5)의 BCC모형이 CCR모형 식(4.4)과 차별화 되어지는 이유는 규모의 수익효과를 측정하는 변수 u_o 의 존재 때문이다. BCC모형에서는 식(4.5)에서와 같이 u_o 변수의 값을 이용하여 규모의 수익효과를 측정한다. 즉, u_o 의 최적해를 u_o^* 로 정의할 때 $u_o^* < 0$ 이면 규모의 수익증, $u_o^* = 0$ 이면 규모의 수익불변, $u_o^* > 0$ 이면 규모의 수익체감 효과를 나타낸다.

$$\text{Max } h_o = \sum_{r=1}^t u_r y_{rj_o} - u_o \quad (4.5)$$

subject to

$$\sum_{r=1}^t u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, t,$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m,$$

u_o unrestricted (free) variable

일반적으로 규모의 효과에 의해 CCR효율성은 BCC효율성 값보다 작거나 같다. 따라서 CCR 효율적 프론티어에 투영시켰을 때와 BCC 효율적 프론티어에

투영시켰을 때의 차이는 규모의 효과에 의해 발생하는 것으로 볼 수 있다. Cooper 등(2000)에 의하면 규모효율성은 다음과 같다.

$$\text{규모의 효율성} = \frac{CCR \text{ 효율성}}{BCC \text{ 효율성}} \quad (4.6)$$

CCR 효율성은 BCC 효율성보다 작거나 같기 때문에 규모 효율성은 1보다 작거나 같다. CCR 효율성은 규모의 효과를 고려하지 않기 때문에 기술 효율성(technical efficiency)이라 하는 반면에 BCC 효율성은 규모에 대한 수익가변을 가정하기 때문에 순수 기술 효율성(pure technical efficiency)이라 한다. 이러한 개념을 이용하여 효율성을 분해하면 다음과 같다.

$$\text{기술효율성(TE)} = \text{순수기술효율성(PTE)} \times \text{규모효율성(SE)} \quad (4.7)$$

이러한 분해는 비효율성의 원인이 비효율적인 운영에 의한 것인지 규모로 인한 불리한 상황에 의한 것인지 혹은 둘 다에 의한 것인지를 보여준다.

DEA모형은 연구목적에 따라 다양한 형태로 표현되고 있지만, 위에서 언급한 CCR, BCC모형이 가장 기본적인 모형으로 사용되어지고 있다.

제 5장 DEA모형의 적용결과

5.1. DEA분석을 위한 주요 동북아시아 항만의 기초자료

여기서는 동북아시아항만의 효율성 분석을 위해서 우선 효율성분석에 사용된 투입변수와 산출변수에 대한 기초통계를 제시하였다. 그 후 CCR모형과 BCC모형을 사용하여 평가대상이 된 항만의 효율성분석을 실시한다.

5.1.1. 투입변수와 산출변수의 선정

일반적으로 생산체계는 투입요소들이 기술과 결합되어 질적인 전환과정을 거친 다음 산출량을 생산해낸다. 이런 일반 생산체계를 구체적인 기업이나 공공사업에 적용할 때 어떤 부분을 투입요소로 하고 어떤 부분을 산출량으로 결정할 것인가는 생산성이나 효율성분석에서 중요하다. 보통 일반기업을 대상으로 생산성과 효율성을 분석할 때는 투입요소로 노동과 자본(토지포함)으로 하고 산출물은 재화와 서비스로 한다. 그러나 항만과 같은 사회간접자본형태를 갖는 대규모 공공사업은 투입요소와 산출물의 구체적인 형태가 모호해진다. 그래서 항만의 효율성을 측정할 때 투입요소와 산출물을 결정하는데 상당한 어려움을 갖게 된다. Dowd & Leschine(1990)는 투입요소를 포괄적으로 노동, 장비, 토지로 범주화하고 컨테이너 터미널의 생산성은 이들 투입요소의 효율적인 이용에 달려 있으므로 이 세가지 요소의 효율적 이용을 계량화함으로써 측정할 수 있다고 하였다¹²⁾.

이런 투입요소와 산출물 결정에 대한 모호성은 연구자에 따라 다양하게 투입요소와 산출물을 결정하였다. <표 5-1>는 기존연구자들이 항만의 효율성 분석할 때 취한 투입요소와 산출물을 정리한 것이다.

12) 생산성이나 효율성과 또 다른 개념인 경쟁력이 있다. 일반적으로는 컨테이너 터미널의 경쟁력의 결정요인은 컨테이너 터미널의 경쟁력을 결정하는 요인으로 항만시설 및 장비의 보유현황, 컨테이너부두의 생산성, 가격경쟁력 및 서비스측면 등을 주요요인으로 제시하고 있다.

<표 5-1> 항만효율성 분석의 투입·산출변수에 대한 기존연구

연구자	연구방법	변수		평가대상
		투입요소	산출요소	
Hayuth & Roll (1993)	DEA분석방법	-노동비 -자본비 -화물특성	-총물동량 -서비스수준 -이용자만족도 -선박기항수	이스라엘의 20개 항만
Martinez-Budria et al(1999)	DEA분석방법	-노동비 -감가상각비 -기타비용	-총물동량 -임대수익	스페인 26개 터미널
Notteboom et al (2000)	Baysian Stochastic Frontier Model	-안벽길이 -터미널면적 -G/C의수	-컨테이너 처리량(TEU)	유럽항만의 26개 터미널
송재영 (2000)	DEA/AHP	-CY면적 -하역장비수 -전산화 -야드계획	-컨테이너 처리량 -선적점유율	국내 8개 터미널
Tongzon, J. (2001)	DEA	-선적수 -크레인수 -예인선 수 -CY면적 -대기시간 -인원 수	-컨테이너 처리량 -선박작업률	세계주요 16개 항만
강상곤 (2001)	DEA	-선적총길이 -터미널총면적 -각종하역장비	-양하시 적·공 컨테이너처리량 -적하시 적·공 컨테이너처리량	세계 50대 항만
Cullinane K. et al (2002)	Stochastic Frontier Mode	-안벽길이 -터미널면적 -하역장비 수	-컨테이너 처리량	아시아지역항만 및 터미널 15개
김운수 (2004)	Stochastic Frontier Mode	-터미널 총면적 -안벽길이 -G/C의 수 -T/C의 수 -매출규모 -Dummy변수 ¹³⁾	-컨테이너 처리량	전세계 주요 32개 터미널
송재영 (2004)	DEA	-선적길이 -총면적 -G/C 수 -야드장비 -CFS면적 -평균작업시간	-컨테이너 처리량	세계 60위 항구 중 자료가능한 53개 항구

자료: 송재영(2004) 박사학위논문(p.44) 참조하여 수정 및 첨가함

산출요소는 컨테이너 처리량(TEU)을 거의 모든 연구에서 선정하였으며, 그 외 서비스 수준(Hayuth and Roll, 1993), 임대료에 따른 수익(Martinez-Budria et al., 1999), 선석점유율(송재영, 2002) 등을 선정하였다. 그러나 투입요소에 대해서는 상당히 다양하게 사용되고 있다. 즉 선석수, 크레인수, CY면적, 부두면적, 안벽길이, 노동인력, 대기시간 등 컨테이너처리에 직간접적으로 영향을 미칠 수 있는 요소들은 투입요소로 간주하고 있다. 투입요소를 정할 때 다수의 항만을 대상으로 공통적으로 자료를 수집할 수 있는 변수들이어야 한다는 제약이 있다. 그래서 본 논문은 기존연구에서 많이 사용되고 있고 항만에서 가장 중요한 선석수, 선석길이, 수심, 부두면적, C/C수를 투입요소로 정하여 Containerization International Year Book(CI 연감: 2004~2006)으로부터 22개 항만 자료를 수집하였다. C/C장비는 각 항만에서 상이한 종류의 Crane을 사용하고 있으므로, 아래와 같이 여러 종류의 Cran을 통합하여 사용하였다.

DEA분석에 사용된 변수 및 변수의 정의

● Input Data

- X1 : Berth - 선석수
- X2 : Berth Length(m) - 선석길이
- X3 : Depth(m) - 수심
- X4 : Total Area - 부두 총면적
- X5 : Container Gantries, Quay Cranes,
Mobile Cranes, Floating Cranes - C/C 대수

● Output Data

- Y1 : 총 처리물동량(TEU)

5.1.2. 평가대상의 선정

DEA모형을 이용한 효율성 평가는 다수의 투입, 산출변수를 모두 사용하여 객관적으로 상대적 효율성을 구할 수 있다. 본 연구에서는 처리물동량을 기준으로 세계 100위(2005년 기준)안의 동북아시아 항만을 평가대상으로 선정하였으며,

13) 더미변수는 물동량수준 및 글로벌운업업체가 터미널 운영여부로 사용하였다.

이 중 data를 구할 수 없는 2개의 항만을 제외하고 <표 5-3>와 같이 총 22개의 항만이 분석에 사용되었다.

Banker 등(1996)에 따르면 DEA 분석시 적절한 DMU의 수는 식(5.1)과 같다. 여기서 m은 투입물의 수, s는 산출물의 수, n은 분석할 DMU의 수를 의미한다.

$$n \geq \max\{m \times s, 3(m + s)\} \quad (5.1)$$

따라서 분석에 사용될 DMU의 수가 18개(3(m+s))이상이므로 평가에 사용되는 DMU수와 변수의 수는 적절하다.

분석에 사용된 자료는 2차 자료, 각 항만의 홍보자료 및 인터넷 사이트를 통해 수집되었으며, 2차 자료 중 주로 Containerization International Year Book(2004~2006)을 이용하여 3개년 동안의 자료를 수집하였다.

<표 5-3>와, <표 5-4>, <표 5-5>은 2003년, 2004년, 2005년 각 항만의 투입 요소와 산출요소에 대한 기본 자료를 순서대로 정리한 것이다.

<표 5-2> 분석에 사용된 동북아시아항만

DMU	항만	처리물량 순위(2005)	국가
DMU1	홍콩	2	중국
DMU2	상하이	3	중국
DMU3	선전	4	중국
DMU4	부산	5	한국
DMU5	카오슝	6	대만
DMU6	칭다오	13	중국
DMU7	닝보	15	중국
DMU8	톈진	16	중국
DMU9	광저우	18	중국
DMU10	도쿄	21	일본
DMU11	샤이먼	23	중국
DMU12	요코하마	28	일본
DMU13	다롄	31	중국
DMU14	나고야	35	일본
DMU15	고베	40	일본
DMU16	오사카	43	일본
DMU17	기룽	44	대만
DMU18	광양	65	한국
DMU19	타이중	67	대만
DMU20	인천	74	한국
DMU21	레윈강	84	중국
DMU22	푸저우	90	중국

자료 : 한국컨테이너부두공단, 통계자료실

<표 5-3> 2003년도 투입·산출 자료

DMU	항만	총처리물동량 (TEU)	선석수	선석길이 (m)	수심 (m)	부두 총면적 (㎡)	C/C 장비
DMU1	홍콩	20,449,000	22	7,259	14.28	2,494,500	89
DMU2	상하이	11,280,000	10	2,281	10.77	824,926	20
DMU3	선전	10,614,900	15	4,270	14.46	1,823,000	31
DMU4	부산	10,407,809	20	5,973	13.72	2,922,839	52
DMU5	카오슝	8,840,000	19	5,122	12.89	1,421,374	25
DMU6	칭다오	4,239,000	8	3,367	13.48	1,136,000	22
DMU7	닝보	2,772,000	4	2,138	13.87	757,000	16
DMU8	톈진	3,015,000	8	2,450	13.95	1,004,400	15
DMU9	광저우	2,761,700	6	1,299	12	225,000	13
DMU10	도쿄	3,313,647	11	3,434	13.36	893,701	32
DMU11	사이먼	2,331,000	3	1,110	12.56	715,000	15
DMU12	요코하마	2,504,628	22	5,440	13.52	1,733,601	40
DMU13	다롄	1,670,000	13	2,669	13.69	1,504,000	26
DMU14	나고야	2,073,995	5	1,635	12.8	648,240	25
DMU15	고베	2,045,714	32	9,105	12.51	2,079,591	52
DMU16	오사카	1,609,631	14	4,085	12.35	1,128,767	24
DMU17	기륭	2,000,707	14	3,192	12	339,000	25
DMU18	광양	1,184,842	2	700	15	420,000	4
DMU19	타이중	1,246,027	6	1,800	14	935,269	13
DMU20	인천	821,071	5	1,160	12.2	370,000	7
DMU21	레윈강	300,000	2	540	11	162,000	5
DMU22	푸저우	590,000	6	1,050	10.35	388,000	7
최대값		20,449,000	32	9,105	15	2,922,839	89
최소값		300,000	2	540	10.35	162,000	4
평균값		4,366,848.68	11.23	3185.41	12.94	1,087,554.9	25.36
표준편차		4824243.4	7.70	2206.08	1.20	731364.2	19.02

<표 5-4> 2004년도 투입·산출 자료

DMU	항만	총처리물동량 (TEU)	선석수	선석길이 (m)	수심 (m)	부두 총면적 (㎡)	C/C 장비
DMU1	홍콩	21,984,000	22	7,259	14.28	2,503,100	89
DMU2	상하이	14,557,200	19	5,096	12.13	4,009,926	51
DMU3	선전	13,650,000	15	4,270	14.46	1,823,000	31
DMU4	부산	11,430,000	20	5,973	13.91	2,923,069	52
DMU5	카오슝	9,710,000	20	6,027	13.56	1,421,374	21
DMU6	칭다오	5,139,700	13	5,100	15.23	1,136,000	43
DMU7	닝보	4,005,500	4	2,138	13.87	757,000	16
DMU8	톈진	3,814,000	8	2,450	13.95	1,004,400	15
DMU9	광저우	3,308,200	6	1,299	12	225,000	13
DMU10	도쿄	3,358,096	13	3,686	13.18	893,701	32
DMU11	샤이먼	2,871,700	3	1,110	12.56	715,000	15
DMU12	요코하마	2,717,631	22	5,830	13.18	1,733,601	42
DMU13	다롄	2,211,200	13	2,699	13.69	1,504,000	26
DMU14	나고야	2,155,420	5	1,635	12.8	684,240	26
DMU15	고베	2,176,830	34	9,595	12.48	1,952,132	52
DMU16	오사카	2,009,150	14	4,085	12.35	1,128,767	24
DMU17	기륭	2,070,192	14	3,192	12	339,000	25
DMU18	광양	1,320,000	12	3,700	15	1,373,503	15
DMU19	타이중	1,245,185	6	1,800	14	935,269	14
DMU20	인천	934,941	5	2,035	11.9	500,000	10
DMU21	례원강	502,300	2	540	10.2	162,000	6
DMU22	푸저우	707,900	6	1,050	10.25	671,000	7
최대값		21,984,000	34	9,595	15.23	4,009,926	89
최소값		502,3000	2	540	10.2	162,000	6
평균		5,085,415.7	12.55	3,662.23	13.04	1,290,685.5	27.95
표준편차		5476747.64	7.81	2259.09	1.30	910542.48	19.36

<표 5-5> 2005년도 투입·산출 자료

DMU	항만	총처리물동량 (TEU)	선석수	선석길이 (m)	수심 (m)	부두 총면적 (㎡)	C/C 장비
DMU1	홍콩	22,602,000	24	7,999	14.38	2,788,500	97
DMU2	상하이	18,084,000	23	5,706	12.71	4,342,858	63
DMU3	선전	16,197,000	15	4,270	14.46	1,823,000	31
DMU4	부산	11,840,445	23	7,023	14.18	3,733,069	61
DMU5	카오슝	9,471,056	22	6,711	13.83	1,421,374	21
DMU6	칭다오	6,307,000	13	5,100	15.23	1,136,000	43
DMU7	닝보	5,208,000	4	2,138	13.87	757,000	16
DMU8	톈진	4,801,000	8	2,450	14.2	1,004,400	15
DMU9	광저우	4,683,000	7	2,699	12.35	2,045,000	32
DMU10	도쿄	3,759,000	14	4,016	13	1,020,901	27
DMU11	샤이먼	3,342,300	1	640	13.3	480,000	11
DMU12	요코하마	2,873,288	22	5,830	13.18	2,106,256	42
DMU13	다롄	2,690,000	9	1,759	13	1,504,000	26
DMU14	나고야	2,491,194	5	1,635	12.8	684,240	26
DMU15	고베	2,262,066	34	9,595	12.48	1,952,132	52
DMU16	오사카	2,272,525	15	4,435	12.6	1,303,767	26
DMU17	기륭	2,094,277	14	3,192	12	339,000	25
DMU18	광양	1,438,657	12	3,700	15	1,373,503	15
DMU19	타이중	1,228,915	6	1,800	14	935,269	14
DMU20	인천	1,149,000	5	2,305	11.9	500,000	10
DMU21	레윈강	1,007,590	2	540	10.2	162,000	6
DMU22	푸저우	803,000	6	1,050	10.25	671,000	7
최대값		22,602,000	34	9,595	15.23	4,342,858	97
최소값		803,000	1	540	10.2	162,000	6
평균		5,754,787	12.91	3,845.14	13.13	1,458,330.4	30.27
표준편차		5960639.12	8.48	2426.98	1.29	1038670.34	21.61

5.2. DEA분석결과

동북아시아 항만의 효율성 분석을 위해 DEA-SOLVER를 이용하여 분석하였다. DEA모형은 투입요소에 초점을 두는가 산출요소에 초점을 두는가에 따라 투입지향형과 산출지향형이 으로 나뉠 수 있다. 여기서는 현재의 산출물수준을 유지하면서 투입량을 가능한 한 감소시켜 나가는 투입지향형보다는 평가대상이 동북아시아항만이므로 산출물 수준을 극대화하는 것에 초점을 맞추는 산출지향형을 이용하여 DEA-BCC(산출지향)모형과 DEA-CCR(산출지향)모형의 결과를 분석해보고자 한다.

5.2.1. DEA-CCR모형에 의한 분석결과

동북아시아 항만의 효율성 순위와 값, 그리고 참조집합을 보면 <표 5-7>과 같다. 이 표에서 효율성 수치가 1.0이라는 의미는 상대적으로 다른 항만과 비교하여 효율적인 항만들을 의미하며, 비효율적인 DMU는 참조집합이 존재한다. 2003년 부산항을 경우 참조집합인 홍콩항, 상하이항은 비효율적인 부산항에 대한 투입요소와 산출요소의 비교근거가 되는 참조항만인 것이다. 즉 홍콩항과 상하이항의 투입물과 산출물을 각 선형결합을 하여 가상의 DMU를 만들었을 때 그 가상의 DMU에 대하여 상대적 효율성값이 0.62317624로 평가된다는 의미이다. 참조집합은 효율성에 있어 유사한 국면에 있게 되므로 참조집합을 벤치마킹의 참고자료로 이용할 수 있으며, 참조집합의 값이 높을수록 평가에 있어 그 항만을 더욱 참조했다는 의미가 되어 효율성에서 그 항만과 유사성이 높다고 볼 수 있다. 따라서 부산항의 경우 상하이항과 유사성이 높다고 할 수 있겠다.

<표 5-7>의 분석결과에서 2003년에 효율적으로 측정된 항만은 홍콩항과 상하이항이고, 2004년에는 홍콩, 선전, 카오슝, 닝보, 광저우, 샤이먼, 2005년에는 홍콩, 상하이, 선전, 샤이먼 인 것으로 나타났다. 각 년도의 효율성지수 평균은 2003년 0.45, 2004년 0.55, 2005년 0.55로서 2003년에 효율성지수 평균이 낮은 것으로 나타났다. 부산항의 경우 2003년에는 효율성지수 0.62317624로 나타났으며, 2004년에는 0.69860394로 증가하다가 2005년에는 0.61942973으로 감소하였다.

DEA분석방법은 효율적, 비효율적인 DMU를 구분함과 아울러 어느 변수에서 비효율성이 발생하는지에 대한 정보를 주는 장점을 지니고 있다. 항만이 비효율적이라면 각자가 개선시켜야 하는 값이 있다. 각 항만이 효율적인 프론티어에 투자를 했을 때 투자값을 안다면 각 항만이 개선시킬 수 있는 여지를 알게 되

기 때문에 효율성을 개선하는데 용이할 것이다. <표 5-8><표 5-9><표 5-10>은 DEA-CCR(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 2003년도, 2004년도, 2005년도 분석결과이다.

부산항을 살펴보면 2003년도 CCR(산출지향)모형에서 보면 효율성 개선을 위해 선석수, 선석길이, 부두면적을 3.5506219, 1269.7398, 1277389.1만큼 줄이고 산출물인 총처리물동량을 6293419.9만큼 개선시켜야 효율적인 프론티어에 도달한다고 해석된다. 그리고 2004년도 CCR(산출지향)모형에서는 선석수, 선석길이, 부두면적을 2.8405112, 709.78726, 902437.81만큼 줄이고 산출물인 총처리물동량을 4931201.7만큼 개선시켜야 하며, 2005년도 CCR(산출지향)모형에서는 선석수, 선석길이를 0.7768767, 1150.7735만큼 줄이고 산출물인 처리물동량을 7274628.8만큼 개선시켜야 효율적인 프론티어에 도달한다고 해석된다.



<표 5-6> CCR모형에 의한 동북아시아 항만들의 효율성 측정결과

DMU		2003년		2004년		2005년	
		효율성	참조집단	효율성	참조집단	효율성	참조집단
1	홍콩	1	홍콩(1.000)	1	홍콩(1.000)	1	홍콩(1.000)
2	상하이	1	상하이(1.000)	0.96462354	홍콩(0.43) 선전(0.42)	1	상하이(1.000)
3	선전	0.68441922	홍콩(0.067) 상하이(1.25)	1	선전(1.000)	1	선전(1.000)
4	부산	0.62317624	홍콩(0.42) 상하이(0.71)	0.69860394	홍콩(0.38) 선전(0.59)	0.61942973	홍콩(0.10) 상하이(0.68) 선전(0.29)
5	카오슝	0.65029404	홍콩(0.02) 상하이(1.17)	1	카오슝(1.000)	0.86318964	선전(0.68)
6	칭다오	0.46974734	상하이(0.8)	0.47131657	홍콩(0.36) 선전(0.04) 광저우(0.76)	0.62487994	선전(0.62)
7	닝보	0.6143617	상하이(0.4)	1	닝보(1.000)	0.86385302	선전(0.22) 샤이먼(0.76)
8	톈진	0.35638298	상하이(0.75)	0.57441744	선전(0.43) 카오슝(0.07)	0.61258669	선전(0.48)
9	광저우	0.8976352	상하이(0.27)	1	광저우(1.000)	0.54542011	선전(0.44) 샤이먼(0.45)
10	도쿄	0.27115642	상하이(1.08)	0.39188532	홍콩(0.22) 선전(0.10) 광저우(0.72)	0.41442007	선전(0.56)
11	샤이먼	0.68882979	상하이(0.3)	0.95753562	홍콩(0.11) 닝보(0.15)	1	샤이먼(1.000)
12	요코하마	0.16190763	홍콩(0.24) 상하이(0.94)	0.19501317	홍콩(0.26) 선전(0.59) 광저우(0.08)	0.17792158	홍콩(0.15) 상하이(0.11) 선전(0.67)
13	다롄	0.12652725	상하이(1.17)	0.25628333	선전(0.63)	0.37098737	선전(0.32) 샤이먼(0.63)
14	나고야	0.36772961	상하이(0.5)	0.43392681	홍콩(0.21) 선전(0.02)	0.42350675	선전(0.32) 샤이먼(0.21)
15	고베	0.13087156	홍콩(0.46) 상하이(0.55)	0.14082382	홍콩(0.43) 선전(0.44)	0.13744571	홍콩(0.38) 상하이(0.0029) 선전(0.48)
16	오사카	0.12354669	홍콩(0.02) 상하이(1.12)	0.22000105	홍콩(0.03) 선전(0.53) 광저우(0.35)	0.19618273	선전(0.72)
17	기륭	0.4316082	상하이(0.41)	0.48957071	홍콩(0.05) 광저우(0.94)	0.69532287	선전(0.19)
18	광양	0.52519592	상하이(0.2)	0.19331883	선전(0.16) 카오슝(0.48)	0.18356637	선전(0.48)
19	타이중	0.18410564	상하이(0.6)	0.22503469	홍콩(0.02) 선전(0.35) 닝보(0.07)	0.17851696	선전(0.39) 샤이먼(0.18)
20	인천	0.20797138	상하이(0.35)	0.23321967	선전(0.25) 광저우(0.16)	0.25864382	선전(0.27)
21	레윈강	0.13542914	상하이(0.20)	0.32109436	홍콩(0.04) 선전(0.01) 광저우(0.13)	0.70003688	선전(0.09)
22	푸저우	0.14944276	상하이(0.35)	0.22872825	선전(0.21) 카오슝(0.03)	0.21955565	선전(0.23)
평균		0.45		0.55		0.55	

<표 5-7> 2003년 CCR(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투자

DMU	투입/산출	효율성값	투자값	차이	%
1 홍콩	선석수	22	22	0	0.00%
	선석길이	7259	7259	0	0.00%
	수심	14.28	14.28	0	0.00%
	부두면적	2494500	2494500	0	0.00%
	C/C장비	89	89	0	0.00%
	산출	20449000	20449000	0	0.00%
2 상하이	선석수	10	10	0	0.00%
	선석길이	2281	2281	0	0.00%
	수심	10.77	10.77	0	0.00%
	부두면적	824926	824926	0	0.00%
	C/C장비	20	20	0	0.00%
	산출	11280000	11280000	0	0.00%
3 선전	선석수	15	14.0064197	-0.99358031	-6.62%
	선석길이	4270	3343.61165	-926.388346	-21.70%
	수심	14.46	14.46	0	0.00%
	부두면적	1823000	1200542.91	-622457.091	-34.14%
	C/C장비	31	31	0	0.00%
	산출	10614900	15509354.1	4894454.06	46.11%
4 부산	선석수	20	16.4493781	-3.55062191	-17.75%
	선석길이	5973	4703.26019	-1269.73981	-21.26%
	수심	13.72	13.72	0	0.00%
	부두면적	2922839	1645449.85	-1277389.15	-43.70%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	10407809	16701228.9	6293419.89	60.47%
5 카오슝	선석수	19	12.1171593	-6.88284071	-36.23%
	선석길이	5122	2802.05157	-2319.94843	-45.29%
	수심	12.89	12.89	0	0.00%
	부두면적	1421374	1011140.53	-410233.466	-28.86%
	C/C장비	25	25	0	0.00%
	산출	8840000	13593850.5	4753850.55	53.78%
6 청다오	선석수	8	8	0	0.00%
	선석길이	3367	1824.8	-1542.2	-45.80%
	수심	13.48	8.616	-4.864	-36.08%
	부두면적	1136000	659940.8	-476059.2	-41.91%
	C/C장비	22	16	-6	-27.27%
	산출	4239000	9024000	4785000	112.88%
7 닝보	선석수	4	4	0	0.00%
	선석길이	2138	912.4	-1225.6	-57.32%
	수심	13.87	4.308	-9.562	-68.94%
	부두면적	757000	329970.4	-427029.6	-56.41%
	C/C장비	16	8	-8	-50.00%
	산출	2772000	4512000	1740000	62.77%
8 톈진	선석수	8	7.5	-0.5	-6.25%
	선석길이	2450	1710.75	-739.25	-30.17%
	수심	13.95	8.0775	-5.8725	-42.10%
	부두면적	1004400	618694.5	-385705.5	-38.40%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	3015000	8460000	5445000	180.60%

9 광저우	선석수	6	2.72751738	-3.27248262	-54.54%
	선석길이	1299	622.146714	-676.853286	-52.11%
	수심	12	2.93753622	-9.06246378	-75.52%
	부두면적	225000	225000	0	0.00%
	C/C장비	13	5.45503475	-7.54496525	-58.04%
	산출	2761700	3076639.6	314939.602	11.40%
10 도쿄	선석수	11	10.8337111	-0.16628886	-1.51%
	선석길이	3434	2471.16951	-962.830488	-28.04%
	수심	13.36	11.6679069	-1.6920931	-12.67%
	부두면적	893701	893701	0	0.00%
	C/C장비	32	21.6674223	-10.3325777	-32.29%
	산출	3313647	12220426.2	8906779.17	268.79%
11 사이먼	선석수	3	3	0	0.00%
	선석길이	1110	684.3	-425.7	-38.35%
	수심	12.56	3.231	-9.329	-74.28%
	부두면적	715000	247477.8	-467522.2	-65.39%
	C/C장비	15	6	-9	-60.00%
	산출	2331000	3384000	1053000	45.17%
12 요코하마	선석수	22	14.6368865	-7.36311355	-33.47%
	선석길이	5440	3872.79224	-1567.20776	-28.81%
	수심	13.52	13.52	0	0.00%
	부두면적	1733601	1369439.65	-364161.346	-21.01%
	C/C장비	40	40	0	0.00%
	산출	2504628	15469487.2	12964859.2	517.64%
13 다렌	선석수	13	11.7010083	-1.29899167	-9.99%
	선석길이	2669	2669	0	0.00%
	수심	13.69	12.601986	-1.08801403	-7.95%
	부두면적	1504000	965246.6	-538753.4	-35.82%
	C/C장비	26	23.4020167	-2.59798334	-9.99%
	산출	1670000	13198737.4	11528737.4	690.34%
14 나고야	선석수	5	5	0	0.00%
	선석길이	1635	1140.5	-494.5	-30.24%
	수심	12.8	5.385	-7.415	-57.93%
	부두면적	648240	412463	-235777	-36.37%
	C/C장비	25	10	-15	-60.00%
	산출	2073995	5640000	3566005	171.94%
15 고베	선석수	32	15.64023	-16.35977	-51.12%
	선석길이	9105	4599.27747	-4505.72253	-49.49%
	수심	12.51	12.51	0	0.00%
	부두면적	2079591	1603143.25	-476447.748	-22.91%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	2045714	15631463.2	13585749.2	664.11%
16 오사카	선석수	14	11.6161562	-2.38384379	-17.03%
	선석길이	4085	2687.87266	-1397.12734	-34.20%
	수심	12.35	12.35	0	0.00%
	부두면적	1128767	969841.788	-158925.212	-14.08%
	C/C장비	24	24	0	0.00%
	산출	1609631	13028524.4	11418893.4	709.41%

17 기룡	선석수	14	4.10945952	-9.89054048	-70.65%
	선석길이	3192	937.367715	-2254.63228	-70.63%
	수심	12	4.4258879	-7.5741121	-63.12%
	부두면적	339000	339000	0	0.00%
	C/C장비	25	8.21891903	-16.781081	-67.12%
	산출	2000707	4635470.33	2634763.33	131.69%
18 광양	선석수	2	2	0	0.00%
	선석길이	700	456.2	-243.8	-34.83%
	수심	15	2.154	-12.846	-85.64%
	부두면적	420000	164985.2	-255014.8	-60.72%
	C/C장비	4	4	0	0.00%
	산출	1184842	2256000	1071158	90.41%
19 타이중	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1800	1368.6	-431.4	-23.97%
	수심	14	6.462	-7.538	-53.84%
	부두면적	935269	494955.6	-440313.4	-47.08%
	C/C장비	13	12	-1	-7.69%
	산출	1246027	6768000	5521973	443.17%
20 인천	선석수	5	3.5	-1.5	-30.00%
	선석길이	1160	798.35	-361.65	-31.18%
	수심	12.2	3.7695	-8.4305	-69.10%
	부두면적	370000	288724.1	-81275.9	-21.97%
	C/C장비	7	7	0	0.00%
	산출	821071	3948000	3126929	380.84%
21 레원강	선석수	2	1.96381251	-0.03618749	-1.81%
	선석길이	540	447.945634	-92.0543661	-17.05%
	수심	11	2.11502608	-8.88497392	-80.77%
	부두면적	162000	162000	0	0.00%
	C/C장비	5	3.92762502	-1.07237498	-21.45%
	산출	300000	2215180.51	1915180.51	638.39%
22 푸저우	선석수	6	3.5	-2.5	-41.67%
	선석길이	1050	798.35	-251.65	-23.97%
	수심	10.35	3.7695	-6.5805	-63.58%
	부두면적	388000	288724.1	-99275.9	-25.59%
	C/C장비	7	7	0	0.00%
	산출	590000	3948000	3358000	569.15%

<표 5-8> 2004년 CCR(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투사

DMU	투입/산출	효율성 값	투사 값	차이	%
1 홍콩	선석수	22	22	0	0.00%
	선석길이	7259	7259	0	0.00%
	수심	14.28	14.28	0	0.00%
	부두면적	2503100	2503100	0	0.00%
	C/C장비	89	89	0	0.00%
	산출	21984000	21984000	0	0.00%
2 상하이	선석수	19	15.6596428	-3.34035724	-17.58%
	선석길이	5096	4884.31131	-211.688686	-4.15%
	수심	12.13	12.13	0	0.00%
	부두면적	4009926	1830119.99	-2179806.01	-54.36%
	C/C장비	51	51	0	0.00%
	산출	14557200	15091068.7	533868.652	3.67%
3 선전	선석수	15	15	0	0.00%
	선석길이	4270	4270	0	0.00%
	수심	14.46	14.46	0	0.00%
	부두면적	1823000	1823000	0	0.00%
	C/C장비	31	31	0	0.00%
	산출	13650000	13650000	0	0.00%
4 부산	선석수	20	17.1594888	-2.84051122	-14.20%
	선석길이	5973	5263.21274	-709.787257	-11.88%
	수심	13.91	13.91	0	0.00%
	부두면적	2923069	2020631.19	-902437.807	-30.87%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	11430000	16361201.7	4931201.69	43.14%
5 카오슝	선석수	20	20	0	0.00%
	선석길이	6027	6027	0	0.00%
	수심	13.56	13.56	0	0.00%
	부두면적	1421374	1421374	0	0.00%
	C/C장비	21	21	0	0.00%
	산출	9710000	9710000	0	0.00%
6 칭다오	선석수	13	13	0	0.00%
	선석길이	5100	3749.22475	-1350.77525	-26.49%
	수심	15.23	14.7523325	-0.47766752	-3.14%
	부두면적	1136000	1136000	0	0.00%
	C/C장비	43	43	0	0.00%
	산출	5139700	10904984.7	5765284.67	112.17%
7 닝보	선석수	4	4	0	0.00%
	선석길이	2138	2138	0	0.00%
	수심	13.87	13.87	0	0.00%
	부두면적	757000	757000	0	0.00%
	C/C장비	16	16	0	0.00%
	산출	4005500	4005500	0	0.00%
8 톈진	선석수	8	8	0	0.00%
	선석길이	2450	2302.49508	-147.504918	-6.02%
	수심	13.95	7.28065574	-6.66934426	-47.81%
	부두면적	1004400	896156.072	-108243.928	-10.78%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	3814000	6639770.49	2825770.49	74.09%

9 광저우	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1299	1299	0	0.00%
	수심	12	12	0	0.00%
	부두면적	225000	225000	0	0.00%
	C/C장비	13	13	0	0.00%
	산출	3308200	3308200	0	0.00%
10 도쿄	선석수	13	10.6353533	-2.36464668	-18.19%
	선석길이	3686	2953.97444	-732.02556	-19.86%
	수심	13.18	13.18	0	0.00%
	부두면적	893701	893701	0	0.00%
	C/C장비	32	32	0	0.00%
	산출	3358096	8569078.39	5210982.39	155.18%
11 사이먼	선석수	3	3	0	0.00%
	선석길이	1110	1110	0	0.00%
	수심	12.56	3.60261833	-8.95738167	-71.32%
	부두면적	715000	385659.467	-329340.533	-46.06%
	C/C장비	15	12.1096667	-2.89033333	-19.27%
	산출	2871700	2999052.92	127352.917	4.43%
12 요코하마	선석수	22	14.961852	-7.03814801	-31.99%
	선석길이	5830	4477.87718	-1352.12282	-23.19%
	수심	13.18	13.18	0	0.00%
	부두면적	1733601	1733601	0	0.00%
	C/C장비	42	42	0	0.00%
	산출	2717631	13935628.3	11217997.3	412.79%
13 다렌	선석수	13	9.48126464	-3.51873536	-27.07%
	선석길이	2699	2699	0	0.00%
	수심	13.69	9.13993911	-4.55006089	-33.24%
	부두면적	1504000	1152289.7	-351710.304	-23.38%
	C/C장비	26	19.5946136	-6.40538642	-24.64%
	산출	2211200	8627950.82	6416750.82	290.19%
14 나고야	선석수	5	5	0	0.00%
	선석길이	1635	1635	0	0.00%
	수심	12.8	3.34817665	-9.45182335	-73.84%
	부두면적	684240	571416.36	-112823.64	-16.49%
	C/C장비	26	19.5817999	-6.41820007	-24.69%
	산출	2155420	4967243.23	2811823.23	130.45%
15 고베	선석수	34	16.0534433	-17.9465567	-52.78%
	선석길이	9595	5000.67344	-4594.32656	-47.88%
	수심	12.48	12.48	0	0.00%
	부두면적	1952132	1877250.26	-74881.7406	-3.84%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	2176830	15457825	13280995	610.11%
16 오사카	선석수	14	10.7923048	-3.2076952	-22.91%
	선석길이	4085	2962.59205	-1122.40795	-27.48%
	수심	12.35	12.35	0	0.00%
	부두면적	1128767	1128767	0	0.00%
	C/C장비	24	24	0	0.00%
	산출	2009150	9132456.59	7123306.59	354.54%

17 기룡	선석수	14	6.75784105	-7.24215895	-51.73%
	선석길이	3192	1590.36541	-1601.63459	-50.18%
	수심	12	12	0	0.00%
	부두면적	339000	339000	0	0.00%
	C/C장비	25	16.7499363	-8.25006375	-33.00%
	산출	2070192	4228586.33	2158394.33	104.26%
18 광양	선석수	12	12	0	0.00%
	선석길이	3700	3576.81639	-123.183607	-3.33%
	수심	15	8.81114754	-6.18885246	-41.26%
	부두면적	1373503	971954.026	-401548.974	-29.24%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	1320000	6828098.36	5508098.36	417.28%
19 타이중	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1800	1800	0	0.00%
	수심	14	6.2866551	-7.7133449	-55.10%
	부두면적	935269	743211.716	-192057.284	-20.53%
	C/C장비	14	14	0	0.00%
	산출	1245185	5533302.5	4288117.5	344.38%
20 인천	선석수	5	4.79131787	-0.20868213	-4.17%
	선석길이	2035	1297.16396	-737.836044	-36.26%
	수심	11.9	5.63352069	-6.26647931	-52.66%
	부두면적	500000	500000	0	0.00%
	C/C장비	10	10	0	0.00%
	산출	934941	4008842.74	3073901.74	328.78%
21 레원강	선석수	2	1.92251152	-0.07748848	-3.87%
	선석길이	540	540	0	0.00%
	수심	10.2	2.33193385	-7.86806615	-77.14%
	부두면적	162000	162000	0	0.00%
	C/C장비	6	6	0	0.00%
	산출	502300	1564337.64	1062037.64	211.43%
22 푸저우	선석수	6	3.65643686	-2.34356314	-39.06%
	선석길이	1050	1050	0	0.00%
	수심	10.25	3.36821699	-6.88178301	-67.14%
	부두면적	671000	416749.018	-254250.982	-37.89%
	C/C장비	7	7	0	0.00%
	산출	707900	3094939.13	2387039.13	337.20%

<표 5-9> 2005년 CCR(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투자

DMU	투입/산출	효율성 값	투자 값	차이	%
1 홍콩	선석수	24	24	0	0.00%
	선석길이	7999	7999	0	0.00%
	수심	14.38	14.38	0	0.00%
	부두면적	2788500	2788500	0	0.00%
	C/C장비	97	97	0	0.00%
	산출	22602000	22602000	0	0.00%
2 상하이	선석수	23	23	0	0.00%
	선석길이	5706	5706	0	0.00%
	수심	12.71	12.71	0	0.00%
	부두면적	4342858	4342858	0	0.00%
	C/C장비	63	63	0	0.00%
	산출	18084000	18084000	0	0.00%
3 선전	선석수	15	15	0	0.00%
	선석길이	4270	4270	0	0.00%
	수심	14.46	14.46	0	0.00%
	부두면적	1823000	1823000	0	0.00%
	C/C장비	31	31	0	0.00%
	산출	16197000	16197000	0	0.00%
4 부산	선석수	23	22.2231233	-0.77687675	-3.38%
	선석길이	7023	5872.2265	-1150.7735	-16.39%
	수심	14.18	14.18	0	0.00%
	부두면적	3733069	3733069	0	0.00%
	C/C장비	61	61	0	0.00%
	산출	11840445	19115073.8	7274628.81	61.44%
5 카오슝	선석수	22	10.1612903	-11.8387097	-53.81%
	선석길이	6711	2892.58065	-3818.41935	-56.90%
	수심	13.83	9.79548387	-4.03451613	-29.17%
	부두면적	1421374	1234935.48	-186438.516	-13.12%
	C/C장비	21	21	0	0.00%
	산출	9471056	10972161.3	1501105.29	15.85%
6 칭다오	선석수	13	9.34722984	-3.65277016	-28.10%
	선석길이	5100	2660.84476	-2439.15524	-47.83%
	수심	15.23	9.01072957	-6.21927043	-40.84%
	부두면적	1136000	1136000	0	0.00%
	C/C장비	43	19.3176083	-23.6823917	-55.08%
	산출	6307000	10093138.8	3786138.78	60.03%
7 닝보	선석수	4	4	0	0.00%
	선석길이	2138	1407.16571	-730.834294	-34.18%
	수심	13.87	13.1774	-0.69259996	-4.99%
	부두면적	757000	757000	0	0.00%
	C/C장비	16	15.0169239	-0.98307606	-6.14%
	산출	5208000	6028803.4	820803.403	15.76%
8 톈진	선석수	8	7.25806452	-0.74193548	-9.27%
	선석길이	2450	2066.12903	-383.870968	-15.67%
	수심	14.2	6.99677419	-7.20322581	-50.73%
	부두면적	1004400	882096.774	-122303.226	-12.18%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	4801000	7837258.06	3036258.06	63.24%

9 광저우	선석수	7	7	0	0.00%
	선석길이	2699	2154.02994	-544.970061	-20.19%
	수심	12.35	12.35	0	0.00%
	부두면적	2045000	1013519.51	-1031480.49	-50.44%
	C/C장비	32	18.5234544	-13.4765456	-42.11%
	산출	4683000	8586042.04	3903042.04	83.34%
10 도쿄	선석수	14	8.40017279	-5.59982721	-40.00%
	선석길이	4016	2391.24919	-1624.75081	-40.46%
	수심	13	8.09776657	-4.90223343	-37.71%
	부두면적	1020901	1020901	0	0.00%
	C/C장비	27	17.3603571	-9.6396429	-35.70%
	산출	3759000	9070506.58	5311506.58	141.30%
11 사이먼	선석수	1	1	0	0.00%
	선석길이	640	640	0	0.00%
	수심	13.3	13.3	0	0.00%
	부두면적	480000	480000	0	0.00%
	C/C장비	11	11	0	0.00%
	산출	3342300	3342300	0	0.00%
12 요코하마	선석수	22	16.0953704	-5.90462965	-26.84%
	선석길이	5830	4663.28586	-1166.71414	-20.01%
	수심	13.18	13.18	0	0.00%
	부두면적	2106256	2106256	0	0.00%
	C/C장비	42	42	0	0.00%
	산출	2873288	16149182.5	13275894.5	462.05%
13 다렌	선석수	9	5.38943383	-3.61056617	-40.12%
	선석길이	1759	1759	0	0.00%
	수심	13	13	0	0.00%
	부두면적	1504000	881786.053	-622213.947	-41.37%
	C/C장비	26	16.7899926	-9.21000745	-35.42%
	산출	2690000	7250920.77	4560920.77	169.55%
14 나고야	선석수	5	5	0	0.00%
	선석길이	1635	1499.23734	-135.762656	-8.30%
	수심	12.8	7.45513662	-5.34486338	-41.76%
	부두면적	684240	684240	0	0.00%
	C/C장비	26	12.2416143	-13.7583857	-52.92%
	산출	2491194	5882300.63	3391106.63	136.12%
15 고베	선석수	34	16.4258226	-17.5741774	-51.69%
	선석길이	9595	5116.73733	-4478.26267	-46.67%
	수심	12.48	12.48	0	0.00%
	부두면적	1952132	1952132	0	0.00%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	2262066	16457887.8	14195821.8	627.56%
16 오사카	선석수	15	10.7276495	-4.27235052	-28.48%
	선석길이	4435	3053.80422	-1381.19578	-31.14%
	수심	12.6	10.3414541	-2.2585459	-17.92%
	부두면적	1303767	1303767	0	0.00%
	C/C장비	26	22.1704756	-3.82952441	-14.73%
	산출	2272525	11583715.9	9311190.91	409.73%

17 기룡	선석수	14	2.7893582	-11.2106418	-80.08%
	선석길이	3192	794.037301	-2397.9627	-75.12%
	수심	12	2.68894131	-9.31105869	-77.59%
	부두면적	339000	339000	0	0.00%
	C/C장비	25	5.76467361	-19.2353264	-76.94%
	산출	2094277	3011948.99	917671.985	43.82%
18 광양	선석수	12	7.25806452	-4.74193548	-39.52%
	선석길이	3700	2066.12903	-1633.87097	-44.16%
	수심	15	6.99677419	-8.00322581	-53.35%
	부두면적	1373503	882096.774	-491406.226	-35.78%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	1438657	7837258.06	6398601.06	444.76%
19 타이중	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1800	1771.64179	-28.358209	-1.58%
	수심	14	7.99343284	-6.00656716	-42.90%
	부두면적	935269	793402.985	-141866.015	-15.17%
	C/C장비	14	14	0	0.00%
	산출	1228915	6884023.88	5655108.88	460.17%
20 인천	선석수	5	4.11409764	-0.88590236	-17.72%
	선석길이	2305	1171.14646	-1133.85354	-49.19%
	수심	11.9	3.96599013	-7.93400987	-66.67%
	부두면적	500000	500000	0	0.00%
	C/C장비	10	8.50246846	-1.49753154	-14.98%
	산출	1149000	4442402.63	3293402.63	286.63%
21 레원강	선석수	2	1.33296764	-0.66703236	-33.35%
	선석길이	540	379.451454	-160.548546	-29.73%
	수심	10.2	1.2849808	-8.9150192	-87.40%
	부두면적	162000	162000	0	0.00%
	C/C장비	6	2.75479978	-3.24520022	-54.09%
	산출	1007590	1439338.45	431748.453	42.85%
22 푸저우	선석수	6	3.38709677	-2.61290323	-43.55%
	선석길이	1050	964.193548	-85.8064516	-8.17%
	수심	10.25	3.26516129	-6.98483871	-68.14%
	부두면적	671000	411645.161	-259354.839	-38.65%
	C/C장비	7	7	0	0.00%
	산출	803000	3657387.1	2854387.1	355.47%

5.2.2. DEA-BCC모형에 의한 분석결과

CCR모형은 규모에 대한 수익(Return to Scale)이 일정하다고 가정하지만 BCC모형은 효율적 프론티어는 주어진 DMU들의 볼록집합(convex hull)으로 구성되므로 규모의 수익이 변동한다고 본다.

<표 5-10>에서 보면 효율적으로 평가되는 항만이 2003년에는 홍콩, 상하이, 광저우, 샤이먼, 광양, 레윈강, 푸저우 7개 항만이고, 2004년에는 홍콩, 상하이, 선전, 카오슝, 닝보, 광저우, 샤이먼, 레윈강 8개 항만이며, 2005년에는 홍콩, 상하이, 선전, 샤이먼, 레윈강 5개의 항만이다. CCR모형과 비교했을 때 효율적인 항만의 수가 증가하였는데 이는 효율적인 프론티어가 DMU들의 볼록집합(convex hull)으로 구성되므로 규모의 수익이 변동한다고 보기 때문이다. 각 년도의 효율성지수 평균은 2003년 0.60, 2004년 0.63, 2005년 0.61이며, 부산항의 경우 2003년에는 효율성지수 0.67007564로 나타났으며, 2004년에는 0.7035113으로 증가하다가 2005년에는 0.62532439로 감소하였다.

BCC모형도 앞의 CCR모형처럼 효율성 개선을 위한 투자값을 살펴보면 <표 5-11><표 5-12><표 5-13>처럼 나타난다.

부산항을 살펴보면 2003년도 BCC(산출지향)모형에서 보면 효율성 개선을 위해 선석수, 선석길이, 수심, 부두면적을 4.43478261, 1383.36232, 1.32217391, 1323617.81만큼 줄이고 산출물인 총처리물동량을 5124480.86만큼 개선시켜야 효율적인 프론티어에 도달한다고 해석된다. 그리고 2004년도 BCC(산출지향)모형에서는 선석수, 선석길이, 부두면적을 2.12642542, 664.53345, 436449.172만큼 줄이고 산출물인 총처리물동량을 4817073.77만큼 개선시켜야 하며, 2005년도 BCC(산출지향)모형에서는 선석수, 선석길이, 부두면적을 3.39135824, 110.96405, 1179086.3만큼 줄이고 산출물인 처리물동량을 7094439.36만큼 개선시켜야 효율적인 프론티어에 도달한다고 해석된다.

<표 5-10> BCC모형에 의한 동북아시아 항만들의 효율성 측정결과

DMU		2003년		2004년		2005년	
		효율성	참조집단	효율성	참조집단	효율성	참조집단
1	홍콩	1	홍콩(1.00)	1	홍콩(1.00)	1	홍콩(1.00)
2	상하이	1	상하이(1.00)	1	상하이(1.00)	1	상하이(1.00)
3	선전	0.83308189	홍콩(0.16) 상하이(0.84)	1	선전(1.00)	1	선전(1.00)
4	부산	0.67007564	홍콩(0.46) 상하이(0.54)	0.7035113	홍콩(0.29) 상하이(0.21) 선전(0.50)	0.62532439	홍콩(0.39) 상하이(0.14) 선전(0.47)
5	카오슝	0.74009452	홍콩(0.07) 상하이(0.93)	1	카오슝(1.00)	0.93576081	선전(0.6) 레원강(0.4)
6	칭다오	0.48411353	상하이(0.75) 광양(0.25)	0.47829274	홍콩(0.39) 선전(0.01) 광저우(0.60)	0.63613482	선전(0.59) 레원강(0.41)
7	닝보	0.74833139	상하이(0.24) 샤이먼(0.04) 광양(0.72)	1	닝보(1.00)	0.86625048	선전(0.21) 샤이먼(0.76) 레원강(0.03)
8	톈진	0.37106491	상하이(0.69) 광양(0.31)	0.70548936	선전(0.28) 카오슝(0.13) 샤이먼(0.59)	0.74137815	선전(0.36) 레원강(0.64)
9	광저우	1	광저우(1.00)	1	광저우(1.00)	0.63520124	선전(0.40) 샤이먼(0.15) 레원강(0.45)
10	도쿄	0.28424535	홍콩(0.04) 상하이(0.96)	0.39360143	홍콩(0.23) 선전(0.09) 광저우(0.68)	0.42416991	선전(0.52) 레원강(0.48)
11	샤이먼	1	샤이먼(1.00)	1	샤이먼(1.00)	1	샤이먼(1.00)
12	요코하마	0.17970192	홍콩(0.29) 상하이(0.71)	0.21425332	홍콩(0.28) 상하이(0.07) 선전(0.40) 레원강(0.25)	0.20153121	홍콩(0.15) 상하이(0.20) 선전(0.43) 레원강(0.22)

13	다롄	0.13922864	홍콩(0.08) 상하이(0.92)	0.26668121	선전(0.50) 샤이먼(0.50)	0.39096338	선전(0.31) 샤이먼(0.47) 레윈강(0.22)
14	나고야	0.42055054	상하이(0.34) 샤이먼(0.31) 광양(0.35) 레윈강(0.002)	0.50965148	홍콩(0.13) 광저우(0.01) 샤이먼(0.40) 레윈강(0.46)	0.44448674	선전(0.26) 샤이먼(0.31) 레윈강(0.43)
15	고베	0.13170717	홍콩(0.46) 상하이(0.54)	0.16742282	홍콩(0.45) 상하이(0.18) 선전(0.02) 레윈강(0.35)	0.17345074	홍콩(0.39) 상하이(0.16) 선전(0.06) 레윈강(0.39)
16	오사카	0.13627618	홍콩(0.06) 상하이(0.94)	0.2506318	홍콩(0.08) 상하이(0.02) 선전(0.42) 레윈강(0.48)	0.2198386	홍콩(0.06) 상하이(0.04) 선전(0.48) 레윈강(0.42)
17	기륭	0.45674314	상하이(0.19) 광저우(0.81)	0.50586469	홍콩(0.06) 광저우(0.88) 레윈강(0.06)	0.79745263	선전(0.11) 레윈강(0.89)
18	광양	1	광양(1.00)	0.22284263	선전(0.05) 카오슝(0.52) 레윈강(0.43)	0.22215973	선전(0.36) 레윈강(0.64)
19	타이중	0.19992664	상하이(0.5) 광양(0.5)	0.26941734	선전(0.3) 광저우(0.05) 닝보(0.65)	0.21054064	선전(0.31) 샤이먼(0.05) 레윈강(0.64)
20	인천	0.362766	상하이(0.15) 광양(0.31) 레윈강(0.54)	0.34310922	선전(0.11) 카오슝(0.09) 레윈강(0.80)	0.33421608	선전(0.16) 레윈강(0.84)
21	레윈강	1	레윈강(1.00)	1	레윈강(1.00)	1	레윈강(1.00)
22	푸저우	1	푸저우(1.00)	0.85645982	상하이(0.02) 선전(0.002) 레윈강(0.98)	0.60754423	상하이(0.01) 선전(0.01) 레윈강(0.98)
평균		0.60		0.63		0.61	

<표 5-11> 2003년 BCC(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투사

DMU	투입/산출	효율성 값	투사 값	차이	%
1 홍콩	선석수	22	22	0	0.00%
	선석길이	7259	7259	0	0.00%
	수심	14.28	14.28	0	0.00%
	부두면적	2494500	2494500	0	0.00%
	C/C장비	89	89	0	0.00%
	산출	20449000	20449000	0	0.00%
2 상하이	선석수	10	10	0	0.00%
	선석길이	2281	2281	0	0.00%
	수심	10.77	10.77	0	0.00%
	부두면적	824926	824926	0	0.00%
	C/C장비	20	20	0	0.00%
	산출	11280000	11280000	0	0.00%
3 선전	선석수	15	11.9130435	-3.08695652	-20.58%
	선석길이	4270	3074.5942	-1195.4058	-28.00%
	수심	14.46	11.3295652	-3.13043478	-21.65%
	부두면적	1823000	1091089.97	-731910.029	-40.15%
	C/C장비	31	31	0	0.00%
	산출	10614900	12741724.6	2126824.64	20.04%
4 부산	선석수	20	15.5652174	-4.43478261	-22.17%
	선석길이	5973	4589.63768	-1383.36232	-23.16%
	수심	13.72	12.3978261	-1.32217391	-9.64%
	부두면적	2922839	1599221.19	-1323617.81	-45.29%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	10407809	15532289.9	5124480.86	49.24%
5 카오슝	선석수	19	10.8695652	-8.13043478	-42.79%
	선석길이	5122	2641.72464	-2480.27536	-48.42%
	수심	12.89	11.0243478	-1.86565217	-14.47%
	부두면적	1421374	945909.623	-475464.377	-33.45%
	C/C장비	25	25	0	0.00%
	산출	8840000	11944420.3	3104420.29	35.12%
6 칭다오	선석수	8	8	0	0.00%
	선석길이	3367	1885.75	-1481.25	-43.99%
	수심	13.48	11.8275	-1.6525	-12.26%
	부두면적	1136000	723694.5	-412305.5	-36.29%
	C/C장비	22	16	-6	-27.27%
	산출	4239000	8756210.5	4517210.5	106.56%
7 닝보	선석수	4	4	0	0.00%
	선석길이	2138	1103.30608	-1034.69392	-48.40%
	수심	13.87	13.87	0	0.00%
	부두면적	757000	530501.799	-226498.201	-29.92%
	C/C장비	16	8.34139961	-7.65860039	-47.87%
	산출	2772000	3704241.22	932241.224	33.63%
8 톈진	선석수	8	7.5	-0.5	-6.25%
	선석길이	2450	1786.9375	-663.0625	-27.06%
	수심	13.95	12.091875	-1.858125	-13.32%
	부두면적	1004400	698386.625	-306013.375	-30.47%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	3015000	8125263.13	5110263.13	169.49%

9 광저우	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1299	1299	0	0.00%
	수심	12	12	0	0.00%
	부두면적	225000	225000	0	0.00%
	C/C장비	13	13	0	0.00%
	산출	2761700	2761700	0	0.00%
10 도쿄	선석수	11	10.4943177	-0.50568229	-4.60%
	선석길이	3434	2486.05946	-947.940536	-27.60%
	수심	13.36	10.9145879	-2.44541207	-18.30%
	부두면적	893701	893701	0	0.00%
	C/C장비	32	22.8423268	-9.15767316	-28.62%
	산출	3313647	11657699.9	8344052.93	251.81%
11 사이먼	선석수	3	3	0	0.00%
	선석길이	1110	1110	0	0.00%
	수심	12.56	12.56	0	0.00%
	부두면적	715000	715000	0	0.00%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	2331000	2331000	0	0.00%
12 요코하마	선석수	22	13.4782609	-8.52173913	-38.74%
	선석길이	5440	3723.89855	-1716.10145	-31.55%
	수심	13.52	11.7873913	-1.7326087	-12.82%
	부두면적	1733601	1308860.49	-424740.507	-24.50%
	C/C장비	40	40	0	0.00%
	산출	2504628	13937681.2	11433053.2	456.48%
13 다렌	선석수	13	10.9353154	-2.06468461	-15.88%
	선석길이	2669	2669	0	0.00%
	수심	13.69	11.0435798	-2.64642025	-19.33%
	부두면적	1504000	955057.521	-548942.479	-36.50%
	C/C장비	26	25.3780635	-0.62193652	-2.39%
	산출	1670000	11994658.9	10324658.9	618.24%
14 나고야	선석수	5	5	0	0.00%
	선석길이	1635	1359.43588	-275.564119	-16.85%
	수심	12.8	12.8	0	0.00%
	부두면적	648240	648240	0	0.00%
	C/C장비	25	12.8417921	-12.1582079	-48.63%
	산출	2073995	4931618.9	2857623.9	137.78%
15 고베	선석수	32	15.5652174	-16.4347826	-51.36%
	선석길이	9105	4589.63768	-4515.36232	-49.59%
	수심	12.51	12.3978261	-0.11217391	-0.90%
	부두면적	2079591	1599221.19	-480369.812	-23.10%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	2045714	15532289.9	13486575.9	659.26%
16 오사카	선석수	14	10.6956522	-3.30434783	-23.60%
	선석길이	4085	2569.57971	-1515.42029	-37.10%
	수심	12.35	10.9734783	-1.37652174	-11.15%
	부두면적	1128767	921712.899	-207054.101	-18.34%
	C/C장비	24	24	0	0.00%
	산출	1609631	11811536.2	10201905.2	633.80%

17 기룡	선석수	14	6.76009374	-7.23990626	-51.71%
	선석길이	3192	1485.60301	-1706.39699	-53.46%
	수심	12	11.7662712	-0.23372883	-1.95%
	부두면적	339000	339000	0	0.00%
	C/C장비	25	14.3301641	-10.6698359	-42.68%
	산출	2000707	4380376.64	2379669.64	118.94%
18 광양	선석수	2	2	0	0.00%
	선석길이	700	700	0	0.00%
	수심	15	15	0	0.00%
	부두면적	420000	420000	0	0.00%
	C/C장비	4	4	0	0.00%
	산출	1184842	1184842	0	0.00%
19 타이중	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1800	1490.5	-309.5	-17.19%
	수심	14	12.885	-1.115	-7.96%
	부두면적	935269	622463	-312806	-33.45%
	C/C장비	13	12	-1	-7.69%
	산출	1246027	6232421	4986394	400.18%
20 인천	선석수	5	3.23138698	-1.76861302	-35.37%
	선석길이	1160	857.396687	-302.603313	-26.09%
	수심	12.2	12.2	0	0.00%
	부두면적	370000	343723.259	-26276.7408	-7.10%
	C/C장비	7	7	0	0.00%
	산출	821071	2263362.61	1442291.61	175.66%
21 레원강	선석수	2	2	0	0.00%
	선석길이	540	540	0	0.00%
	수심	11	11	0	0.00%
	부두면적	162000	162000	0	0.00%
	C/C장비	5	5	0	0.00%
	산출	300000	300000	0	0.00%
22 푸저우	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1050	1050	0	0.00%
	수심	10.35	10.35	0	0.00%
	부두면적	388000	388000	0	0.00%
	C/C장비	7	7	0	0.00%
	산출	590000	590000	0	0.00%

<표 5-12> 2004년 BCC(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투자

DMU	투입/산출	효율성 값	투자 값	차이	%
1 홍콩	선석수	22	22	0	0.00%
	선석길이	7259	7259	0	0.00%
	수심	14.28	14.28	0	0.00%
	부두면적	2503100	2503100	0	0.00%
	C/C장비	89	89	0	0.00%
	산출	21984000	21984000	0	0.00%
2 상하이	선석수	19	19	0	0.00%
	선석길이	5096	5096	0	0.00%
	수심	12.13	12.13	0	0.00%
	부두면적	4009926	4009926	0	0.00%
	C/C장비	51	51	0	0.00%
	산출	14557200	14557200	0	0.00%
3 선전	선석수	15	15	0	0.00%
	선석길이	4270	4270	0	0.00%
	수심	14.46	14.46	0	0.00%
	부두면적	1823000	1823000	0	0.00%
	C/C장비	31	31	0	0.00%
	산출	13650000	13650000	0	0.00%
4 부산	선석수	20	17.8735746	-2.12642542	-10.63%
	선석길이	5973	5308.46655	-664.53345	-11.13%
	수심	13.91	13.91	0	0.00%
	부두면적	2923069	2486619.83	-436449.172	-14.93%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	11430000	16247073.8	4817073.77	42.14%
5 카오슝	선석수	20	20	0	0.00%
	선석길이	6027	6027	0	0.00%
	수심	13.56	13.56	0	0.00%
	부두면적	1421374	1421374	0	0.00%
	C/C장비	21	21	0	0.00%
	산출	9710000	9710000	0	0.00%
6 칭다오	선석수	13	12.3736322	-0.62636775	-4.82%
	선석길이	5100	3668.94293	-1431.05707	-28.06%
	수심	15.23	12.9213142	-2.30868581	-15.16%
	부두면적	1136000	1136000	0	0.00%
	C/C장비	43	43	0	0.00%
	산출	5139700	10745929.3	5606229.34	109.08%
7 닝보	선석수	4	4	0	0.00%
	선석길이	2138	2138	0	0.00%
	수심	13.87	13.87	0	0.00%
	부두면적	757000	757000	0	0.00%
	C/C장비	16	16	0	0.00%
	산출	4005500	4005500	0	0.00%
8 톈진	선석수	8	8	0	0.00%
	선석길이	2450	2303.25882	-146.741176	-5.99%
	수심	13.95	11.8376471	-2.11235294	-15.14%
	부두면적	1004400	793966.047	-210433.953	-20.95%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	3814000	5406176.47	1592176.47	41.75%

9 광저우	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1299	1299	0	0.00%
	수심	12	12	0	0.00%
	부두면적	225000	225000	0	0.00%
	C/C장비	13	13	0	0.00%
	산출	3308200	3308200	0	0.00%
10 도쿄	선석수	13	10.4882225	-2.51177745	-19.32%
	선석길이	3686	2935.11663	-750.883374	-20.37%
	수심	13.18	12.7499026	-0.43009739	-3.26%
	부두면적	893701	893701	0	0.00%
	C/C장비	32	32	0	0.00%
	산출	3358096	8531717.06	5173621.06	154.06%
11 사이먼	선석수	3	3	0	0.00%
	선석길이	1110	1110	0	0.00%
	수심	12.56	12.56	0	0.00%
	부두면적	715000	715000	0	0.00%
	C/C장비	5	15	0	0.00%
	산출	2871700	2871700	0	0.00%
12 요코하마	선석수	22	13.9054811	-8.09451894	-36.79%
	선석길이	5830	4205.69983	-1624.30017	-27.86%
	수심	13.18	13.18	0	0.00%
	부두면적	1733601	1733601	0	0.00%
	C/C장비	42	42	0	0.00%
	산출	2717631	12684195.4	9966564.39	366.74%
13 다렌	선석수	13	9.03417722	-3.96582278	-30.51%
	선석길이	2699	2699	0	0.00%
	수심	13.69	13.5154114	-0.17458861	-1.28%
	부두면적	1504000	1272155.7	-231844.304	-15.42%
	C/C장비	26	18.0740506	-7.92594937	-30.48%
	산출	2211200	8291547.69	6080347.69	274.98%
14 나고야	선석수	5	5	0	0.00%
	선석길이	1635	1635	0	0.00%
	수심	12.8	11.6962787	-1.10372125	-8.62%
	부두면적	684240	684240	0	0.00%
	C/C장비	26	20.2881342	-5.71186581	-21.97%
	산출	2155420	4229203.88	2073783.88	96.21%
15 고베	선석수	34	14.3693648	-19.6306352	-57.74%
	선석길이	9595	4469.94724	-5125.05276	-53.41%
	수심	12.48	12.48	0	0.00%
	부두면적	1952132	1952132	0	0.00%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	2176830	13001991.1	10825161.1	497.29%
16 오사카	선석수	14	9.40239859	-4.59760141	-32.84%
	선석길이	4085	2733.45016	-1351.54984	-33.09%
	수심	12.35	12.35	0	0.00%
	부두면적	1128767	1128767	0	0.00%
	C/C장비	24	24	0	0.00%
	산출	2009150	8016341.24	6007191.24	298.99%

17 기룡	선석수	14	6.56698358	-7.43301642	-53.09%
	선석길이	3192	1558.21867	-1633.78133	-51.18%
	수심	12	12	0	0.00%
	부두면적	339000	339000	0	0.00%
	C/C장비	25	16.4814175	-8.51858254	-34.07%
	산출	2070192	4092382.89	2022190.89	97.68%
18 광양	선석수	12	12	0	0.00%
	선석길이	3700	3577.37647	-122.623529	-3.31%
	수심	15	12.1529412	-2.84705882	-18.98%
	부두면적	1373503	897014.675	-476488.325	-34.69%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	1320000	5923462.75	4603462.75	348.75%
19 타이중	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1800	1738.9	-61.1	-3.39%
	수심	14	11.6615	-2.3385	-16.70%
	부두면적	935269	690050	-245219	-26.22%
	C/C장비	14	14	0	0.00%
	산출	1245185	4621770	3376585	271.17%
20 인천	선석수	5	5	0	0.00%
	선석길이	2035	1429.84706	-605.152941	-29.74%
	수심	11.9	10.9541176	-0.94588235	-7.95%
	부두면적	500000	451461.184	-48538.8157	-9.71%
	C/C장비	10	10	0	0.00%
	산출	934941	2724907.84	1789966.84	191.45%
21 레원강	선석수	2	2	0	0.00%
	선석길이	540	540	0	0.00%
	수심	10.2	10.2	0	0.00%
	부두면적	162000	162000	0	0.00%
	C/C장비	6	6	0	0.00%
	산출	502300	502300	0	0.00%
22 푸저우	선석수	6	2.38570931	-3.61429069	-60.24%
	선석길이	1050	643.918857	-406.081143	-38.67%
	수심	10.25	10.25	0	0.00%
	부두면적	671000	246445.99	-424554.01	-63.27%
	C/C장비	7	7	0	0.00%
	산출	707900	826541.987	118641.987	16.76%

<표 5-13> 2005년 BCC(산출지향)모형의 효율성 개선을 위한 투자

DMU	투입/산출	효율성 값	투자 값	차이	%
1 홍콩	선석수	24	24	0	0.00%
	선석길이	7999	7999	0	0.00%
	수심	14.38	14.38	0	0.00%
	부두면적	2788500	2788500	0	0.00%
	C/C장비	97	97	0	0.00%
	산출	22602000	22602000	0	0.00%
2 상하이	선석수	23	23	0	0.00%
	선석길이	5706	5706	0	0.00%
	수심	12.71	12.71	0	0.00%
	부두면적	4342858	4342858	0	0.00%
	C/C장비	63	63	0	0.00%
	산출	18084000	18084000	0	0.00%
3 선전	선석수	15	15	0	0.00%
	선석길이	4270	4270	0	0.00%
	수심	14.46	14.46	0	0.00%
	부두면적	1823000	1823000	0	0.00%
	C/C장비	31	31	0	0.00%
	산출	16197000	16197000	0	0.00%
4 부산	선석수	23	19.6086418	-3.39135824	-14.75%
	선석길이	7023	5912.03595	-1110.96405	-15.82%
	수심	14.18	14.18	0	0.00%
	부두면적	3733069	2553982.7	-1179086.3	-31.58%
	C/C장비	61	61	0	0.00%
	산출	11840445	18934884.4	7094439.36	59.92%
5 카오슝	선석수	22	9.8	-12.2	-55.45%
	선석길이	6711	2778	-3933	-58.61%
	수심	13.83	12.756	-1.074	-7.77%
	부두면적	1421374	1158600	-262774	-18.49%
	C/C장비	21	21	0	0.00%
	산출	9471056	10121236	650180	6.86%
6 칭다오	선석수	13	9.6231186	-3.3768814	-25.98%
	선석길이	5100	2727.24865	-2372.75135	-46.52%
	수심	15.23	12.6980373	-2.53196267	-16.62%
	부두면적	1136000	1136000	0	0.00%
	C/C장비	43	20.6598435	-22.3401565	-51.95%
	산출	6307000	9914564.92	3607564.92	57.20%
7 닝보	선석수	4	4	0	0.00%
	선석길이	2138	1408.49525	-729.504745	-34.12%
	수심	13.87	13.4656359	-0.40436411	-2.92%
	부두면적	757000	757000	0	0.00%
	C/C장비	16	15.1182053	-0.88179465	-5.51%
	산출	5208000	6012117.86	804117.858	15.44%
8 톈진	선석수	8	6.68	-1.32	-16.50%
	선석길이	2450	1882.8	-567.2	-23.15%
	수심	14.2	11.7336	-2.4664	-17.37%
	부두면적	1004400	759960	-244440	-24.34%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	4801000	6475777.6	1674777.6	34.88%

9 광저우	선석수	7	7	0	0.00%
	선석길이	2699	2032.35862	-666.641382	-24.70%
	수심	12.35	12.35	0	0.00%
	부두면적	2045000	867371.409	-1177628.59	-57.59%
	C/C장비	32	16.6485637	-15.3514363	-47.97%
	산출	4683000	7372466.75	2689466.75	57.43%
10 도쿄	선석수	14	8.72228356	-5.27771644	-37.70%
	선석길이	4016	2468.77828	-1547.22172	-38.53%
	수심	13	12.4028406	-0.59715939	-4.59%
	부두면적	1020901	1020901	0	0.00%
	C/C장비	27	18.9274684	-8.07253161	-29.90%
	산출	3759000	8862014.71	5103014.71	135.75%
11 샤이먼	선석수	1	1	0	0.00%
	선석길이	640	640	0	0.00%
	수심	13.3	13.3	0	0.00%
	부두면적	480000	480000	0	0.00%
	C/C장비	11	11	0	0.00%
	산출	3342300	3342300	0	0.00%
12 요코하마	선석수	22	15.1348322	-6.86516782	-31.21%
	선석길이	5830	4315.83475	-1514.16525	-25.97%
	수심	13.18	13.18	0	0.00%
	부두면적	2106256	2106256	0	0.00%
	C/C장비	42	42	0	0.00%
	산출	2873288	14257285.7	11383997.7	396.20%
13 다롄	선석수	9	5.61270001	-3.38729999	-37.64%
	선석길이	1759	1759	0	0.00%
	수심	13	13	0	0.00%
	부두면적	1504000	833770.673	-670229.327	-44.56%
	C/C장비	26	16.2117087	-9.78829128	-37.65%
	산출	2690000	6880439.86	4190439.86	155.78%
14 나고야	선석수	5	5	0	0.00%
	선석길이	1635	1521.36104	-113.638965	-6.95%
	수심	12.8	12.2513813	-0.54861874	-4.29%
	부두면적	684240	684240	0	0.00%
	C/C장비	26	13.926937	-12.073063	-46.43%
	산출	2491194	5604653.17	3113459.17	124.98%
15 고베	선석수	34	14.6913065	-19.3086935	-56.79%
	선석길이	9595	4489.31867	-5105.68133	-53.21%
	수심	12.48	12.48	0	0.00%
	부두면적	1952132	1952132	0	0.00%
	C/C장비	52	52	0	0.00%
	산출	2262066	13041547.3	10779481.3	476.53%
16 오사카	선석수	15	10.4873911	-4.51260895	-30.08%
	선석길이	4435	3004.7314	-1430.2686	-32.25%
	수심	12.6	12.6	0	0.00%
	부두면적	1303767	1303767	0	0.00%
	C/C장비	26	26	0	0.00%
	산출	2272525	10337243.1	8064718.09	354.88%

17 기룡	선석수	14	3.38531005	-10.6146899	-75.82%
	선석길이	3192	937.477423	-2254.52258	-70.63%
	수심	12	10.6539554	-1.34604455	-11.22%
	부두면적	339000	339000	0	0.00%
	C/C장비	25	8.6640578	-16.3359422	-65.34%
	산출	2094277	2626208.65	531931.645	25.40%
18 광양	선석수	12	6.68	-5.32	-44.33%
	선석길이	3700	1882.8	-1817.2	-49.11%
	수심	15	11.7336	-3.2664	-21.78%
	부두면적	1373503	759960	-613543	-44.67%
	C/C장비	15	15	0	0.00%
	산출	1438657	6475777.6	5037120.6	350.13%
19 타이중	선석수	6	6	0	0.00%
	선석길이	1800	1704.88889	-95.1111111	-5.28%
	수심	14	11.6631111	-2.33688889	-16.69%
	부두면적	935269	692888.889	-242380.111	-25.92%
	C/C장비	14	14	0	0.00%
	산출	1228915	5836949.11	4608034.11	374.97%
20 인천	선석수	5	4.08	-0.92	-18.40%
	선석길이	2305	1136.8	-1168.2	-50.68%
	수심	11.9	10.8816	-1.0184	-8.56%
	부두면적	500000	427760	-72240	-14.45%
	C/C장비	10	10	0	0.00%
	산출	1149000	3437895.6	2288895.6	199.21%
21 레원강	선석수	2	2	0	0.00%
	선석길이	540	540	0	0.00%
	수심	10.2	10.2	0	0.00%
	부두면적	162000	162000	0	0.00%
	C/C장비	6	6	0	0.00%
	산출	1007590	1007590	0	0.00%
22 푸저우	선석수	6	2.37557616	-3.62442384	-60.41%
	선석길이	1050	633.396235	-416.603765	-39.68%
	수심	10.25	10.25	0	0.00%
	부두면적	671000	235022.283	-435977.717	-64.97%
	C/C장비	7	7	0	0.00%
	산출	803000	1321714.47	518714.471	64.60%

5.2.3. 규모의 효율성에 관한 분석

어떤 DMU의 규모 효율성은 식(4.6)에 따라 $\frac{CCR \text{ 효율성}}{BCC \text{ 효율성}}$ 을 통하여 측정된다. 동북아시아 항만의 규모 효율성은 <표 5-6>과 <표 5-10>로부터 <표 5-14> <표 5-15> <표 5-16>과 같이 구할 수 있다.

<표 5-14> 2003년 규모의 효율성을 살펴보면 홍콩, 선전이 CCR효율성지수, BCC효율성지수, 규모의 효율성지수가 1로서 효율적인 운영을 하고 있으며 규모도 제대로 이용하고 있는 것으로 해석된다. 한편 광양, 레윈강, 푸저우는 BCC효율성지수가 1임에도 불구하고 규모효율성이 0.525196, 0.135429, 0.14944276로서 규모의 효과를 배제하고는 효율적으로 운영되고 있다고 볼 수 있지만, 규모에 의한 비효율성이 크게 나타나는 것으로 보아 규모로 인해 불리한 상황에 있다고 해석된다. 반면에 칭다오, 텐진, 도쿄, 요코하마, 다롄, 고베, 오사카, 기륭, 타이중은 CCR효율성지수와 BCC효율성지수가 모두 0.5이하임에도 불구하고 규모의 효율성지수가 0.9이상으로 나타난 것으로 보아 비효율적인 운영을 하고 있지만 규모를 제대로 이용하고 있는 것으로 해석된다.

<표 5-15> 2004년 규모의 효율성을 살펴보면 홍콩, 선전, 카오슝, 닝보, 광저우가 CCR효율성지수, BCC효율성지수, 규모의 효율성지수가 1로서 효율적인 운영을 하고 있으면서 규모도 제대로 이용하고 있는 것으로 해석된다. 한편 레윈강은 BCC효율성지수가 1임에도 불구하고 규모효율성이 0.321094로서 규모의 효과를 배제하고는 효율적으로 운영되고 있다고 볼 수 있지만, 규모에 의한 비효율성이 크게 나타나는 것으로 보아 규모로 인해 불리한 상황에 있다고 해석된다. 반면에 칭다오, 도쿄, 요코하마, 다롄은 CCR효율성지수와 BCC효율성지수가 모두 0.5이하임에도 불구하고 규모의 효율성지수가 0.9이상으로 나타난 것으로 보아 비효율적인 운영을 하고 있지만 규모를 제대로 이용하고 있는 것으로 해석된다.

<표 5-16> 2005년 규모의 효율성을 살펴보면 홍콩, 상하이, 선전, 샤이먼이 CCR효율성지수, BCC효율성지수, 규모의 효율성지수가 1로서 효율적인 운영을 하고 있으며 규모도 제대로 이용하고 있는 것으로 해석된다. 한편 도쿄, 다롄, 나고야는 CCR효율성지수와 BCC효율성지수가 모두 0.5이하임에도 불구하고 규모의 효율성지수가 0.9이상으로 나타난 것으로 보아 비효율적인 운영을 하고 있지만 규모를 제대로 이용하고 있는 것으로 해석된다.

<표 5-14> 2003년도 규모의 효율성

DMU		CCR	BCC	규모 효율성
1	홍콩	1	1	1
2	상하이	1	1	1
3	선전	0.68441922	0.83308189	0.821551
4	부산	0.62317624	0.67007564	0.930009
5	카오슝	0.65029404	0.74009452	0.878663
6	칭다오	0.46974734	0.48411353	0.970325
7	닝보	0.6143617	0.74833139	0.820975
8	톈진	0.35638298	0.37106491	0.960433
9	광저우	0.8976352	1	0.897635
10	도쿄	0.27115642	0.28424535	0.953952
11	샤이먼	0.68882979	1	0.68883
12	요코하마	0.16190763	0.17970192	0.900979
13	다롄	0.12652725	0.13922864	0.908773
14	나고야	0.36772961	0.42055054	0.874401
15	고베	0.13087156	0.13170717	0.993656
16	오사카	0.12354669	0.13627618	0.90659
17	기륭	0.4316082	0.45674314	0.944969
18	광양	0.52519592	1	0.525196
19	타이중	0.18410564	0.19992664	0.920866
20	인천	0.20797138	0.362766	0.573293
21	레윈강	0.13542914	1	0.135429
22	푸저우	0.14944276	1	0.149443

<표 5-15> 2004년도 규모의 효율성

DMU		CCR	BCC	규모 효율성
1	홍콩	1	1	1
2	상하이	0.96462354	1	0.964624
3	선전	1	1	1
4	부산	0.69860394	0.7035113	0.993024
5	카오슝	1	1	1
6	칭다오	0.47131657	0.47829274	0.985414
7	닝보	1	1	1
8	톈진	0.57441744	0.70548936	0.814211
9	광저우	1	1	1
10	도쿄	0.39188532	0.39360143	0.99564
11	샤이먼	0.95753562	1	0.957536
12	요코하마	0.19501317	0.21425332	0.910199
13	다롄	0.25628333	0.26668121	0.96101
14	나고야	0.43392681	0.50965148	0.851419
15	고베	0.14082382	0.16742282	0.841127
16	오사카	0.22000105	0.2506318	0.877786
17	기륭	0.48957071	0.50586469	0.96779
18	광양	0.19331883	0.22284263	0.867513
19	타이중	0.22503469	0.26941734	0.835264
20	인천	0.23321967	0.34310922	0.679724
21	레윈강	0.32109436	1	0.321094
22	푸저우	0.22872825	0.85645982	0.267062

<표 5-16> 2005년도 규모의 효율성

DMU		CCR	BCC	규모 효율성
1	홍콩	1	1	1
2	상하이	1	1	1
3	선전	1	1	1
4	부산	0.61942973	0.62532439	0.990573
5	카오슝	0.86318964	0.93576081	0.922447
6	칭다오	0.62487994	0.63613482	0.982307
7	닝보	0.86385302	0.86625048	0.997232
8	톈진	0.61258669	0.74137815	0.826281
9	광저우	0.54542011	0.63520124	0.858657
10	도쿄	0.41442007	0.42416991	0.977014
11	샤이먼	1	1	1
12	요코하마	0.17792158	0.20153121	0.882849
13	다롄	0.37098737	0.39096338	0.948906
14	나고야	0.42350675	0.44448674	0.9528
15	고베	0.13744571	0.17345074	0.792419
16	오사카	0.19618273	0.2198386	0.892394
17	기룽	0.69532287	0.79745263	0.87193
18	광양	0.18356637	0.22215973	0.826281
19	타이중	0.17851696	0.21054064	0.847898
20	인천	0.25864382	0.33421608	0.773882
21	레윈강	0.70003688	1	0.700037
22	푸저우	0.21955565	0.60754423	0.361382

제 6 장 결론

본 논문에서는 DEA모형을 이용한 항만분야의 효율성측정과 관련된 국내외 기존연구들을 검토하고 항만의 효율성과 관련된 내용을 이론적으로 정리하였다. 그리고 22개의 동북아시아 항만의 효율성을 1개의 산출요소(총처리물동량)와 5개의 투입요소(선석수, 선석길이, 수심, 부두면적, C/C수)를 이용하여 DEA모형 중에서 실용도가 높은 CCR-BCC모형, 규모효율성을 통해서 2003년부터 2005년까지 3년간의 자료를 이용하여 효율적인 항만과 비효율적인 항만을 구분하고 효율성 개선을 위한 개선 값을 제시하였다.

부산항을 기준으로 실증분석결과를 살펴보면 2003, 2004, 2005년도 3년 동안 CCR모형과 BCC모형에서 효율성 값을 평균 해 본 결과 효율성이 0.65, 0.67로 높지 않게 나타났다. 그러나 규모의 효율성은 3년 동안 효율성 값을 평균 해 본 결과 효율성이 0.97로 높게 나타났다. 따라서 부산항의 경우 규모는 최적의 규모에 가깝게 운영되어 지고 있다고 볼 수 있으나, 비효율적인 운영으로 인한 비효율성이 초래되어 지고 있다고 볼 수 있다. 이 비효율성은 선석수, 선석길이, 부두면적, 총처리물동량에서 나타나며, 이중 총처리물동량에서의 비효율성이 가장 크게 나타나고 있다. 따라서 부산항의 효율성을 제고시키기 위해서는 물동량 유치를 위한 노력이 강구되어야 한다.

본 논문에서 분석한 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) CCR모형으로 2003, 2004, 2005년 3개년도의 효율성을 평가했으며, 비효율적인 항만에 대해서는 벤치마킹의 대상이 되는 참조집합과 효율성 개선을 위한 투사값을 제시하였다.
- (2) 규모의 수익을 고려한 BCC모형을 이용하여 2003, 2004, 2005년 3개년도의 효율성을 평가했으며, 비효율적인 업체에 참조집합과 효율성 개선을 위한 투사값을 제시하였다.
- (3) 각 항만마다 규모에 의한 효율성을 확인하기 위해 규모효율성을 제시하였다.

본 논문의 한계점 및 향후연구방향은 다음과 같다.

- (1) 투입변수 및 산출변수에 대한 자료를 확보함에 있어서 1차 자료인 Containerization International Yearbook에만 전적으로 의존함으로써, 자료의 검증 절차가 미비하였다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 향후에는 보다 다양한 1차 자료를 통한 비교조사 및 항만운영사 또는 웹사이트 등

의 정보를 활용하여 보다 정확한 자료 확보를 위한 노력이 수반되어야한다.

- (2) 분석년도를 단년도에 그쳐 정태적인 분석을 하여 분석한 항만의 추세, 분석 결과값의 안정성 등을 파악하지 못했다. 따라서 향후 연구의 과제로는 DMU의 효율성변화와 효율적 프론티어의 기술변화를 함께 평가하므로 기간에 따른 총요소생산성의 변화를 측정할 수 있는 맴퀴스트 생산성 지수 분석을 도입해 보는 것이 필요할 것이다.
- (3) 효율성분석에 있어 비효율적인 DMU에 대해 개선해야 할 변수만 제시 할 뿐 구체적인 개선방안은 제시하지 못하였다. DEA분석결과 나타난 효율적인 항만과 비효율적인 항만들의 정확한 원인파악이 되지 않았는데 즉, 투입요소와 산출요소의 조합상의 문제점이라는 것은 밝혀냈으나 개별항만들이 왜 그렇게 투입요소가 과다하고 산출요소가 과소하게 되었는지에 대한 정확한 원인규명은 되지 않았다.



* 참고문헌

- Baumol, W. J., J. c. Panzar and R. D. Willig, Contestable Markets and the Theory of Industry Structure, Harcourt Brace Jovanovich Inc., New York, 1982.
- Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units", European Journal of Operational Reserch, 2, pp.429-444, 1978.
- Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes, "Evaluating Program and Managerial Efficiency : An Application of DEA to Program Follow Through", Management Science, Vol. 27, 1981, pp. 668-697.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford and K. Tone(2000), Data Envelopment Analysis : A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver software, Kluwer Academic Publisher
- Cullinane, K., D. W. Song, and R. Gray, "A Stochastic Frontier Model of the Efficiency of Major Container Terminals in Asia : Assessing the Influence of Administrative and Ownership Structures", Transportation Research Part A : Policy and Practice, Vol. 36, No. 8, October 2002, pp. 743-762.
- David Bain, The Productivity Prescription: The Manager's Guide to Improving Productivity and Profit, Mc Graw-Hill Co., 1982, p.51.
- Davis M. Miller, "Profitability = Productivity + Price Recovery", Harvard Business Review, May-June 1984, p.145.
- Dowd, T. J. and Leschine, "Container Terminal Productivity : A Perspective", Maritime Policy and Management, Vol. 17, No. 2, 1990, pp. 108-109.

- Fecher, F., D. Kessler, S. Perelman and P. Pestieau, "Productive Performance of the French Insurance Industry", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 2, No. 2, 1993, pp. 77-93.
- Ferrier, G. D. and K. Lovell, "Measuring Cost Efficiency in Banking : Econometrics and Linear Programming Evidence", *Journal of Econometrics* Vol. 24, No. 46, 1990, pp. 229-245.
- Fleming, D. K., "World Container Port Rankings", *Maritime Policy and management*, Vol. 24, No. 2, 1997, pp. 175-181.
- Frankel, E. G., "Port Performance and Productivity Measurement", *Ports and Harbors*, Vol. 36, No. 7, September 1991, pp. 11-13.
- Han, Chul-Hwan, "An Empirical Study on the Determinants of Port Performance and Efficiency", *Proceeding of the 2nd International Gwangyang Port forum and Int'l Conference for the 20th Anniversary of Korean Association of Shipping Studies*, Korean Association of Shipping Studies, April 24-26, 2002, pp. 247-259.
- Hayuth Y. and Y. Roll, "Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis(DEA)", *Maritime Policy and Management*, No. 20, 1993, pp. 153-161.
- Martinez E., Diaz R., M. Navavro, and T. Ravelo, "A Study of the Efficiency of Spanish Port Authorities using Data Envelopment Analysis", *International Journal of Transport Economic*, Vol. 2, 1999, pp. 237-253.
- Monie, G. De, "Measuring and Evaluating Port performance and productivity", *UNCTAD MONOGRAPHS on PORT MANAGEMENT*, No. 6, International Association of Ports and Harbors, September, 1987, pp. 2-11.

- Notteboom T., C. Coeck, and J. Van den Broeck, "Measuring and Explaining the relative Efficiency of Container Terminals by means of Bayesian Stochastic Frontier Models", *Journal of Maritime Economic & Logistics*, Vol. 2, 2000, pp. 83-106.
- Oral, M., K. Ossama, and P. Lang, "A Methodology for Collective Evaluation and Selection of Industrial R&D Projects", *Management Science*, vol.37, no. 7, pp.871-885. 1991.
- Parkan, C., K. Lam, and G. Hang, "Operational Competitiveness Analysis on Software Development", *Journal of Operational Research Society*, 48, pp.892-905, 1997.
- Rober N. Anthony and John Dearden, *Management Control System*, Richard D. Irwin Inc., 1980, p.8.
- Roll, Y. and Y. Hayuth, "Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis(DEA)", *Maritime Policy and Management*, Vol. 20, No. 2, 1993, pp. 153-161.
- Sachish, A., "Productivity Functions as A Managerial Toll in Israel Ports", *Maritime Policy and Management*, Vol. 23, No. 4, 1996, pp. 341-369.
- Schaffnit, C., D. Rosen, J. C. Parai, "Best Practice Analysis of Bank Branches: An Application of DEA in a Large Canadian Bank", *European Journal of Operational Research*, 98, pp.269-289, 1997.
- Shang, J., and T. Sueyoshi, "A United Framework for the Selection of a Flexible Manufacturing System", *European Journal of Operational Research*, 85, pp.297-341, 1995.
- Suykens, F., "Some Remarks Productivity in Seaports", *Port and Harbors*, Vol. 32, No. 12, Dec. 1987, pp. 14-23.

- Talley, W. K. and P. Anderson, " Effectiveness and Efficiency in Transit Performance : A Rheoretical Perspective", Transportation Research, Vol. 15A, 1981, pp.431-436.
- Tongzon, J., "Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis", Transportation Research, Part A, Vol. 35, 2001, pp. 113-128.
- Valantine, V. C. and R. Gray, "Competition of Hub Ports : A Comparison between Europe and the Far East, "Proceedings of the 2nd International Gwangyang Port Forum and Int'l Conference for the 20th Anniversary of Korean Association of Shipping Studies, Korean Association of Shipping Studies, April 24-26, 2002, pp. 161-176.
- 강상곤, "DEA모형을 이용한 컨테이너항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구", 석사학위논문, 한국해양대학교 대학원, 2001.
- 박노경, "생산효율성에 의한 컨테이너항만의 지배-피지배 관계 분석 : FDH모형 접근", 한국해운학지, 제35호, 2000.
- 손승태, "국내은행의 경영효율성 비교분석", (서울 : 한국개발원, 1993.5.), pp.24-26.
- 송재영, "컨테이너항만의 효율성 분석에 관한 연구", 박사학위논문, 한국해양대학교 대학원, 2004.
- 송재영, "DEA/AHP를 이용한 컨테이너 터미널 효율성에 관한 연구", 한국해양대학교 석사학위논문, 2000.
- 이정호, "국내 수출입항만의 효율성측정에 관한 실증적 연구". 박사학위논문, 전북대학교 대학원, 1998, p.9-11.
- 이영현, "중국 주요항만의 효율성 평가에 관한 실증연구", 석사학위논문, 한국해양대학교 대학원, 2005. 8.

- 이형석, “DEA 모형을 이용한 우리나라 해운업체의 상대적 효율성 분석”, 석사학위논문, 부산대학교 대학원, 2006. 2.
- 오성동·박노경, “컨테이너항만의 국제경쟁력 분석방법 : DEA접근”, 한국항만경제학회지, 제17권 1호, 2001. 5.
- 전국경제인연합회, “항만의 경쟁력 제고과제”, 전국경제인연합회조사연구자료, 산업정책 97-3, 1997. 9.
- 전일수·김학소·김범중, “우리나라 컨테이너항만의 국제경쟁력 제고방안에 관한 연구”, 해운산업연구원, 정책자료 090, 1993. 12.
- 정수영, 『신경영학원론』 (서울 : 박영사, 1971), p.177.
- 차용우, “DEA모형에 의한 국내 무역항만의 효율성 측정에 관한 실증적 연구”, 박사학위논문, 조선대학교 대학원, 2005. 4.
- 하동우, “동북아 주요 컨테이너항만간 경쟁여건 분석”, 해운산업연구원, 정책자료 137, 1996. 12.
- 하명신, “동북아시아지역 주요 컨테이너 항만들의 서비스 질 평가와 항만간의 상호협력방안”, 한국국제상학회, Vol. 16, 2001, pp. 143-171.
- 한철환, “항만의 성과와 효율성 결정요인에 관한 실증연구”, 월간해양수산, 제221호, 해양수산개발원, 2003. 2, p.25.