

經濟學碩士 學位論文

중국 주요항만의 효율성 평가에 관한 실증연구

An Empirical study on the Efficiency of Major
Chinese Ports with DEA Method

指導教授 俞日善

2005年 8月

韓國海洋大學校 大學院

貿易學科

李永賢

經濟學碩士 學位論文

중국 주요항만의 효율성 평가에 관한 실증연구

An Empirical study on the Efficiency of Major
Chinese Ports with DEA Method

指導教授 俞日善

2005年 8月

韓國海洋大學校 大學院

貿易學科

李永賢

本 論文을 李永賢의 經濟學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 羅 昊 洙 (인)

委 員 金 鍾 碩 (인)

委 員 俞 日 善 (인)

2005年 7月

韓國海洋大學校 大學院

貿 易 學 科

李 永 賢

목 차

제1장 서론	1
1.1. 연구의 배경과 목적	1
1.2. 연구의 방법	2
1.3. 논문의 구성	3
제2장 중국 항만의 현황 및 특징	4
2.1. 중국의 주요 경제특구 현황	4
2.2. 중국 항만의 현황	6
2.2.1. 중국 항만의 물동량 현황	6
2.2.2. 중국의 주요 항만의 특징 및 시설 현황	9
제3장 효율성 평가 방법론 분석	23
3.1. 효율성 평가 방법론	23
3.1.1. 지수적 접근방식	23
3.1.2. 모수적(계량 경제적) 접근방식	24
3.1.3. 비모수적 접근방식	28
3.2. 평가방법의 장단점 분석	29
3.3. 추정모형: DEA 추정방식	32
3.3.1. 효율적 평가 방법의 선정	32
3.3.2. DEA 모형을 이용한 기존연구	33
3.3.3. DEA모형의 경제이론적 설명	35
3.3.4. DEA 추정모형	43
제4장 중국항만의 효율성 평가	48
4.1. 투입물 및 산출물 변수 선정	48
4.1.1. 사전 변수선정	48
4.1.2. DEA 분석에 사용된 변수 정의	49
4.2. 추정결과 및 해석	51
제5장 결론	62
부 록	64
참 고 문 헌	69

표 목 차

<표2-1> 주요 국가의 경제성장률 비교	4
<표2-2> 4대 경제권 비교(2002년)	5
<표2-3> 세계 주요항만 물동량 현황	8
<표2-4> 중국7개 항만과 부산항 물동량 현황	9
<표2-5> 홍콩(Hong Kong)항 시설현황	10
<표2-6> 홍콩(Hong Kong)항 개발계획	11
<표2-7> 상하이(Sanghai)항 시설현황	12
<표2-8> 상하이(Sanghai)항 개발계획	13
<표2-9> 선전(Shenzhen)항 시설현황	14
<표2-10> 선전(Shenzhen)항 개발계획	15
<표2-11> 카오슝(Kaohsiung)항 시설현황	16
<표2-12> 카오슝(Kaohsiung)항 개발계획	17
<표2-13> 칭다오(Qingdao)항 시설현황	17
<표2-14> 칭다오(Qingdao)항 개발계획	18
<표2-15> 닝보(Ningbo)항 시설현황	18
<표2-16> 닝보(Ningbo)항 개발계획	19
<표2-17> 텐진(Tianjin)항 시설현황	19
<표2-18> 텐진(Tianjin)항 개발계획	20
<표2-19> 부산(Busan)항 시설현황	21
<표2-20> 부산(Busan)항 개발계획	22
<표2-21> 중국 주요항만과 부산항만의 시설현황	22
<표3-1> 생산 효율성 평가 방법론의 장단점 분석	30
<표3-2> DEA를 이용한 선행연구	34
<표4-1> 투입 요소간의 상대적 중요도	48
<표4-2> 산출 요소간의 상대적 중요도	49
<표4-3> DEA 분석에 사용된 변수 및 변수정의	50
<표4-4> DEA분석대상	50
<표4-5> 물동량 크기별 DMU 현황(2004년)	51

<표4-6> 물동량 크기별 DMU 현황(2003년)	51
<표4-7> 각 항만의 효율성 평가(2004년)	52
<표4-8> 각 항만의 효율성 평가(2003년)	52
<표4-9> 각 항만의 효율적인 수심(2004년)	54
<표4-10> 각 항만의 효율적인 수심(2003년)	54
<표4-11> 수심의 여부에 따른 효율성(2004년)	55
<표4-12> 수심의 유무에 따른 효율성(2003년)	55
<표4-13> VRS 모델 Input Slacks(2004년)	57
<표4-14> 2003년 VRS 모델 Input Slacks(2003년)	57
<표4-15> 각 항구의 적정 투입량(2004년)	58
<표4-16> 각 항구의 적정 투입량(2003년)	58
<표4-17> 중국 주요 항만의 물동량 증감율과 효율성	60

그림 목 차

<그림 2-1> 중국 4대 경제권	7
<그림3-1> 기술적 분배적 효율성	36
<그림3-2> 산출지향 기술적, 분배적 효율성	39
<그림3-3> 요소 및 산출지향 기술효율성 측정과 규모수익	41
<그림3-4> 규모의 효율성	42
<그림 3-5> 효율성 측정과 요소 잉여	45

ABSTRACT

An Empirical study on the Efficiency of Major Chinese Ports with DEA Method

Lee, Young Hyun

Department of International Trade
Graduate School of Korea Maritime University

Chinese ports are growing rapidly in the scale of ports and container cargo handling aspect in accordance with fast economic growth.

In this study, I focus on evaluating a relative efficiency of 7 Chinese ports which belong to top 20 ports in the world. In order to estimate the economic efficiency Data Envelopment Analysis(DEA) is utilized as an estimation method. DEA is a liner programming based upon the technique for measuring the relative performance of organizational units where the presence of multiple inputs and outputs makes comparison difficult. DEA provides the user with information about the efficient and inefficient units, as well as the efficiency scores and reference sets for inefficient units.

As a result, I can get the several conclusions as follows.

First, Hong Kong, Sanghai, Shenzhen is being operated at the optimal scale in 2004. Ningbo, Qingdao, Tianjin reach the technical efficiency in the view of variable returns to scale, even though they are not being operated at the optimal scale. However Busan and Kaoshiung are being operated in the VRS's way when it comes to dealing with containers and what is worse, don't reach the technical efficiency. The level of scale efficiency is the lowest in the concerned port.

Second, Sanghai, Shenzhen, Ningbo, Qingdao, Tianjin have input slacks temporarily which lowers scale efficiency while Busan and Kaoshiung have input slacks in the long term.

Third, Sanghai, Shenzhen, Ningbo, Qingdao, Tianjin have dynamically experienced fast improvement in technical efficiency and scale efficiency. But Busan and Kaoshiung maintain the stalemate level which doesn't reach the optimal scale in efficiency.

In the East Area which has experienced the fastest economic growth in the world, to back up this growth each countries including Korea, China and Japan cannot help facing between-port-competition. In this context, for Busan and Kaoshiung to compete with Chinese Ports, the policy and research should be prepared.

제1장 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

오늘날 중국은 급속한 경제성장과 더불어 매년 물동량이 크게 증가 하고 있다. 중국은 90년대 연평균 10.1%의 경제성장률을 보였으며, 90년대 후반 이래 오늘날까지 연간 8%이상의 고성장을 지속하고 있다. 2000년 초반까지는 홍콩항, 카오슝항과 상하이항 등 몇몇의 제한된 큰 규모의 항만만이 중국의 물동량을 처리했지만, 칭다오, 닝보, 텐진항 등 새로운 항만들이 개발되기 시작하면서 처리 물동량이 여러 항만으로 분산되었고 물동량은 더욱 증가하고 있다. 특히 상하이항과 선전항은 2003~2004년의 컨테이너 물동량 증가율이 30%에 가까우며, 칭다오항은 21%, 텐진항은 26%, 그리고 닝보항은 44%에 이른다.

중국의 항만개발은 중앙정부의 통제아래 지방정부 또는 시정부의 주도로 이루어지고 있다. 연안의 각 지방정부(省)는 고유의 컨테이너 항만개발에 적극적이며, 외국기업과의 합작투자 형태의 항만개발을 선호하고 있다. 정부는 항만 관리 및 개발, 민간은 터미널경영을 원칙으로 하고 민간기업도 항만시설 투자가 가능토록 시장경제 운영시스템을 도입해서 항만을 개발하고 있다.

항만을 개발할 때 간과할 수 없는 문제는 항만의 효율성이다. 중국의 경제성장률이 아무리 높다 하더라도 항만의 효율성이 떨어진다면 물동량 처리의 급성장은 불가능하다. 여기서 말하는 효율성의 개념은 투입부분에 있어 공급과잉 혹은 산출부분에 과소산출을 하고 있는 정도¹⁾를 나타낸다. 즉, 효율적인 항만은 적정 투입요소로 적정 산출량을 얻는 항만이다.

2003년부터 중국의 주요 항만들이 부산항을 비롯한 타국의 경쟁항들을 밀어내고 물동량을 확보하고 있다. 이것은 중국의 주요 항만이 경쟁항들에 비해 상대적으로 효율성을 가지고 있다는 의미도 된다. 이 같은 사실은 한국무역협회가 2001년도에 이어 2004년 10월에 부산항에 취항하는 외국적 선사 30개

1) 강상곤(2001), 「DEA 모형을 이용한 컨테이너 항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구」, 석사학위논문, 해양대 대학원, p.56

사를 대상으로 실시한 설문조사 결과에도 잘 나타나 있다.²⁾ 2004년도 설문조사 결과에 의하면 외국적 선사들은 싱가포르, 홍콩, 카오슝 등 경쟁항만에 대비한 부산항의 항만운영효율성 정도에 대하여 평균 2.4점(5점 만점)이라고 밝혀 2001년(2.1점)에 비해 부산항의 운영시스템이 크게 개선되지 않았음이 나타났다.

본 연구의 주요 목적은 부산항을 기준으로 하여 컨테이너 처리량 세계 20위권 내의 중국 7개 주요 항만의 효율성을 측정하여 비교분석하는데 있다. 또한 이들 중국 각 항과 부산항의 투입요소를 분석하여 어떤 요소가 효율적 혹은 비효율적인가를 확인한 다음 적정 투입요소를 도출해본다. 그리고 앞의 분석결과를 바탕으로 중국의 각 항만과 부산항의 현황과 앞으로의 과제도 알아보고자 한다.

1.2. 연구의 방법

본 연구는 앞에서 지적한 것처럼 중국 주요항만에 대한 자료를 바탕으로 효율성을 실증적으로 분석한 것이다. 그러므로 효율성의 측정방법은 중요한 이슈가 된다.

효율성 측정은 모수 추정 여부에 따라 지수적 접근방법, 모수적 접근방법, 비모수적 접근방법으로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 모수 추정 없이 효율성을 측정하는 DEA(Data Envelopment Analysis) 모델을 이용한다. DEA는 주어진 자료를 이용하여 현실적인 등량곡선이나 생산가능곡선 또는 효율경계 (efficiency frontier)를 비모수적인 방법으로 추정하는 기법이다.³⁾ 미시경제학의 생산자이론의 이상적인 등량곡선 또는 생산가능곡선 추정과는 구별되며, 여기서 말하는 효율경계란 주어진 자료 아래서 의사결정단위점(Decision Making Unit: DMU)을 연결한 선을 의미한다. 즉 각 생산자 중 가장 효율적인 생산자를 찾아서 포락선을 추정한 후 비효율적인 생산자가 어떻게 하면 효율적인 생산자가 되는지를 분석하여 잉여 투입량을 계산한다. DEA는 데이터

2) 연합뉴스 보도자료 2004-11-08

3) Charnes, A., W.W Cooper and E. Rhodes(1978), 'Measuring the Efficiency of Decision Making Units', *European Journal of Operational Research*, 2, pp.429-444.

수가 적어도 의미 있는 결과를 유도할 수 있고, 함수형태 오차분포에 대한 사전 전제가 필요 없다는 장점이 있다.

본 연구에서 효율성 분석 과정은 다음과 같다. 첫째, 중국의 주요 항과 부산항의 시설현황을 파악한 후 투입요소와 산출요소를 선정한다. 이때, 투입요소는 각 항만 컨테이너 터미널의 모든 시설을 합한 값을 이용하였고 산출요소는 연구대상 항만에서 1년간 처리한 컨테이너 물동량을 이용하였다. 둘째 규모수익불변(Constant Returns to Scale:CRS) DEA 모델과 규모수익변화(Variable Returns to Scale:VRS) DEA 모델을 비교한 후 비교의 기준이 되는 모델을 정한다. 셋째, 각 항만의 투입요소의 효율성을 투입요소별로 측정하고 다음 적정 투입량을 알아본다. 넷째, 두 번째와 세 번째 단계에서 얻은 결과를 바탕으로 2004년의 수치를 기준으로 효율적인 항만과 비효율적인 항만을 분류하고 비효율적인 요소를 분석한다. 이는 두 번째 단계에서 효율적인 항만이 과연 투입요소별로도 효율적인가를 알아보기 위함이다. 그리고 마지막으로, 비효율적 항만의 효율성과 적정 투입요소를 정리 한다.

1.3 논문의 구성

이 연구를 위해 세계 20위권 내 중국의 7개 항만과 부산항의 시설현황과 컨테이너 처리실적을 알아보고 수집된 자료에 의한 분석을 실시하여 다음과 같은 방향으로 연구를 진행하려 한다.

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

제2장에서는 중국 항만의 현황 및 특징에서는 중국의 주요 경제특구와 중국의 7개 주요 항만의 현황, 그리고 각 항만의 특징을 살펴본다.

제3장에서는 기존의 효율성 평가 방법론에 대해서 살펴보고 각각의 장·단점과 효율성 평가 방법 선정 시 유의점을 알아본다. 그리고 DEA 모델을 이용한 국내외의 효율성 평가 사례를 살펴본다.

제4장에서는 투입물 및 산출물의 변수를 선정한 다음 수집된 자료에 의한 DEA 분석결과를 나타내며, 비효율 항만의 앞으로의 과제 등을 알아본다.

제5장의 결론 부분에서는 분석결과를 요약한다.

제2장 중국 항만의 현황 및 특징

2.1. 중국의 주요 경제특구 현황⁴⁾

<표2-1>을 보면 미국 및 일본의 경기회복이 지연되고 있고, 한국과 동남아의 침체 속에서 중국만이 홀로 호황을 누리고 있음을 알 수 있다. 중국은 90년대 연평균 10.1%의 경제성장률을 보였으며, 90년대 후반 이래 연간 8%이상의 고성장을 지속하고 있다.

<표2-1> 주요 국가의 경제성장률 비교

(전년동기비, %)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003 상반기
중국	7.8	18.3	8.0	8.1	8.0	8.5
한국	-6.7	10.9	9.3	3.1	6.3	2.8
대만	4.6	5.4	5.9	-2.2	3.5	2.4
미국	4.3	4.1	3.8	0.3	2.4	1.7
일본	-1.1	0.1	2.8	0.4	0.1	0.05

자료 : 삼성경제연구소

중국 항만의 현황을 알아보기 전에 먼저 중국의 4대 경제권을 살펴보자. 중국의 4대 경제권을 먼저 이해하면, 중국주요 컨테이너항만의 지속적 성장 원동력을 한눈에 볼 수 있기 때문이다. 중국 동부 연안지역을 중심으로 형성된 거대 경제권이 산업 고도화와 경제발전을 견인하고 있으며, 이러한 성장 동력은 지역별 컨테이너항만의 발전으로 연계되고 있다.

4) 탁성제(2003), '중국항만 출장 보고서', 해양수산부,

동부 연안을 따라 크게 4 개의 경제권이 형성되어 있다. 그것은 상하이-장쑤성(江蘇省)-저장성(浙江省)을 중심으로 하는 장강(長江)델타, 광저우(廣州)-선전(深圳)-둥관(東莞) 일대의 주강(珠江)델타, 베이징-톈진(天津)의 허베이성(河北省) 권역, 둥베이 3성(랴오닝-지린-헤이룽장)로 분류된다(<그림2-1>참조). 각 경제권이 서로 경쟁하고 보완하면서 동반 성장 중에 있고, 중국 경제의 큰 축을 이루고 있다. 90년대 후반에는 이들 지역간 중복투자 문제가 심각했으나, 최근 들어 지역별로 산업이 특화되고 있는 추세이다. 다음은 지역별로 특화되고 있는 산업을 나타낸 것이다.

- ① 장강델타는 중국 최대의 경제권으로 제조업 및 금융의 중심지이다.
- ② 주강델타는 IT 제조업의 세계적 집적지로 급부상 중이다.
- ③ 다국적기업의 R&D 센터가 밀집한 북경은 지식기반산업의 중심지이며
- ④ 둥베이 3성은 ‘서부대개발 사업에 준하는 전략개발축’으로 지정되어, 향후 중국 4대 경제권으로 급부상 할 것으로 예상된다.

<표2-2> 4대 경제권 비교(2002년)

	인구 (만명)	GDP (억 위안)	중국 GDP 점유율(%)	교역규모 (억 달러)	주요항만
장강델타	13,653	19,101	18.9	1,849	상하이항, 닝보항
주강델타	7,859	9,419	9.2	2,211	선전항, 홍콩항
베이징-톈 진 (하북포함)	9,165	11,230	10.5	820	톈진항
둥북 3성	10,715	11,603	11.5	298	다롄항

자료 : 탁성제(2003), ‘중국항만 출장 보고서’, 해양수산부, p4

<표2-2>에서 보듯이 이들 4개 경제권의 GDP비율이 50%를 상회하고 있다. 이들 지역이 중국경제의 중심임을 알 수 있다. 특히 주장델타, 장강델타와 베이징-톈진지역의 교역량의 비중이 높아 그 배후 항구가 발달할 수 밖에 없다. 그래서 이들 세지역의 항구인 장강지역의 상하이항, 닝보항 주장지역의 선전항 홍콩항, 베이징-톈진지역의 톈진항은 세계 20대 주요항구에 포함될 정도로 급속한 성장을 지속하고 있다.

2.2. 중국 항만의 현황⁵⁾

2.2.1. 중국 항만의 물동량 현황

중국 경제의 급성장으로 인해 2002년부터 중국의 주요 항만들이 서서히 율락을 드러내기 시작했다. <표2-3>에 따르면, 2004년에는 홍콩(1위), 상하이(3위), 선전(4위), 카오슝(6위)등 컨테이너 처리량 세계항만 10위권 내에 중국항이 4개가 올라와있다. 그리고 11위부터 20위까지는 3개의 중국항(칭다오, 닝보, 톈진)이 올라와있다. 반면 부산항은 2002년까지 세계 3위 항만이었지만, 2003년부터는 두 단계 하락한 5위에 그치고 있다. 전년대비 물동량 증가율도 부산항(9.93%)임에 반면 상하이항(29.14%), 선전항(28.42%), 닝보항(44.50%)등의 물동량이 큰 폭으로 상승했다.

5) 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」

<그림 2-1> 중국 4대 경제권



자료 : 탁성제(2003), '중국항만 출장 보고서', 해양수산부, p6

앞 절에서 언급한 것처럼 세계 20대 항구에 포함된 중국 항구들은 대만의 카오슝 항구를 제외하고는 모두 중국 3개 경제권인 장강델타지역, 주장델타지역, 베이징-톈진지역의 배후항구로서 역할을 수행하고 있다는 것을 알 수 있다.⁶⁾

<표2-3> 세계 주요항만 물동량 현황

(단위:천TEU, %)

순위		항 만 명	2002년	2003년	2004년	03~04년 증감율
04'	03'					
1	1	홍 콩	19,144	20,449	21,932	7.25
2	2	싱가포르	16,941	18,410	21,329	15.85
3	3	상 하 이	8,620	11,280	14,567	29.14
4	4	선 전	7,614	10,610	13,625	28.42
5	5	부 산	9,453	10,408	11,442	9.93
6	6	카 오 슝	8,493	8,844	9,714	9.84
7	8	로테르담	6,506	7,144	8,281	15.91
8	7	L·A	6,105	7,179	7,321	1.98
9	9	함부르크	5,374	6,140	7,100	15.64
10	11	두 바 이	4,194	5,152	6,429	24.79
11	10	앤티워프	4,777	5,445	6,064	11.35
12	13	L·B	4,526	4,658	5,780	24.08
13	12	포트클랑	4,530	4,841	5,200	7.41
14	14	칭 다 오	3,410	4,240	5,140	21.23
15	15	뉴욕/뉴저지	3,749	4,068	4,760	17.01
16	16	탄중펠레파스	2,660	3,487	4,020	15.29
17	24	닝 보	-	2,772	4,006	44.50
18	21	텐 진	-	3,020	3,814	26.50
19	17	도 쿄	2,712	3,314	3,560	7.30
20	18	브 레 멘	2,998	3,191	3,469	8.70

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, pp.3-4.

6) 칭다오의 항구는 베이징-톈진지역의 범화북지역으로 포함할 수 있다.

<표2-3>을 중국의 7개 항과 부산항을 중심으로 정리하면 다음과 같다.

<표2-4> 중국7개 항만과 부산항 물동량 현황

(단위:천TEU, %)

순위		항 만 명	2002년	2003년	2004년	03~04년 증감율
04'	03'					
1	1	홍 콩	19,144	20,449	21,932	7.25
3	3	상 하 이	8,620	11,280	14,567	29.14
4	4	선 전	7,614	10,610	13,625	28.42
5	5	부 산	9,453	10,408	11,442	9.93
6	6	카 오 슈	8,493	8,844	9,714	9.84
14	14	칭 다 오	3,410	4,240	5,140	21.23
17	24	닝 보	1,860	2,772	4,006	44.50
18	21	텐 진	-	3,020	3,814	26.50

주 : <표2-3>을 요약

2.2.2. 중국의 주요 항만의 특징 및 시설 현황⁷⁾

본 절에서는 <표2-4>를 중심으로 중국의 7개 주요항만과 부산항의 시설현황을 살펴보려 한다. 각 항만의 선석수, 선석길이, 수심, (컨테이너 터미널)충면적, 컨테이너 크레인수(container crane:C/C)등의 자료와 항만의 특징을 살펴보고자 한다.

① 홍콩(Hong Kong)항

홍콩항은 자유무역항으로서 세계 제1위의 컨테이너 처리량을 자랑하는 민영화된 항만이며, 홍콩의 중국 반환이후 홍콩특별행정구('97. 7.1)로 관리되고 있는 항만이다. 홍콩항은 경제중심지인 화남지방의 관문에 위치하고 있으며, 중국의 개혁개발 정책이 본격화하면서 홍콩의 화물터미널 기능이 확대되고 있

7) <http://www.chinaports.com.cn/> &

한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」, pp.16-24.

다. 중국에서의 수출품은 육로(철도, 고속도로)와 수로(주강)를 통해 홍콩으로 이동한 후, 규모의 경제를 위하여 대형컨테이너선을 이용하여 제3국으로 운송되며, 수입품은 반대의 경로를 통하게 된다.

홍콩항의 운영체계를 보면 민간이 항만의 개발, 설계, 운영을 전담하고 정부는 항만개발 시 참여회사와의 개발계약체결에만 관여하고 다른 분야에는 전혀 개입하지 않고 있다. 또한 홍콩항은 노동자의 임금이 비싸기 때문에 노동조합이 없으며, 노동공급은 정부의 승인을 받은 민간의 노동인력 공급회사에 의해 터미널 운영회사에 제공되고 있다. 또한 터미널 운영회사는 민간인력 공급회사와 연조에 계약을 체결, 노동자를 확보함으로써 기계화, 자동화로 인한 노동자 수 감축에 따른 문제는 거의 발생되지 않고 있다.

홍콩항은 2004년 컨테이너 2193만TEU를 처리해 부동의 세계 1위 컨테이너 항만 지위를 유지했으나 상반기 11.2%였던 물량 증가율이 하반기에는 물동량이 감소(전년대비 2.9%)하여 전년대비 7.25%의 한자리수 증가에 머물렀다. 하지만 선전항의 급속한 성장에도 불구하고, 주강델타지역의 지속적 발전과 금융 및 물류 등 항만관련 인프라 시설의 안정으로 이 지역 허브항만으로 입지를 확고히 구축하고 있다. <표2-5>에서, 홍콩항의 총 선석수는 23개, 총 선석길이는 7259m, C/C는 89대 등으로 나타났다.

<표2-5> 홍콩(Hong Kong)항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)
Terminal1/2/5	8	2,322	14-15.5	918	27
Terminal 3	1	305	14	167	4
Terminal 8	2	640	14.5	300	10
Terminal4/6/7/9	13	3,992	12-15.5	1,110	48
계	23	7,259	12-15.5	2,485	89

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p.16

한편 홍콩항은 현재의 세계적인 위상을 유지하기 위해서는 향후 2011년까지 대단위 항만개발이 필요함을 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. <표2-6>은 홍콩항 개발계획을 정리한 것이다.

<표2-6> 홍콩(Hong Kong)항 개발계획

구 분	총면적 (천㎡)	선석수	선석길이 (M)	처리능력 (천TEU)	사업기간	비고
CT10	-	4	1,280	1,600	98~'11	
CT11,12	800	8	2,560	3,200	98~'11	총12선석 개발

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p16

②상하이(Sanghai)항

상하이항은 상하이시, 강소성, 절강성을 중심으로 하는 장강 델타의 수출입 항만이다. 상하이항을 거점으로 하는 장강델타는 중국의 최대의 경제권으로 제조업 및 금융의 중심지로서 2002년에는 중국 전체 GDP 101,161억 위안의 18.9%에 해당하는 19,101억위안의 소득을 올렸다. 중국에서 두 번째로 많은 컨테이너 물동량 처리실적을 보이며, 연평균 물동량 증가율('98~'02)이 29.6%로(부산항 12.2%) 보다 앞선다. 2002년 세계 4위에서 2003년 세계3위로 도약한 이후 2004년에도 세계 3위를 차지했다. 상하이 항만당국은 이러한 성장을 뒷받침하기 위해 2004년초 외교구(Waigaoqiao) 지역을 자유무역지대로 지정했으며, 항만에 대한 외국인 소유지분 비율을 100%까지 허용하였다. 선석수는 25개, 선석길이 6821m, 면적 4086면적(천㎡)등의 시설을 갖추고 있다.<표2-6>

<표2-7> 상하이(Sanghai)항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천 m ²)	C/C(대)
Baoshan	3	640	9.4	218	5
Jungong road	5	857	10.5	304	6
Zhanghua bang	4	784	12.4	303	8
Waigaoqiao I	3	900	12	498	7
Waigaoqiao II	3	1,490	13.2	633	6
Waigaoqiao III	3	900	12	500	10
Waigaoqiao IV	4	1,250	14.2	1,630	12
계	25	6,821	9.4~14.2	4,086	54

자료 : <http://www.chinaports.com.cn/> &

한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p.17 자료를 종합하여 작성

하지만 상하이항은 수심 깊은 항만이 많이 부족하다는 단점이 있다. 양쯔(揚子)강을 통해 유입되는 토사 때문에 상하이항은 얕은 수심(간조 8.5m, 만조 13.5m)으로 인해 상당히 큰 불편을 겪고 있다. 이 때문에 입출항 간격도 12,24,36시간 등으로 물때를 맞춰야 하고 4만t급 준설선 2척이 매일 바다 밑을 파내고 있는 형편이다. 이에 따라 중국은 대소양산섬 신항만과 상하이를 잇는 둥하이대교를 건설 중이다. 상하이와 신항만을 잇는 둥하이대교 길이는 무려 31km에 이른다. 신항만 건설의 성공 여부는 누구도 장담하지 못하지만, 공사가 완공되면 대형 화물선들이 수심 제한 없이 24시간 입출항이 가능해져 상하이항은 부동의 물동량 처리 세계 1위를 굳힐 전망이다. <표2-8>은 상하이 개발계획을 정리한 것이다.

<표2-8> 상하이(Sanghai)항 개발계획

구 분	총면적 (천m ²)	선석수	선석길이 (M)	처리능력 (천TEU)	사업기간	비고
Waigaoqiao V	-	13	-		'01~'11	'05까지 9개 준공
대소양산	-	52	21,200	15,000	'01~'20	'05까지 5개 준공

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p17

③선전(Shenzhen)항

선전항은 광둥성 선전시에 자리잡고 있다. 광둥성은 2002년 중국 전체 GDP의 11.5%에 해당하는 11,674억 위안의 기록했으며, 선전항이 있는 선전시는 2001년 광둥성 수출의 39.3%를 차지했다. 선전항은 2000년 까지만 해도 주목받지 못했으나 중국의 눈부신 경제발전을 발판으로 컨테이너 물량이 해마다 30~40%씩 불어나는 등 세계적인 항만으로 급부상하고 있다. 선전항은 지난 2000년 연간 컨테이너 처리실적이 395만TEU (1TEU는 20피트 컨테이너 1개)로 세계 10위항에도 들지 못했다. 그러나 2001년에는 507만개로 8위를, 2002년에는 761만개를 처리해 6위로 뛰어 올랐다. 이 같은 성장세는 2004년까지 지속돼 부산항과 카오승항을 단숨에 제치고 홍콩 싱가포르 상하이항에 이어 4위 자리를 차지했다.

선전항의 급성장은 지리적 입지가 뛰어나고 저렴한 노동력으로 물류비가 싼 데다 중국 정부가 허브항 육성에 강력히 나섰기 때문이라는 분석이 지배적이다. 남부 중국의 '주강(珠江)' 하구에 위치한 선전항은 배후에 최근 수년간 세계의 공장지대로 떠오른 광저우와 주하이 등이 물류지원 세력으로 버티고 있다. 또 베이징과 광저우 등을 잇는 철도와 3개의 고속도로가 거미줄처럼 나 있어 화물 수송이 용이하고, 물류부지와 시설도 충분하다. 게다가 TEU당 하

역요금도 700 홍콩달러(한화 약 12만원) 안팎으로 홍콩항보다 30%나 저렴하며 물류비가 다른 경쟁항에 비해 30~40% 적게 든다.

특히 중국 정부는 선전항 개발이 본격화된 1990년대말 이후에는 전체 항만 투자비의 25% 이상을 이곳에 집중시켰다. 선전항에는 현재 Yantian과 Chiwan, Shekou등 3개 컨테이너 터미널이 있으며 23개 선석을 갖추고 있고 C/C는 50대가 있다. 선석수는 부산항의 선석수와 같으며 C/C는 부산항보다 15개가 적다. 그럼에도 불구하고, 부산항보다 많은 물량을 처리하는 것은 연중 24시간 하역체계를 갖추고 있고, 생산성 향상을 위한 다각적인 대책을 수립, 시행하고 있기 때문이다. 이들 터미널은 모두 51대의 갠트리 크레인을 확보, 선석당 크레인 수가 평균 3.6대로 부산항(2.5대)보다 1대 이상 많다. 또 하역 노동자들에게도 인센티브제를 철저하게 시행, 생산성을 극대화하고 있다.

특히 Yantian은 편리한 하역작업을 위해 관련 소프트웨어를 끊임없이 업그레이드해 6단으로 적재된 컨테이너도 평균 1.2개를 움직이면 한 개를 배에 실을 수 있다. 반면 부산항은 4단으로 적재하고서도 한 개를 실으려면 1.6~1.7개를 옮겨야 한다.

이 같은 노력으로 선전항은 선석당 1시간에 평균 150개 이상의 컨테이너를 처리하게 되었으며, 부두 생산성 측면에서는 세계 으뜸을 달리고 있다.

<표2-9>선전(Shenzhen)항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천 m ²)	C/C(대)
Chiwan	8	1,420	12.5~14.5	400	14
Shekou	9	1,781	14	243	18
Yantian	6	2,350	14.0~15.5	1,180	18
계	23	5,551	12.5~15.5	1,823	50

자료 : <http://www.chinaports.com.cn/> &

한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p.18 자료를 종합하여 작성

<표2-10>선전(Shenzhen)항 개발계획

구 분	총면적 (천m ²)	선석수	선석길이 (M)	처리능력 (천TEU)	사업기간	비고
Chiwan 3단계	-	4	-			
Shekou 3단계	830	5	1,750		~'08	'05. 1선석, '08까지 4 선석
Yantian 4단계	1,020	6	1,828			

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p18

④카오슝(Kaohsiung)항

카오슝항은 2000년 부산항에 세계3위 자리를 내어 준 이후 카오슝항만 당국의 적극적인 물동량 유치 노력에도 불구하고 전년대비 4.1%의 낮은 증가세로 세계 6위로 밀려났다. 이는 중국의 대외개방 이후 대만의 값싼 노동력(제조업)이 본토로 이동함에 따른 노동력 부족(인건비 상승)과 주변 중국 경쟁항만들의 환적화물 흡수(60%의 환적 화물비율이 50%대로 감소) 등이 그 원인으로 생각된다.

카오슝항의 항만관리는 카오슝 항무국이, 항만부지의 소유권은 중앙정부가, 상부구조물의 소유권은 카오슝항무국이 운영하는 체제를 가지고 있으며, 카오슝항의 5개 컨테이너터미널 중 1터미널만 항만국이 직영으로 운영하고 있으며 나머지 터미널은 에버그린, 완하이, OOCL, APL, 양밍, 현대, 한진, 머스크, 시랜드, NYK 등 대만국적 선사 및 세계 주요선사에 임대하여 선사가 운영하고 있다. 카오슝항은 안벽, 부지조성등과 같은 기본적인 시설을 조성한 후 임대하고 하역장비를 포함한 대부분의 시설은 임차자가 설치하도록 하고 있는데 이와 같은 방식의 대표적인 모델은 제 5터미널의 78~81번 선석이다. 이러한 터미널 건설방식은 카오슝 항만당국의 입장으로서 개발비용 절감을, 선

사는 자신에게 적합한 하역시설을 결정하고 구축할 수 있어 운영 효율을 높일 수 있다는 장점이 있다. 최근 카오슝항의 터미널 건설에 이 방식이 선호되고 있다.

카오슝항의 항만배후 물류거점은 수출 가공지역(Export Processing Zone)과 특별지역(Special Zone)을 들 수 있다. 1995년부터 대만의 경제부는 수출 산업을 육성하며 자유로운 무역환경을 조성하기 위하여 수출 가공지역을 지정했다. 특히 이 지역은 생산거점으로 활용되고 있으며 최근에는 카오슝항과 주변지역을 아시아 태평양 경제 및 무역 특별지역으로 지정하여 항만구역 내에 첨단산업과 고 부가가치 산업 외에 창고나 물류센터의 기능을 강화하여 운영하고 있다.

<표2-11>카오슝(Kaohsiung)항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천 m ²)	C/C(대)
Terminal 1	4	848	10.5	105	5
Terminal 2	4	1,134	12	450	13
Terminal 3	3	960	14	486	12
Terminal 4	2	640	14	233	5
Terminal 5	5	1,490	13.5~15	633	14
계	18	5,072	10.5~15	1,907	49

자료 : <http://www.chinaports.com.cn/> &

한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p.18 자료를 종합하여 작성

카오슝항만 당국은 반 출입화물에 대한 관세면제, 직·간접세 감면, 항만이 용요율체계를 운영사와 이용자간 협상에 따라 자유로이 결정할 수 있도록 하는 FTHZ(Free Trade Harbor Zone)제를 도입하여 6개 지역을 지정할 예정이며, 초대형선 입항 및 One-Stop 복합물류서비스가 가능토록 설계된 2개선 석 및 복합 물류센터를 2005년까지 추가로 개발하기로 결정하는 등 물동량 유치에 위해 끊임없이 노력하고 있다.

<표2-12>카오슁(Kaohsiung)항 개발계획

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

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p19

⑤칭다오(Qingdao)항

북중국 해상운송의 중심지인 칭다오항은 중위권 항만의 치열한 순위 다툼 속에서 최근 5년간 연평균 25% 정도 물동량 증가율을 보이며, 꾸준한 상승세를 기록하고 있다. 칭다오항은 P&O ports를 비롯한 외국 선사들 간의 합작으로 컨테이너터미널 개발이 이루어지고 있으며, 향후 6년간 8억 달러를 투자하여 8개 선석을 추가 건설할 예정으로 있다. 그리고 Zim·Lloyd사가 제공하고 있는 Asia-USA Express 서비스의 기항지를 부산항 대신 칭다오항으로 옮긴 바도 있다.

<표2-13>칭다오(Qingdao)항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천m ²)	C/C(대)
West port	3	796	11.6~14.5	350	8
QHCC	6	1714.5	10.3~14.5	786	17
계	9	2,510.5	10.3~14.5	1,136	25

자료 : <http://www.chinaports.com.cn/> &

한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p.22 자료를 종합하여 작성

<표2-14> 칭다오(Qingdao)항 개발계획

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

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p23

⑥닝보(Ningbo)항

닝보항은 저장성 11개 도시중의 하나인 닝보시(상하이 맞은편)에 자리 잡고 있다. 닝보항을 거점으로 하는 저장성은 중국경제에서 4번째로 큰 규모로 2002년에 중국 전체 GDP의 7.6%에 해당하는 7,670억 위안을 기록했다. 그리고 닝보항이 있는 닝보시는 저장성의 13.2%에 해당하는 US\$181억의 경제 규모를 갖추고 있다. 닝보항에서는 중국에서 6번째로 많은 컨테이너 물량 처리실적을 올리고 있으며 1995년 16만TEU, 2002년에는 186만TEU, 2003년 2,77만TEU, 2004년에는 4,00만TEU(03년~04년 증가율이 44.50%)의 처리량을 기록하면서 급속한 성장을 했다. <표2-15>에서, 5개의 선석수와 2,138m의 선석길이, 16대의 C/C등의 시설을 확보하고 있다.

<표2-15> 닝보(Ningbo)항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)
Beilun CT	3	900	13.5	757	8
Beilun CT2	2	1,238	15	-	8
계	5	2,138	13.5~15	757	16

자료 : <http://www.chinaports.com.cn/> &

한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p.24 자료를 종합하여 작성

<표2-16>닝보(Ningbo)항 개발계획

구 분	총면적 (천㎡)	선석수	선석길이 (M)	처리능력 (천TEU)	사업기간	비고
	-	18	-		'02~'09	

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p24

⑦텐진(Tianjin)항

칭다오항과 더불어 북중국 주요항만인 텐진항은 2004년 한 해 동안 381만 TEU를 처리해 2003년 대비 26.50%의 증가율을 보였다. 텐진항은 2003년에 21위였지만, 2004년에는 3단계 상승한 18위에 랭크되었다. 텐진 항만당국은 급증하는 컨테이너 화물을 처리하기 위해 2003년, 약 2억 9000만 달러를 투자해 FCICT(Five Continents International Container Terminal) 4개 선석 개발을 완료하고 컨테이너 크레인 5기를 추가로 확충해 항만처리능력 150만 TEU까지 증가시켰다.

<표2-17>텐진(Tianjin)항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)
CT	4	1,300	10.0~11.0	575	8
Oriental CT	5	1,130	10.0~10.5	430	9
계	9	2,430	10.0~11.0	1,005	17

자료 : <http://www.chinaports.com.cn/> &

한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p.24 자료를 종합하여 작성

그리고 텐진 항만당국은 향후 컨테이너 물량이 지속적으로 증가할 것으로 전망하고 텐진항의 컨테이너 처리능력을 2010년까지 1000만TEU까지 확충할

방침이며, 텐진항 인근 해안지대와 150에이커 규모의 항만 배후단지 개발사업도 더불어 추진할 계획으로 있다.

<표2-18>텐진(Tianjin)항 개발계획

구 분	총면적 (천㎡)	선석수	선석길이 (M)	처리능력 (천TEU)	사업기간	비고
1단계	-	5	1,600	1,500	'04~'07	
2단계	-	5	1,600	1,500	'07~'09	

자료 : 한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발 계획 현황 및 분석」, p24.

⑧부산(Busan)항⁸⁾

3년 연속 컨테이너 처리 세계 3위의 위치를 지켜오던 부산항은 2003년 두 차례에 걸친 화물연대 운송거부 사태 등의 영향에도 불구하고 1,000만TEU는 돌파하였으나 중국의 상하이항, 선전항에 밀려 세계 5위 컨테이너항만으로 떨어졌다. 그리고 2004년에도 여전히 5위를 기록하고 있다. 이는 중국의 경제 규모의 차이에서 오는 자연적인 현상으로 보이나, 주목할 것은 환적화물의 경우 1996년 이후 2002년까지 연평균 증가율이 30% 가까이 되었으나, 2003년 9.3%에 그침으로서 그 동안 지리적 이점과 비교적 저렴한 항만사용료로 안주하여 온 부산항에 경각심을 일깨워 주고 있다.

현재 자성대·신선대 등 컨테이너 전용부두에는 부두 게이트에 폐쇄회로 TV(OCTV)가 설치되어 컨테이너 차량에 부착된 바코드를 자동 인식하여 화물 반 출입을 전산으로 관리하고 있다. 부두별로는 자체 정보망이 구축돼 컨테이너화물의 현재 위치를 파악 할 수 있는 추적 및 관리시스템이 갖추어져 있다. 그리고 부산지역의 경제적 비중을 연구기관이 조사한 바에 의하면 부산 지역 총 부가가치의 40%가 항만과 직접·간접으로 연관되어 있고, 부산지역 총 취업자의 27.4%가 항만 관련 산업에 종사하고 있다고 한다.

8) 부산항 부두관리공사 <http://www.bpmc.co.kr/>

<표2-19>부산(Busan)항 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)
Gamcheon CT	4	600	13.0	142	4
Jasungdae CT	5	1,477	10.0~12.5	645	13
Uam CT	3	500	11.0	159	13
Gamman CT	4	1,400	10.0~14.5	731	15
Sin-Gamman	3	826	13.6~14.8	308	7
Shinsundae CT	4	1,200	14.0	1,038	13
계	23	6,003	10.0~14.8	3,023	65

자료 : 부산항만공사, 부산항 부두관리공사 자료를 종합하여 작성.

2000년대의 항만환경 수요에 적극대처하기위해 정부에서는 '부산항 광역개발 기본 계획'을 수립하고 집행함으로써 부산항의 항만시설 및 기능을 재배치하여 항만 효율의 극대화를 꾀하고 있다. 특히 부산 신항 개발에 주력하고 있는데 개발계획은 다음과 같다.

<표2-20>부산(Busan)항 개발계획

구 분	총면적(천㎡)	선석수	선석길이(M)	처리능력(천TEU)	사업기간	비고
Busan New-Port 1단계	-	18	5,750	4,430	'95~'08	
Busan New-Port 2단계	5,500	12	4,200	3,610	'09~'11	
합계	5,500	30	9,950	8,040	'95~'11	

자료 : 부산항만공사, 한국컨테이너부두공단 자료를 종합하여 작성.

8개 항만의 시설현황을 요약하면 다음과 같다.

<표2-21> 중국 주요항만과 부산항만의 시설현황

구 분	선석수	선석길이(m)	수심(m)	면적(천㎡)	C/C(대)
Hong Kong	23	7,259	12-15.5	2,485	89
Sanghai	25	6,821	9.4~14.2	4,086	54
Shenzhen	23	5,551	12.5~15.5	1,823	50
Kaohsiung	18	5,072	10.5~15	1,907	49
Qingdao	9	2,510.5	10.3~14.5	1,136	25
Ningbo	5	2,138	13.5~15	757	16
Tianjin	9	2,430	10.0~11.0	1,005	17
Busan	23	6,003	10.0~14.8	3,023	65

주 : <표2-5~21>을 요약

제3장 효율성 평가 방법론 분석

3.1. 효율성 평가 방법론⁹⁾

효율성을 측정하고 평가하는 방식은 다양하게 연구되어 왔다. 여기서는 이러한 효율성 측정 방법을 첫째 지수적 접근방식, 둘째 모수적 접근방식, 셋째 비모수적 접근방식 등 세가지로 나누어 정리한다.

3.1.1. 지수적 접근방식

1) 단일 요소 생산성(Partial Factor Productivity : PFP) 분석

단일 요소 생산성은 단일의 생산 요소만을 투입하여 산출물을 얻는다고 가정할 경우의 생산성을 의미하는데, 실질 생산액을 단일 요소인 노동 투입량 또는 자본 투입량으로 나눈 평균 노동 생산성 지수나 평균 자본 생산성 지수가 그 대표적인 비교 척도로 사용되고 있다.

단일 요소생산성은 측정하기가 쉽고 정책 입안자들이나 일반인들이 이해하기 쉽기 때문에 기업의 효율성을 평가 하는데 널리 사용된다. 특히 고객서비스 불량에 대한 벌칙부과와 같은 인센티브 적용 시스템에서는 매우 유용한 기업성과 비교 방법이다.

그러나 단일 요소 생산성 측정치는 해석하는데 주의가 필요하다. 투입물 및 산출물간의 관계나 투입물 상호간의 대체 효과를 고려하지 못하는 부분적인 요소들의 측정치이기 때문에 다수의 투입물 및 산출물이 있는 경우에는 해석하기가 용이하지 않고 종합적인 생산성을 비교할 수 없다. 예를 들면, 한 기업의 노동 생산성이 높다고 하여 그 기업의 전체적인 생산성이 높다고 평가할 수는 없다. 그 이유는 노동 생산성이 노동투입에 의해서만 결정되는 것이 아니라 자본 투입에 의해서도 영향을 받기 때문이다. 즉 높은 노동 생산성의 원인이 노동을 자본으로 대체하였기 때문일 수가 있는 것이다. 이는 자본 생산성의 경우도 마찬가지이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 다수의 부분적 단일 요소생산성 측정치를 활용할 수가 있다. 그러나 각 측정치가 서로 다른 방향으로 움직이는 경우 기업의 전체적인 효율성을 측정하기가 곤란해진다. 또한 각 회사들이 서로 다른 사업 환경에 처

9) 강제성 & 서정규(2004), '가스 소매사업의 생산효율성 비교분석', 에너지경제연구원.

해 있을 경우에 단일요소생산성 측정치가 회사간의 효율성보다는 다른 요인들에 의해 서로 차이가 발생할 수도 있기 때문에 비교가 곤란한 점이 있다.

2) 총 요소 생산성(Total Factor Productivity : TFP) 분석

총 요소 생산성(이하 TFP)은 총 생산 요소의 투입단위당 산출량의 비율로 나타내는 지표로서, 산업 부문별 총 요소 생산성 변화추이와 생산성 변화 요인을 분석하는데 사용한다. TFP의 증가율은 투입량 증가분을 상회하는 산출량의 증가분의 비율로 측정한다. TFP의 증가는 기술진보, 효율성변화, 규모 및 경기순환효과, 측정 오차 등을 포함한다.

다수의 투입요소 혹은 산출물을 가진 산업의 경우 투입요소들의 증가가 동일한 비율로 발생하지 않기 때문에 TFP 증가율 계산은 간단하지 않다. TFP 측정 방법은 비율 또는 지수 접근방법과 성장 회계접근방법으로 구분할 수 있다.¹⁰⁾ 지수접근방법에는 J. W. Kendrick의 산술 평균 지수방법과 R. Solow의 기하 평균 지수방법이 있고, E. F. Denison과 D. Jorgenson이 시도한 성장회계접근방법은 기초자료가 연속적인 경우의 Divisia Index 접근방법과 기초자료가 불연속적인 경우 Tornqvist Index 접근방법으로 구분된다.¹¹⁾

TFP의 장점은 생산요소의 기여정도를 분석하는데 유용하고, 과거 성장패턴을 분석하고 미래 성장잠재력을 평가하는 유력한 수단이라는 점에 있다. 그러나 생산성 변화가 정태적 생산모형에서 잔차(residual)로서 구해지므로 성장에 따른 동태적 기술 유발 효과를 포착하지 못 하고, 기업간의 사업 환경 차이에 대한 통제가 제한적인 것이 단점이라 할 수 있다.

3.1.2. 모수적(계량 경제적) 접근방식

1) 일반회귀(OLS) 분석

경제현상에 대한 관찰은 실험불가능하고 통제불가능한 상황 속에서 이루어지기 때문에 경제문제에서 어느 한 변수와 다른 변수들간의 관계를 규정하기 위해서는 자료분석을 통한 추정이 불가피하게 된다. 이와 같이 한 변수와 여러개의 다른 변수들간의 관계를 추정하기 위한 대표적인 추정기법이 회귀분석이다. 회귀분석방

10) 총 요소 생산성 측정방법에 대한 구체적인 내용은 이근희(1997), 「지역별 총 요소 생산성의 변화와 결정요인」, 한국생산성본부 참조바람.

11) Kendrick (1961), Solow (1957) 및 Denison (1962)

식을 비용함수인 경우로 보면 $C=f(Y, W, Z)$ 형태의 비용함수를 추정하는데, 이것은 비용(C)을 산출물량(Y), 투입물 가격(W) 및 환경요인(Z)들의 함수로 파악하여 그것과 관련된 경제적 모수(parameter)를 추정하는 것이다.

① 최우추정법(method of maximum likelihood)

어떤 확률변수 X_i 의 주변확률 $p(x_i)$ 라하고 결합확률 $p(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 이 θ 의 함수라 하자. 각 x_i 의 주변확률과 결합확률이 θ 의 함수라는 고려하면 다음 식을 유도할 수 있다.

$$p(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) = p(x_1; \theta)p(x_2; \theta) \dots p(x_n; \theta) \quad (\text{식3-1})$$

이처럼 한 표본의 결합확률을 모수 θ 의 함수로 나타낼때 이 결합확률을 우도함수(likelihood function)라 하며 다음과 같이 표시한다.

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) = p(x_1; \theta)p(x_2; \theta) \dots p(x_n; \theta) \quad (\text{식3-2})$$

최우추정법은 주어진 표본관측치의 조합에 대하여 θ 가 취할 수 있는 여러 가지 중 표본의 우도함수를 최대화하는 값을 θ 에 대한 추정량으로 결정하는 방법을 말한다. 이 방법에 의해 산출된 추정량을 최우추정량(maximum likelihood estimator:MLE)이라 한다. 그러므로 최우추정법을 사용하여 효율성을 측정하려면 생산함수나 비용함수를 우도함수로 표시하여 관련 모수를 추정해야 할 것이다.

② 일반최소자승법(Ordinary Least Square : OLS)

최소자승법은 최우추정법의 경우와는 달리 표본관측치들이 갖는 확률분포를 알 수 없을 경우에도 모수에 대한 추정이 가능하다. 즉 최우추정법에 의해 해결할 수 없는 경우에도 그 적용이 가능하다는 매우 유용한 속성을 가지고 있다. 그래서 이 방법은 가장 일반적인 회귀분석방법이 되었다.

n개의 자료 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2) \dots (X_n, Y_n)$ 이 있다고 할때 모집단에서 모수는 독립변수와 종속변수가 다음과 같은 관계를 나타내고 있다. 즉 $Y^c = a + bX$ 이다. 그러나 실제자료에서는 이들 모집단의 변수와는 일정한 오차를 갖게 된다. 즉 $Y_i = Y_i^c + e_i$ 이다. 여기서 e_i 를 잔차라고 하고 이 잔차의 합을 최소화하는 방법을 최소자승법이라고 한다. 이것을 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\min \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_i)^2 \quad (\text{식3-3})$$

최소자승법을 사용하여 효율성을 추정하려면 생산함수나 비용함수를 사용하여 관측자료의 잔차를 최소화하여 관련 모수를 추정해야 할 것이다.

③ 수정 최소자승법(Corrected OLS:COLS)

COLS에 의한 효율성 측정 방법은 회귀분석 방법의 연장으로 이해할 수 있다. 그러나 효율성지수를 만드는 과정은 회귀분석 방법과 다르다. COLS 분석을 계량 경제적 방법론으로 설명하면 다음과 같다. 단일 산출물 Y를 생산하기 위해 N개의 투입물(X)을 사용하는 I 개의 기업을 전제로 할 때, 비용 프론티어는 다음과 같이 표현된다.

$$E_i \geq c(y_i, w_i; \beta), i = 1, \dots, I \quad (1) \quad (\text{식3-4})$$

여기서 E_i 는 생산자 i 에 의해 발생하는 비용지출이고 w_i 는 생산자 i 의 투입물 가격벡터이다. $c(y_i, w_i; \beta)$ 는 모든 생산자에게 공통으로 적용되는 최저 가능비용 프론티어이다. 투입물 비용지출 E_i 를 구성하는 투입물벡터 x_i 에 대한 정보는 비용 효율성을 투입물기준 기술효율성과 투입물 배분 효율성으로 구분이 가능하게 한다. 비용효율성(CE_i)은 최저 가능비용과 관측비용 지출의 비율로 결정된다.

$$CE_i = \frac{c(y_i, w_i; \beta)}{E_i} \quad (2) \quad (\text{식3-5})$$

최소가능비용은 실제비용보다 클 수가 없기 때문에 CE_i 는 항상 1보다 크거나 같다. 비용 경계가 로그선형 콕더글러스(log-linear Cobb-Douglas) 함수형태를 가진다고 가정하면, 수식 (1)을 다음과 같은 기술적으로 추정이 가능한 비용함수로 전환할 수 있다¹²⁾.

12) Kumbhakar and Lovell (2000), pp. 136-139.

$$\ln E_i = \beta_0 + \beta_y \ln Y_i + \sum_n \beta_n \ln w_{ni} + u_i \quad (\text{식3-6})$$

여기서 u_i 는 항상 양의 값을 갖는 비용 비효율성을 나타낸다. COLS 방법은 효율 비용함수의 형태를 사전적으로 설계해야 한다는 점과 단일의 최대 비용 효율기업에 의해 효율비용경계가 결정된다는 측면이 단점으로 지적될 수 있다. 또한 측정상의 오차 혹은 우연적인 요인들에 의한 비용차이를 인정하지 않는 것도 단점이다¹³⁾.

2) 확률경계분석(Stochastic Frontier Analysis : SFA)

확률경계분석은 효율비용경계를 추정할 때 측정오차 혹은 우연적 요인들의 가능성을 반영하는 방식이다. SFA에서 효율비용경계를 추정할 때 비용이 가장 효율적인 기업의 낮은 비용의 일부는 확률적 충격(stochastic shock)에 의해 발생된 것으로 간주되기 때문에 최대 비용효율적인 기업은 SFA에 의한 비용효율경계 아래에 위치하게 된다. SFA에서는 이와 같이 개별 기업의 비용에서 확률적인 요인들에 의한 비용 부분을 먼저 조정하고 COLS에서와 같은 방식으로 효율성 지수를 측정한다. 이렇게 SFA에서는 COLS에서 가장 비용효율적인 기업이 확률적 요인에 의해 비용 하향이 발생한 것으로 인정하기 때문에 SFA에서의 효율성지수는 대개 COLS에서의 효율성지수보다 높게 나타난다.

SFA를 좀 더 기술적으로 설명하면, 확률적 비용 프론티어는 수식 (4)와 같이 수식 (1)의 비용 프론티어에 개별생산자에게 발생할 수 있는 돌발 여건의 효과를 포착하는 $\exp\{v_i\}$ 가 추가된 형태를 갖는다.¹⁴⁾

$$E_i \geq c(y_i, w_i; \beta) \cdot \exp\{v_i\} \quad (\text{식3-7})$$

그래서 비용효율성(CE_i)은 개별생산자의 확률적 요소가 가미된 최저 가능비용과

13) 개별 생산자들의 돌발적인 사건에 의한 영향 (random shock)을 반영하지 않고, 비용함수와 실제 비용지출간의 차이(거리)를 모두 비용비효율성으로 보기 때문에, 이러한 방식으로 추정된 비용함수를 Deterministic cost frontier라고 부른다.

14) Kumbhakar and Lovell (2000), pp. 136-139.

관측비용지출의 비율로 결정된다(수식 (2) 참조). 비용 프론티어가 로그선형 콥더글러스 함수형태를 가진다고 가정하고, 기술적으로 추정이 가능한 비용 함수로 전환하면 수식 (5)와 같다.

$$\ln E_i = \beta_0 + \beta_y \ln Y_i + \sum_n \beta_n \ln w_{ni} + v_i + u_i \quad (\text{식3-8})$$

여기서 u_i 는 항상 양의 값을 갖는 비용 비효율성을 나타내고 v_i 는 u_i 와는 독립적인 대칭적 확률분포를 갖는다. SFA방식은 확률적 요인을 반영하지만 함수형태에 대한 사전적 설계가 요구 된다는 점에서 단점이 있다. 또한 확률적 요인을 반영하기 위해서 확률함수의 형태에 대한 사전적인 설계가 추가적으로 요구된다.

3.1.3. 비모수적 접근방식

비모수적(non-parametric) 추정방법은 추정하려고 하는 함수의 형태와 오차항에 대한 분포 형태를 사전적으로 전제하지 않는다는 점에서 모수적(parametric) 추정방법과 차이가 있다. 또한 계량경제적기법이 아닌 선형계획법(linear programming)을 통해 효율 프론티어를 구성한다는 특성을 갖고 있다. 이와 같은 비모수적 추정방법을 통하여 효율성을 측정하는 가장 대표적인 기법이 DEA(Data Envelopment Analysis)분석¹⁵⁾이다.

DEA는 주어진 자료를 이용하여 현실적인 등량곡선 또는 생산가능곡선(또는 효율경계: efficiency frontier)을 비모수적인 방법으로 추정하는 기법이다. 미시경제학의 생산자이론의 이상적인 등량곡선 또는 생산가능곡선 추정과는 구별되며, 효율경계란 주어진 자료 아래서 효율적인 생산자의 의사결정단위점(Decision Making Unit: DMU)을 연결한 선을 의미한다. 각 생산자 중 가장 효율적인 생산자를 찾아서 포락선을 추정한 후 비효율적인 생산자가 어떻게 하면 효율적인 생산자가 되는지를 분석하여 잉여 투입량을 계산한다.

DEA로 대표되는 비모수 추정 방법은 Farrell(1957)에 의해 처음 개발되었다. 그는 실제 투입물에 대한 효율적 투입물의 비율로서 총효율성(overall

15) Tim Coelli & D. S. Prasada Rao & George E. Battese(1998), 'Efficiency Measurement Using Data Envelopment Analysis(DEA)', *An Introduction To Efficiency And Productivity Analysis*

efficiency)을 측정하는 방법을 제안하였다. 그는 또한 총효율성을 기술효율성(technical efficiency : TE)과 분배효율성(allocation efficiency:AE)으로 이분하는 방법을 개발하였다. 기술적 효율성이란 기업이 주어진 투입으로 최대한의 산출을 얻을 수 있는 능력을 의미하며, 분배적 효율성이란 주어진 상대가격체계 아래에서 최적의 비율로 배합할 수 있는 능력을 의미한다.

Charnes, Cooper and Rhodes(1978)는 복합 산출물과 투입물의 경우에도 Farrell의 효율성측정을 적용할 수 있는 방법을 개발하였다. 그들은 다양한 규모의 차이를 효율성 측정에 반영하는 방법을 개발하여, 기술 효율성을 순 기술 효율성(pure technical efficiency : PTE)과 규모 효율성(scale efficiency : SE)으로 이분하였다. 또한 그들은 개별기업의 규모의 수익(return to scale)상태를 파악할 수 있는 방법도 개발하였다. 또한 효율성을 측정하는 접근방법은 투입 지향적이나 산출 지향적이거나로 구분된다. 투입 지향적 접근 방법은 산출의 수준을 일정하게 할 때, 얼마나 투입량을 줄일 수 있는가를 측정하는 것이고 산출지향적은 주어진 투입수준에서 얼마나 산출이 증가시킬 수 있는가를 측정하는 것이다.

3.2. 평가방법의 장단점 분석

단일 요소 생산성(Partial Factor Productivity : PFP)은 산정 절차가 간단하고 이해와 해석이 용이하다는 장점이 있는 반면, 다수의 투입 요소가 존재할 경우 투입 요소간의 상대적인 관계를 고려하지 않기 때문에 총체적인 효율성을 비교 평가하기가 곤란하다는 단점이 있다.

총 요소 생산성(Total Factor Productivity : TFP)은 다수의 투입물 및 산출물을 가중치를 통한 지수화로 총체적인 효율성의 평가가 가능하며, 생산요소가 기여하는 정도를 분석하는 데 유용하기 때문에 과거의 성장 패턴을 분석하고 미래 성장 잠재력을 평가하는데 유력한 수단이 되고 있다. 그러나 정태적 생산모형에서 잔차(residual)로서 구해지므로 성장에 따른 동태적 기술 유발 효과를 포착하지 못한다는 단점이 있다. 또한 생산자 간의 생산환경 차이를 통제할 수 있는 방법이 제한적이다.

계량 경제적 접근 방법인 단순 회귀분석이나 COLS는 다수의 투입요소 및 산출

물을 갖는 산업에 대한 평가가 가능하고, 생산 환경 변수를 모델 내에 직접 포함하는 것이 가능하다. 또한 실행이 용이하고, 투입요소와 산출물간의 관계를 규정하는 파라미터에 대한 통계적 추론이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 확률적 오차(stochastic error)를 고려하지 않기 때문에 프론티어와의 차이를 모두 비효율성으로 간주하는 문제점이 있다. COLS의 경우 프론티어가 단일 생산단위에 의해 결정되기 때문에 데이터에 특이성이 있는 생산단위가 포함될 경우 프론티어가 왜곡될 위험이 있다. 확률적 프론티어 접근방식에서는 COLS의 단점들이 없어지지만, 그 대가로 비효율구성요소(u_i)의 통계적 분포 형태를 사전에 설정할 필요가 있으며, 함수내의 파라미터(β)들과 비효율성요소(u_i)를 추정하기 위해서는 MLE(Maximum Likelihood Estimation)를 사용하는 등 추정이 간단하지가 않은 단점이 있다. 또한 비효율성을 확률적 오차의 일부로 간주할 수 있다는 문제가 있다.

비모수적 접근방식은 함수형태나 오차분포에 대한 사전 전제가 필요 없다는 점이 계량 경제적 접근방식에 비해서는 큰 장점이라 할 수 있다. 분석에 이용되는 데이터 수가 작아도 의미 있는 결과를 유도할 수 있고, 확보가 어려운 재무데이터 대신에 물리적 데이터를 사용할 수 있다는 점도 접근을 용이하게 하고 있다. 또한 생산단위의 환경변수를 모델 내에 직접 반영하거나 2단계 추정을 통해 효율성지수의 조정이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 투입변수의 선택, 데이터의 양과 정확도에 따라 결과가 민감하게 변동한다는 점이 비모수적 접근방식인 DEA 분석의 큰 단점이라 할 수 있다. 확률적 변동요인과 측정오차를 감안하지 않는 점은 SFA 분석방법을 제외한 다른 접근방법과 같은 문제점으로 지적된다. 주로 물리적인 측정 자료를 사용하기 때문에 변수간의 질적인 차이를 반영하지 못할 수 있으며, 투입변수에 대한 통계적 추론이 불가능하다는 단점도 있다. 마지막으로 한정된 생산단위 표본 내에서 투입변수가 늘면 늘수록 효율성지수가 과대하게 평가되는 경향이 있어, 생산 단위 간 효율성 차별화 능력이 감소되는 문제점이 있다.

<표3-1> 생산 효율성 평가 방법론의 장단점 분석

	장점	단점
PPF	<ul style="list-style-type: none"> - 산정절차가 간단하고 이해와 해석이 용이, 간단한 비교분석에 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - 투입요소간의 대체성을 반영할 수 없음 - 투입물과 산출물간의 관계를 고려하지 않음 - 총체적인 효율성 향상을 평가하기가 곤란함
TFP	<ul style="list-style-type: none"> - 생산요소의 기여정도를 분석하는데 유용 - 과거 성장패턴을 분석하고 미래 성장 잠재력을 평가하는 유력한 수단임 	<ul style="list-style-type: none"> - 정태적 생산모형에서 잔차(residual)로서 구해지므로 성장에 따른 동태적 기술 유발 효과를 포착하지 못 함 - 기업간의 사업 환경 차이에 대한 통제가 제한적임
COLS	<ul style="list-style-type: none"> - 실행이 용이 - 파라미터에 대한 통계적 추론가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 확률적 오차를 고려안함 - 프론티어가 단일 생산단위에 의해 결정됨 - 프론티어와의 차이를 모두 효율성 차이로 간주 - 효율성 측정치를 기술적 효율성 및 배분적 효율성으로 분석이 곤란
SFA	<ul style="list-style-type: none"> - 단일효율기업에의 의존성 극복 - 확률적 요소 반영 	<ul style="list-style-type: none"> - 비효율구성요소(U_i)에 대한 통계적 분포 설정 필요 - 파라미터 추정이 복잡 (MLE 방식 필요) - 비효율성을 오차로 간주 할 수도 있음.
DEA	<ul style="list-style-type: none"> - 데이터수가 작아도 의미 있는 결과 유도 - 확보가 어려운 재무 데이터를 사용하지 않음 - 샘플내의 모범사례와의 비교 - 함수형태, 오차분포에 대한 사전 전제가 필요 없음 - 환경변수 고려가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 투입변수의 선택, 데이터의 양과 정확도에 따라 결과가 민감하게 변동 - 확률적 요소와 측정오차를 감안하지 않음 - 변수간의 차이점을 물리적 투입변수로는 설명하지 못함 - 투입변수에 대한 통계적 추론이 불가능 - 투입변수가 늘면, 효율성 차별화 능력이 감소됨

3.3 추정모형: DEA 추정방식

3.3.1 효율적 평가 방법의 선정

중국 각 항만의 효율성 평가를 위한 방법론은 항만의 특성과 연관하여 선정할 필요가 있다. 일차적으로 PFP와 COLS 접근방법을 배제하였다. PFP의 경우에는 타 산업에서와 마찬가지로 다양한 투입물 요소가 존재하면서 투입요소간의 대체성을 부인할 수 없는 항만의 효율성을 평가하기에는 부적합한 것으로 판단된다. 단일의 최고 효율적 생산단위에 의해 프론티어가 구성되는 COLS의 경우에도 기본시설 차이가 심한 항만에 적용하기에는 문제가 있는 것으로 판단된다.

기존 연구 사례에서 어느 연구자도 PFP 방식을 평가방법으로 선정하지 않았으며, 다만 연구내용 중에서 참조되는 자료로만 활용하고 있다. COLS도 IPART 보고서에서만 활용되고 있는데, 이것도 DEA에 의한 측정치가 신뢰도가 있는 것인지를 평가하기 위해 SFA와 함께 보완적인 접근 방법으로 활용하고 있을 따름이다.

TFP, SFA와 DEA의 세 가지 중에서 TFP와 SFA도 다음과 같은 이유로 제외하였다.

TFP는 가격상한제 등 유인규제 실행단계에서 효율성 개선 기준을 마련하는 데 많이 이용되고 있는 방법이다. 그러나 투입물지수를 산정하기 위해서는 물리적 데이터 이외에도 투입물요소에 대한 비용이라는 재무적 데이터가 필요한데, 중국의 각 항만의 투입 요소에 대한 일관성 있는 비용 자료를 확보하기가 용이하지 않다는 문제가 있다. 그러나 TFP를 항만에 적용하는데 발생하는 더 큰 문제점은 TFP 접근방식으로는 중국 각 항만에 존재하는 다양한 시설의 환경 차이를 반영할 수 없다는 것이다. 그리고 일반적으로 TFP는 시간의 흐름에 따른 생산성의 변화를 비교하는데 활용되는데, 이러한 생산성 변화를 기술개선과 효율성 개선으로 구분해 줄 수 없다는 단점이 있다.

SFA는 각 항만의 특성과 비용자료의 확보문제 등을 고려하여 분석에서 제외하였다. 항만의 운영자는 주어진 공급 물량 하에서 투입물을 최소화시키는 경영효율화 활동을 할 수 있다. 이러한 사업 환경을 가진 산업에 대한 생산 효율성 평가 시에는 산출물 기준분석(output oriented analysis)보다는 투입물 기준분석(input oriented analysis)이 적절하다. SFA 분석에서 투입물 기준분석은 생산함

수의 추정보다는 비용함수의 추정과 관련되어 있다. 그러나 비용함수 추정에 의한 비용 비효율성 분석에는 투입요소의 비용 정보가 필요한데, 그 자료의 확보가 용이하지 않음은 이미 TFP 제외 사유에서 밝힌 바 있다.

DEA는 앞 절에서 설명한 바와 같이 여러 가지 장점을 갖고 있어 본 연구의 분석방법론으로 선택하였다. 본 연구에서 DEA를 활용하고자 하는 것은 생산 효율성을 종합 기술 효율성, 규모 효율성 등으로 구분할 수 있으며, 또한 함수형태, 오차분포에 대한 사전 전제가 필요 없고 데이터수가 적어도 의미 있는 결과를 유도할 수 있기 때문이다.

3.3.2 DEA 모형을 이용한 기존연구

앞 절에서 설명한 바와 같이 DEA는 여러 가지 장점을 가지고 있어, 국내외의 많은 학자들이 다양한 분야에 적용해서 효율성을 측정했다.

Roll과 Hayuth(1993)는 DEA를 이용하여 20개의 이스라엘 항만을 대상으로 하여 항만의 효율성을 결정짓는 요소를 밝혀냈고 또한 항만의 효율성을 측정했다. 항만의 효율성 분석에 사용된 변수는 다음과 같다. 분석에 사용된 산출물 자료는 화물처리량, 서비스 수준, 이용자의 만족, ship calls이며 투입물은 인적자원, 자본, 동질의 화물이다. 특정 항만에서 한 종류의 화물에 특화될수록 보다 높은 효율성을 가진다. 동질의 화물이 뜻하는 바는 바로 효율성과 직결된다. 이 연구에서는 항만의 효율성을 결정짓는 주요 산출 변수로 화물처리량, 서비스 수준, 이용자의 만족이라는 세 가지 변수가 책정되었고 주요 투입 변수로는 인적자원, 자본, 동질의 화물이라는 변수가 책정되었다.

Martinez-Budria et al (1999)은 DEA를 1993년부터 1997년까지의 26개의 스페인항만에 이용하여 항만의 효율성을 분석하였다. 이 분석에 사용된 산출물 자료는 화물처리량, 임대 수익이며 투입물은 노동지출(인건비), 감가상각, 기타 지출이다.

강재성과 서정규(2004)는 가스 소매사업의 생산효율성을 DEA를 이용하여 분석하였다. 이 연구에서는 1999~2003년간을 분석 기간으로 하여 30개의 도시가스회사를 비교대상으로 하였다. 분석에 사용된 산출물 자료는 가스 공급물량, 수요가수이며, 투입물은 총 배관길이(자본투자), 종업원 수이다.

곽영진(1993)은 국립 종합대학 20개 도서관의 89~91년까지 3년간 수치들

이용하여 효율성을 분석 하였다. 이 연구에서는 대학 도서관의 규모 및 대학 환경 등을 감안하여 그룹화 한 후 이들 간의 상대적 효율성을 DEA를 통해 분석하고 있다. 효율성 평가의 첫째 목적은 평가 대상 대학의 도서관 운영 효율성을 상대 평가하여 개별대학에 대한 종합평점을 얻고자 하는 데 있고, 둘째 목적은 상이한 도서관 또는 규모 및 대학 환경 등을 감안하여 그룹화 한 후 이들 간의 상대적 효율성을 비교하는 것이다. 여기서 분석에 사용된 산출물 자료는 분석이용자수, 대출책수, 직원수이며 투입물 자료는 시설면적과 장서량이다.

<표3-2> DEA를 이용한 선행연구

저자	연구항만	연구방법	결정요소
Roll & Hayuth(1993)	20개의 이스라엘 항만	DEA method	<Output factors> - 화물처리량 - 서비스 수준 - 이용자의 만족 <Input factors> - 인적자원 - 자본 - 동질의 화물
Martinez-Budria et al (1999)	26개의 스페인항만	DEA method	<Output factors> - 화물처리량 - 임대 수익 <Input factors> - 노동지출 - 감가상각 - 기타 지출
강재성 & 서정규 (2004)	30개의 도시가스회사	DEA method	<Output factors> - 가스 공급물량 - 수요가수 <Input factors> - 배관길이 - 종업원 수
곽영진(1993)	국립 종합대학 20개 도서관	DEA method	<Output factors> - 분석이용자수 - 대출책수 - 직원수 <Input factors> - 시설면적 - 장서량

3.3.3 DEA모형의 경제이론적 설명

경제적 의미에서 효율성을 이야기할 때 두 가지 측면에서 논의된다. 첫째 일정량을 생산하는데 생산요소가 얼마나 적게 투입되느냐 하는 방향이고, 둘째 일정 생산요소를 가지고 얼마나 많이 생산해 내느냐 하는 방향이다. 첫 번째와 같은 시각으로 효율성을 측정할 때 요소지향측정법(input-oriented measure)이라고 하고 두 번째와 같은 시각으로 효율성을 측정할 때 산출지향측정법(output-oriented measure)라고 한다.

또한 생산요소와 생산량간의 상호 유기적인 관계에서 효율성을 찾아볼 수 있다. 즉 생산요소를 h배 증가했을 때 생산량도 h배 증가하느냐 하는 것이다. 이 경우 3가지로 분류할 수 있다. 생산요소를 h배 증가했을 때 정확히 생산량이 h배 증가하면 규모수익불변(Constant Returns to Scale:CRS)이 작용한다고 하고 생산량이 h배 이상 증가하는 경우 규모수익체증(Increasing Returns to Scale:IRS)이 작용한다.¹⁶⁾ 이 때의 효율성을 규모의 효율성(scale efficiency)이라 한다. 또한 생산량이 h배 이하로 증가한 경우 규모수익체감(Decreasing Returns to Scale:DRS)으로 분류할 수 있다. 여기서는 IRS와 DRS를 CRS와 대비하여 변동규모수익(Variable Returns to Scale:VRS)으로 하여 분석한다.

①요소지향효율성 측정(input-oriented measure)

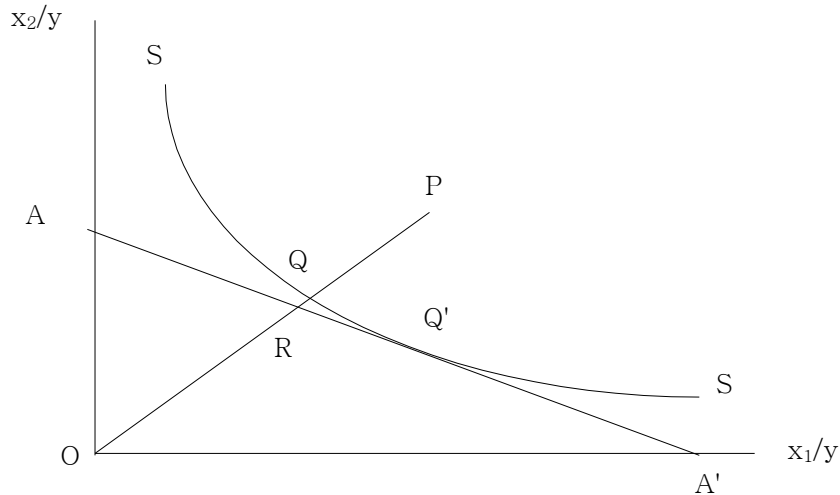
요소지향효율성은 생산량의 변화없이 어떻게 생산요소량을 줄일수 있을까 하는 물음에서 출발한다.

먼저 생산함수를 CRS로 가정하고 생산요소가 두 개(x_1, x_2)있고 생산물이 하나(y)인 경우를 상정하자. 그러면 y 단위 생산에 투입된 생산요소를 각각 좌표로 하는 등량곡선을 <그림3-1>에서 처럼 SS'로 그릴 수 있다. 이 단위 등량곡선은 기업이 생산요소를 가장 효율적으로 조합하여 생산했을 때 도달할 수 있는 곳이다. 왜냐하면 단위 등량곡선상의 생산점은 한 생산요소의 증가 없이는 다른 생산요소의 감소가 이루어지지 않기 때문이다. <그림3-1>의 P점에서 단위생산이 이루어진다면 Q점보다도 두 요소를 더 많이 사용하고도 동일한 단위생산을 이룩하고 있다면 이 점이 비효율적이라는 것을 알 수 있다.

16) 이것은 규모의 경제(economy of scale)라고도 한다.

그래서 이와 같이 단위등량곡선 상에서 생산이 이루어지고 있을 때 기술적 효율성(technical efficiencies:TE)이 달성되었다고 말한다.

<그림3-1> 기술적 분배적 효율성



그러면 기술적 효율성 정도를 어떻게 측정할 수 있을까? Farrell(1957)¹⁷⁾은 기술적 효율성을 측정하는데 있어 Malmquist의 요소거리함수(input distance function)개념을 사용하였다.¹⁸⁾

Malmquist의 요소거리함수는 $d_i(x, y) = \max \{ \rho : (x/\rho) \in L(y) \}$ 로 정의되는데 여기서 $L(y)$ 은 y 를 생산하는데 필요한 요소량을 나타내는 집합을 의미한다. 즉 요소필요집합(input requirement set)이다. 이때 모든 생산가능점에 대해서 $d_i \geq 1$ 성립하고 생산이 단위등량곡선상에서 이루어질 때 $d_i = 1$ 이 성립한다.

이제 어떤 기업이 단위생산을 P에서 하고 있다고 하자. 단위등량곡선위에서 생산이 되고 있을 때 효율적이다. 그때 지표가 요소거리함수에서 1이므로 P점의 기술적 효율성은 다음과 같이 정의된다.

17) Coelli, T. et. al(1998) *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis* p134에서 재인용

18) 자세한 것은 전게서 p64 참조

$$TE_i = OQ/OP$$

이때 TE_i 의 값의 범위는 0과 1사이에 존재하게 된다.

기업의 궁극적인 목적은 이윤의 극대화에 있다. 기술적 효율성이 달성되었다고 해서 이윤극대화가 이루어지는 것은 아니다. 이윤극대화를 위해서는 가격변수의 정보가 필요하다. (생산요소)가격이 알려진 경우 단위생산할 때 이윤극대화를 고려해보면 비용을 최소화하는 문제와 동일하게 된다.¹⁹⁾ 이와 같이 이윤극대화가 달성되었을 때 분배적 효율성(allocative efficiency)이 달성되었다고 한다. <그림3-1>에서 단위생산하는 데 최소비용은 등비용선 AA'로 나타내고 있다. 즉 AA'선상의 모든 점은 실질비용이 동일하다는 것이다. 생산자균형점 Q'과 Q점은 동일한 단위등량곡선 위에 있기 때문에 단위량을 생산하는데 들어가는 실질비용은 R점으로 나타낼 수 있다. 즉 생산을 Q점보다는 Q'에서 생산하면 생산비용을 RQ만큼 절약할 수 있다. Q점은 기술적으로 효율적이지만 배분적으로는 비효율적이다. 그래서 P점에서 생산활동을 하고 있는 기업의 분배적 효율성은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$AE_i = OR/OQ$$

이제 총경제적 효율성을 정의하면 다음과 같은 비율로 나타낼 수 있다.

$$EE_i = OR/OP$$

이런 관계식을 이용하여 기술적 효율성, 분배적 효율성과 경제적 효율성은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$TE_i \times AE_i = (OQ/OP) \times (OR/OQ) = (OR/OP) = EE_i$$

이런 효율성 측정방식은 생산함수가 명확하게 주어졌을 때 효율성을 측정할 수 있다. 그러나 현실에서는 생산함수를 알 수 없는 경우가 대부분이다. 그러므로 표본 데이터에서 효율적인 등량곡선을 추정해내야 한다. Farrell(1957)은 가장 좌측에 있는 자료를 가지고 비모수 구간 선형볼록등량곡선(nonparameter piece wise linear convex isoquant)을 찾아냄으로써 생산함수를 추정할 수 있다고 했다.

19) 이윤극대화는 총수익과 총비용의 차를 극대화하는 것이다. 총수익은 가격과 산출량의 곱으로 표시되는데 가격이 일정하고 생산량이 단위생산으로 고정되어 있다면, 즉 총수익이 고정된 경우 이윤극대화는 비용을 최소화 했을 때 달성된다.

② 산출지향효율성 측정(output-oriented measure)

산출지향효율성 측정은 생산요소량의 변화없이 얼마나 많은 생산량을 증가할 수 있는가하는 물음에서 출발한다. 산출지향효율성 측정을 단순화하여 설명하기 위해 단일생산요소(x_1)와 산출량이 두 개(y_1, y_2)인 경우를 가정한다.

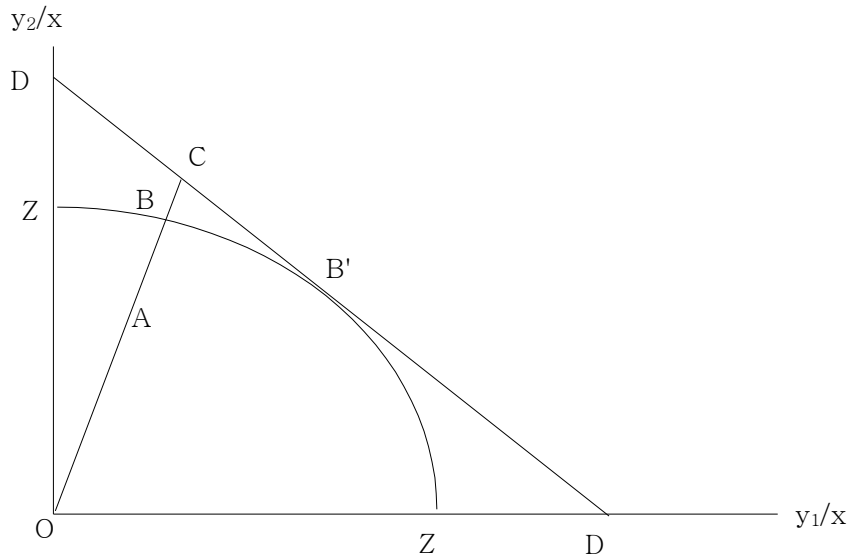
그러면 x 한 단위를 생산에 투입하여 생산할 수 있는 두 산출량의 생산가능곡선을 <그림3-2>에서 처럼 ZZ'로 그릴 수 있다. 이 생산가능곡선은 기업이 한 단위 생산요소를 투입하여 최대로 생산할 수 있는 두 산출량의 조합을 나타낸다. 왜냐하면 한 산출량 감소없이 다른 산출량 증가가 이루어지지 않기 때문이다. <그림3-2>의 A점에서 생산이 이루어진다면 동일한 생산요소를 사용하고도 B점보다 두 생산량이 적기 때문에 이 점이 비효율적이라는 것을 알 수 있다. 그래서 이와 같이 생산가능곡선상에서 생산이 이루어지고 있을 때 기술적 효율성(technical efficiencies:TE)이 달성되었다고 말한다.

그러면 기술적 효율성 정도를 어떻게 측정할 수 있을까? Farrell(1957)은 산출지향의 기술적 효율성을 측정하는데 있어 Malmquist의 산출거리함수(output distance function)개념을 사용하였다.²⁰⁾

Malmquist의 산출거리함수는 $d_0(x, y) = \min \{ \delta : (x/\delta) \in P(x) \}$ 로 정의되는데 여기서 $P(x)$ 는 생산요소 x 를 사용하여 생산해낼 수 있는 생산량의 집합을 의미한다. 이때 모든 생산가능점에 대해서 $d_0 \leq 1$ 성립하고 생산이 생산가능곡선상에서 이루어질 때 $d_0 = 1$ 이 성립한다.

20) 자세한 것은 전게서 p63 참조

<그림3-2> 산출지향 기술적, 분배적 효율성



이제 어떤 기업이 A점에서 생산이 이루어지고 있다고 하자. 앞에서 설명한 것처럼 생산가능곡선위에서 생산이 되고 있을 때 효율적이다. 그때 산출거리 함수에서 1이므로 A점에서 기술적 효율성은 다음과 같이 정의된다.

$$TE_0 = OA/OB$$

이때 TE_i 의 값의 범위는 0과 1사이 존재하게 된다.

기업의 궁극적인 목적은 이윤의 극대화에 있다. 기술적 효율성이 달성되었다고 해서 이윤극대화가 이루어지는 것은 아니다. 이윤극대화를 위해서는 가격변수의 정보가 필요하다. (상품)가격이 알려진 경우 한 단위 생산요소가 투입될 때 이윤극대화를 고려해보면 비용이 일정하므로 총수익을 최대화하는 문제와 동일하게 된다. 이와 같이 이윤극대화가 달성되었을 때 분배적 효율성 (allocative efficiency)이 달성되었다고 한다. <그림3-2>에서 한 단위 생산요소가 투입되어 두 종류의 상품을 생산하고 그 상품을 판매하여 얻을 수 있는 최대 총수익을 나타내는 등수익은 DD'로 표현된다. 즉 DD'선상의 모든 점은 총수익이 동일하다는 것이다. 균형점 B'과 B점은 동일한 총수익곡선 위에 있

기 때문에 단위 생산요소로 생산할 수 있는 두 산출량의 총수익을 C점으로 나타낼 수 있다. 즉 생산을 B점보다는 B'에서 생산하면 총수익은 BC만큼 증가시킬 수 있다. B점은 기술적으로 효율적이지만 배분적으로는 비효율적이다. 그래서 A점에서 생산활동을 하고 있는 기업의 분배적 효율성은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$AE_0 = OA/OB$$

이제 총경제적 효율성을 정의하면 다음과 같은 비율로 나타낼 수 있다.

$$EE_0 = OA/OC$$

이런 관계식을 이용하여 기술적 효율성, 분배적 효율성과 경제적 효율성은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$TE_0 \times AE_0 = (OA/OB) \times (OB/OC) = (OA/OC) = EE_0$$

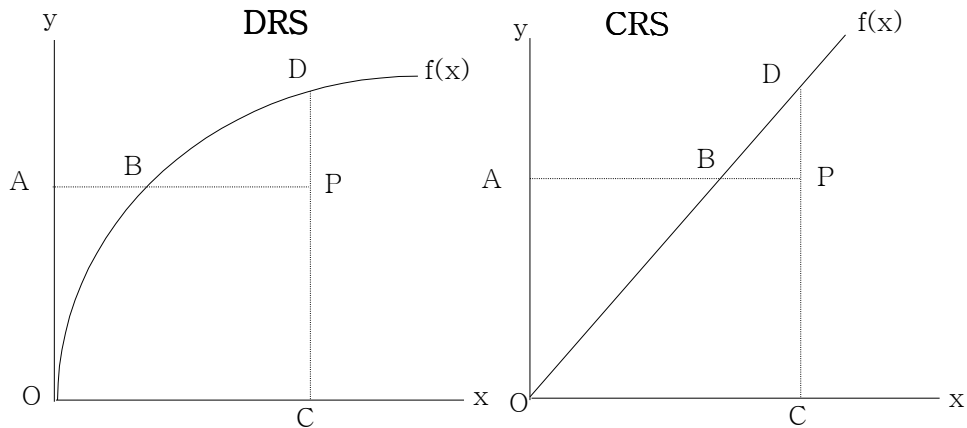
③ 규모의 효율성 측정

지금까지 효율성을 측정하는데 있어서 일정 생산량에 투입되는 생산요소를 감소시키는 방법(요소지향효율성)과 일정 생산요소를 가지고 생산량을 늘리는 방법(산출지향효율성)을 사용하였다.

그러면 투입요소가 증가할 때 산출량이 동시에 증가하는 경우 어떻게 효율성을 측정할 것인가? 투입요소증가율에 대응하여 산출량 증가율이 어떠한가에 따라 세 가지로 분류된다는 것을 앞서 설명하였다. 이와 같이 규모의 효율성은 생산함수의 규모수익과 밀접한 관련이 있다.

이것을 단순화하여 설명하기 위해 생산요소가 한 개 (x_1), 생산량이 한 개 (y_1)인 경우를 상정하자. <그림3-3>에서 좌측에 있는 생산함수 $f(x)$ 는 생산요소를 h 배 증가했을 때 산출량이 h 배 이하로 증가함을 보여주고 있기 때문에 규모수익체감(DRS)이 작용하고 있고, 우측에 있는 생산함수는 요소증가율과 산출량증가율이 정확히 일치하는 규모수익불변(CRS)을 나타내고 있다. 어떤 비효율적 기업이 P점에서 생산을 하고 있다면 두 그림에서 요소지향효율성은 AB/AP 로, 산출지향효율성은 CP/CD 로 측정된다. 여기서 주목할 것은 CRS인 경우 $AB/AP=CP/CD$ 이고 DRS인 경우 이 등식이 성립하지 않는다는 것이다.

<그림3-3> 요소 및 산출지향 기술효율성 측정과 규모의익



생산함수를 CRS로 가정하여 효율성을 측정하고자 할 때 모든 기업이 최적 수준에서 생산하고 있다는 것을 전제로 한다. 그러나 현실에서는 불완전경쟁, 투자자금에 대한 제약 등으로 기업들이 최적규모에서 생산할 수 없도록 하는 요인들이 많다. 그래서 Banker, Charnes & Cooper(1984)는 기업들의 생산함수가 CRS가 아닌 경우가 일반적이라는 사실을 받아드리고 추정가중치에 볼록성 제약조건(convexity constraint)을 삽입함으로써 CRS가 아닌 VRS (variable returns to scale)생산함수도 설명할 수 있도록 CRS DEA모형을 확장하였다.

생산함수가 VRS형태라고 한다면 CRS DEA분석과 DRS분석을 동시에 함으로써 순수 기술효율성과 규모의 효율성을 분리할 수 있다.

<그림3-4>는 VRS 생산함수와 CRS생산함수를 한 좌표에 동시에 그린 것이다. 어떤 비효율적인 기업이 P점에서 생산을 하고 있다면 CRS인 경우 요소지향 기술비효율성은 거리 PP_C 로 나타낼 수 있다. VRS인 경우 이 거리는 PP_C 이다. 이 두 거리의 차이 $P_C P_V$ 가 규모의 비효율성을 나타낸다.

이 개념을 효율성 측정지표로 나타내면 다음과 같다.

$$TE_C = AP_C/AP$$

$$TE_V = AP_V/AP$$

$$SE = AP_C/AP_V$$

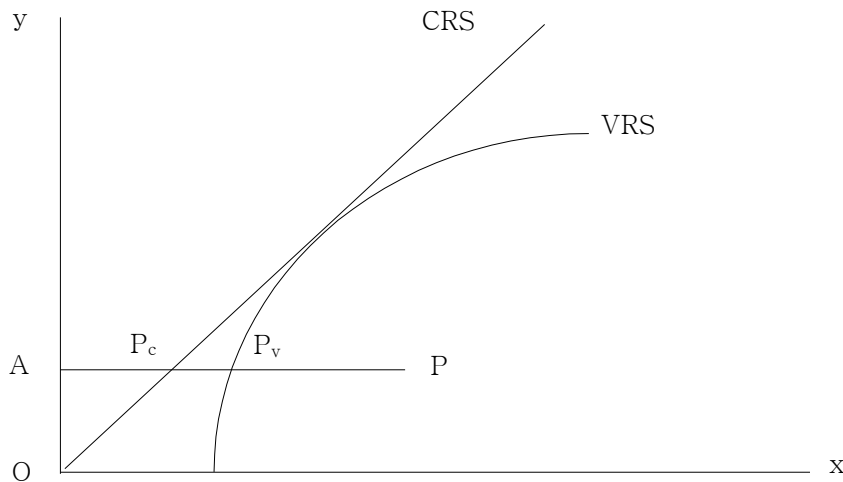
이것들의 모든 추정치는 0과 1사이에 존재하게 될 것이다. 이들 관계식에서 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$TE_C = TE_V \times SE^{21)}$$

즉 이 식은 CRS인 경우 기술효율성은 VRS인 경우 기술효율성과 규모의 효율성으로 구성되어 있다는 것을 보여주고 있다. 그래서 이 식을 통해서 $TE_C = TE_V$ 이면 규모의 효율성은 1이 되고 생산함수가 CRS임을 알 수 있고 $TE_C \neq TE_V$ 이면 VRS임을 알 수 있다.

또한 어떤 생산함수를 CRS로 가정하여 추정하면 VRS 기술효율성과 규모의 효율성이 혼용된 결과를 기술효율성 지표로 과대평가할 수 있고, VRS로 가정하여 추정하면 규모의 효율성을 무시하는 결과를 가져올 수 있다.

<그림3-4> 규모의 효율성



<그림

21) $AP_C/AP = (AP_V/AP) \times (AP_C/AP_V)$ 이기 때문이다.

3.3.4 DEA 추정모형

앞절에서 DEA추정모형이 갖는 의미를 명확히 이해하기 위해서 그와 관련된 경제이론과 개념에 대해서 설명하였다. 이 장에서는 그와 같은 개념을 일반화하여 추정모형을 제시한다.

① CRS DEA 추정모형

먼저 K개의 생산요소, M개의 산출량 그리고 그것을 생산하는 N개의 기업이 존재한다고 하자. i 번째 기업이 투입하는 생산요소 벡터는 x_i , 산출량 벡터는 y_i 로 나타낼 수 있다. 요소 행렬 X의 차원은 KxN, 산출행렬 Y의 차원은 MxN으로 표현되며 모든 기업의 생산요소와 산출량을 나타낸다.

앞 절에서 보듯이 모든 효율성지표는 비율로 나타낸다. 따라서 다수의 생산요소와 산출량이 존재하는 세계에서 효율성을 평가하기 위해 각 기업에 대해 모든 산출량과 생산요소의 비율로 표현한다. 즉 i 기업의 효율성 평가는 $u'y_i/v'x_i$ 의 비율로 이루어진다. 22)

이때 각 기업의 행동패턴을 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \max_{u,v} (u'y_i/v'x_i) \\ & \text{st } u'y_j/v'x_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, N \quad (\text{식3-9}) \\ & u, v \geq 0 \end{aligned}$$

이 식은 i 기업이 다른 모든 기업의 효율성지표가 1보다 작거나 같다는 조건하에서 효율성을 최대화하는 문제를 나타내고 있다. 그런데 생산요소와 산출량의 자료는 이미 주어진 것이기 때문에 이 최대화문제를 결국 생산요소와 산출량의 가중치 u,v의 값을 찾는 문제로 귀결된다. 이 문제는 전형적인 선형계획(linear programming)이다. 그러나 한 가지 문제는 비율에 대한 최대값을 구하는 문제이기 때문에 해가 무수히 많이 존재할 수 있다는 것이다.23)

22) 여기서 u'는 산출량의 가중치를 나타내는 Mx1벡터이고 v'는 생산요소의 가중치를 나타내는 Kx1벡터이다.

23) (u^*, v^*) 가 해라면 비율이기 때문에 (au^*, av^*) 도 해가되어 무수히 많은 해가 존재하게 된다.

이러한 문제점을 회피하고 유일한 해를 찾기 위해 한가지 제약조건을 추가한다. 즉 $v'x_i = 1$ 이다. 그러면 위 식은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max_{u,v} (u'y_i) \\ & v'x_i = 1 \\ & \text{st } u'y_j - v'x_j \leq 0, j = 1, 2, \dots, N \\ & u, v \geq 0 \end{aligned} \quad (\text{식3-10})$$

이제 이 식에 선형계획법의 쌍대적 원리(duality)를 적용하면 앞식과 동등한 문제인 다음식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta \\ & \text{st } -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (\text{식3-11})$$

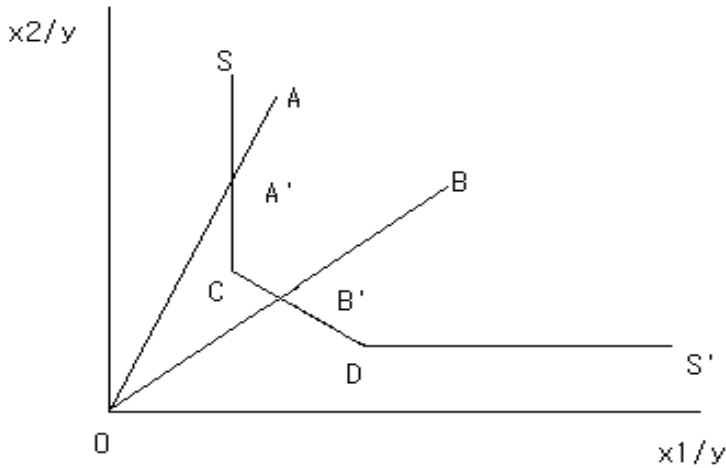
여기서 $\theta \leq 1$ 조건을 만족하고 있어 θ 는 i 기업의 효율성을 평가하는 지표를 나타낸다. $\theta = 1$ 인 경우 생산점이 효율성경계에서 이루어지고 있다는 것을 보여주며 기술적 효율이 달성되어 있다는 것을 의미한다. 이와 같이 각 기업에 대해서 N 번에 걸쳐 이 문제를 푼다면 각 기업의 효율성을 평가할 수 있게 된다.

<그림3-5>는 4개 기업을 대상으로 단위생산량에 투입된 생산요소의 좌표를 그린 것이다. 여기서 C, D 두 기업은 효율적 기업이고²⁴⁾ 이 두 기업에 대해 선형조합(linear combination)을 하면 효율성경계를 나타내는 단위등량곡선을 추정할 수 있다. A, B 두 기업은 비효율적인데 앞 식에서 구한 θ 값 즉 기술효율성의 지표는 각각 OA/OA'와 OB/OB'로 나타낸다.

24) 이 두 기업의 좌측에 어떤 기업도 존재하지 않기 때문이다.

② 잉여부분(slacks)

<그림 3-5> 효율성 측정과 요소 잉여



<그림3-5>에서 A기업의 기술적 비효율성을 지금까지의 방식으로 계산하면 OA'/OA 로 나타낼 수 밖에 없다. 그런데 A'와 C점을 비교하면 두 점은 모두 동일한 등량곡선상에 존재하므로 단위생산량을 표시하고 있다. 그런데 A'점은 C점에 비해 단위생산당 생산요소 x_2 를 A'C만큼을 더 투입하고도 동일한 생산량을 생산하므로 이 때 생산요소 x_2 의 A'C부분은 생산에 전혀 기여하지 못한다. 즉 x_2 의 한계생산물은 0이 된다. 이와 같이 생산에 전혀 기여하지 못한 여분의 생산요소를 요소잉여분(input slacks)라 한다.²⁵⁾

이러한 요소잉여분을 제거하고 A기업의 기술적 효율성을 측정하면 OC/OA 로 계산된다. 식(3)에서 두 제약조건이 모두 0인 경우 요소잉여부분은 0이 된다.

25) 이것은 산출지향효율성을 측정하는 방향으로 생각하면 산출잉여분(output slacks)에 대해서도 유추할 수 있다.

③ VRS DEA 추정모형

<그림3-4>에 설명했듯이 CRS생산함수와 VRS생산함수의 차이는 VRS 생산함수가 오목함수(concave function)이라는 것이다. 오목함수는 생산요소집합이 볼록성(convexity)을 갖기 때문에 식(1)에 대해 볼록성에 대한 제약조건을 부과하면 VRS인 경우의 효율성지표를 측정할 수 있게 된다. DEA추정모형에서 볼록성 제약조건을 각 기업에 부과된 가중치를 나타내는 λ 의 합이 1이라는 가정을 통해 효율경계를 관찰기업의 볼록조합으로 만든다. 볼록성 제약조건을 수식으로 표시하면 $\sum \lambda = 1$ 이다. 여기서 $\mathbf{1}$ 은 구성요소가 모두 1인 $N \times 1$ 벡터이다. 이와 같은 제약조건을 부과하여 식(3)을 변형하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \min_{\theta, \lambda} \theta \\
 & st \quad -y_i + Y\lambda \geq 0, \\
 & \quad \theta x_i - X\lambda \geq 0 \quad (\text{식3-12}) \\
 & \quad \mathbf{1}'\lambda = 1 \\
 & \quad \lambda \geq 0
 \end{aligned}$$

식(3)에 의해서 구해서 CRS하의 기술효율성 지표와 식(4)에 의해서 구해진 VRS하의 기술효율성 지표와 비교하여 생산함수가 어떤 형태인가를 추정할 수 있다. 또한 두 지표값을 비교하여 동일하면 규모의 효율성이 1이고 다르면 순수기술효율성과 규모의 효율성을 분리하여 추정할 수 있다.

제4장 중국항만의 효율성 평가

4.1. 투입물 및 산출물 변수 선정

DEA 모델을 이용한 효율성 평가에는 다수의 생산요소와 산출이 존재하는 경우를 상정한다. 그러므로 사용변수에 따라 상이한 평가결과를 보일 수 있으므로 변수선정의 문제는 DEA 모델의 진행절차에 있어서 1차적으로 중요한 사항이다. 그러므로 의사결정단위(Decision Making Unit:DMU)들에 공통적으로 적용할 수 있고, 생산성에 중요한 영향을 미치는 변수를 선정해야 한다.

4.1.1. 사전 변수선정

송재영(2000)은 현재 컨테이너 터미널에서 10년 이상 경력을 소유한 대리 이상의 15명의 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다.²⁶⁾

<표4-1> 투입 요소간의 상대적 중요도

순위	투입요소	산출결과
1	전산화	0.26146
2	장비수	0.20240
3	CY면적	0.16912
4	Yard Planning	0.14828
5	부두면적	0.09448
6	선석길이	0.07294
7	노동인력	0.05127

자료 : 송재영(2000), 「DEA/AHP를 이용한 컨테이너 터미널 효율성에 관한 연구」, 석사학위논문, 한국해양대학교 대학원, p.19

설문조사는 투입·산출요소간의 상대적 중요도를 묻는 질문으로 구성되었으며, 응답자의 지식을 정확하게 반영하는데 무리가 없는 9점 척도를 사용하였

26) 송재영(2000), 「DEA/AHP를 이용한 컨테이너 터미널 효율성에 관한 연구」, 석사학위논문, 한국해양대학교 대학원 pp.17-20

다. 그 결과는 <표4-1>에서 보듯이 투입요소는 전산화, 장비수, 컨테이너야적장 면적 등의 순서로 중요도에 대해 응답하였다. <표4-2>는 산출요소에 대한 중요도를 나타내고 있다. 여기서 컨테이너 처리량이 2위인 선석 점유율보다 더 높은 비율로 중요도로 평가되고 있다.

<표4-2>산출 요소간의 상대적 중요도

순위	산출요소	산출결과
1	컨테이너 처리량	0.52565
2	선석 점유율	0.20384
3	총 접안시간	0.18536
4	접안척수	0.08514

자료 : 전계서 p.19

여기서는 투입·산출요소를 채택하는데 있어서 기본적으로 송재영(2000)을 기본적으로 참조하고 중국의 주요 항만의 시설현황 자료를 통해 얻을 수 있는 변수들을 고려하여 선정하였다.²⁷⁾ 선정된 투입요소 5가지는 선석수, 선석길이, 수심, CT(Container Terminal)충면적, C/C(Container Crane)수이고 산출요소는 가장 중요하다고 평가되고 있는 컨테이너 처리량 하나로 국한시켰다.

4.1.2. DEA 분석에 사용된 변수 정의

DEA 모델을 이용한 효율성 평가에서 평가대상이 되는 DMU는 동종의 업종 또는 비슷한 운영구조를 가진 사업부 또는 사업체이어야 한다. 본 연구에 사용된 실증 분석 대상은 컨테이너 처리량 세계 20위권 내(2004년 기준)의 중국 7개 항과 부산항을 대상으로 하였다. 각 항만은 비슷한 업무수행을 하고 있고 투입, 산출요소에 있어서도 비슷한 구조를 가지고 있다. <표4-3>은 앞에서 선정한 투입요소와 산출요소의 부호(notation)와 내용에 대해서 설명한 것이다.

27) 중국 자료의 접근에 따른 애로 때문에 투입요소와 산출요소산정에 어느 정도 자의성이 내포되어 있다고 볼 수 있다.

<표4-3> DEA 분석에 사용된 변수 및 변수정의

Category	Variable-변수명	변수설명
Input data	V1 : 선석수	터미널 내의 선석의 수를 나타냄
	V2 : 선석길이	터미널 내의 선석의 길이를 나타냄
	V3 : 수심	각 터미널의 선석 수심을 나타냄
	V4 : 면적	CT의 총 면적(일반부두 면적은 제외)
	V5 : C/C 대수	Container Crane의 총 수량
Output data	U1 : 컨테이너처리량	연간 처리하는 총 컨테이너 수량

다음 표 <표4-4>는 분석에 사용된 항만과 그에 상응하는 DMU명이다.

<표4-4>DEA분석대상

DMU	Port Name
HK	Hong Kong
SH	Sanghai
SZ	Shenzhen
BS	Busan
KS	Kaohsiung
QD	Qingdao
NB	Ningbo
TJ	Tianjin

<표4-5>와 <표4-6>은 2004년과 2003년 각 항만의 투입요소와 산출요소에 대한 기본자료를 컨테이너처리량 순서대로 정리한 것이다.

<표4-5> 물동량 크기별 DMU 현황(2004년)

DMU	컨테이너처리량	선석수	선석길이	수심	면적	C/C대
HK	21,932	23	7,259	13.75	2,485	89
SH	14,567	25	6,821	11.8	4,086	54
SZ	13,625	23	5,551	14	1,823	50
BS	11,442	23	6,003	12.4	3,023	65
KS	9,714	18	5,072	12.75	1,907	49
QD	5,140	9	2,510.5	12.4	1,136	25
NB	4,006	5	2,138	14.25	757	16
TJ	3,814	9	2,430	10.5	1,005	17

주 : 본문 <표2-21>자료 정리

<표4-6> 물동량 크기별 DMU 현황(2003년)

DMU	컨테이너처리량	선석수	선석길이	수심	면적	C/C대
HK	20,449	23	7,259	13.75	2,485	89
SH	11,280	25	6,821	11.8	4,086	54
SZ	10,610	23	5,551	14	1,823	50
BS	10,408	23	6,003	12.4	3,023	65
KS	8,844	18	5,072	12.75	1,907	49
QD	4,240	9	2,510.5	12.4	1,136	25
NB	2,772	5	2,138	14.25	757	16
TJ	3,020	9	2,430	10.5	1,005	17

주 : 본문 <표2-21>자료 정리

4.2 추정결과 및 해석

<표4-5>와 <표4-6>는 앞에서 선정한 변수(8개의 DMU, 5개의 투입요소, 1개의 산출량)를 바탕으로 최근 2003년과 2004년 자료를 가지고 각 해당 항만의 효율성을 측정한 결과를 보여주고 있다.

<표4-7> 각 항만의 효율성 평가(2004년)

DMU	산출	투입					효율성(%)		
	컨테이너 처리량	선석 수	선석 길이	수심	면적	C/C 대수	CRS	VRS	Scale Efficiency
HK	21,932	23	7,259	13.75	2,485	89	1.000	1.000	1.000
SH	14,567	25	6,821	11.8	4,086	54	1.000	1.000	1.000
SZ	13,625	23	5,551	14	1,823	50	1.000	1.000	1.000
BS	11,442	23	6,003	12.4	3,023	65	0.691	0.930	0.743
KS	9,714	18	5,072	12.75	1,907	49	0.761	0.901	0.844
QD	5,140	9	2,510.5	12.4	1,136	25	0.792	1.000	0.792
NB	4,006	5	2,138	14.25	757	16	0.988	1.000	0.988
TJ	3,814	9	2,430	10.5	1,005	17	0.823	1.000	0.823
평균							0.882	0.979	0.899

주 : CRS= technical efficiency from CRS DEA
 VRS= technical efficiency from VRS DEA
 Scale Efficiency= CRS/VRS

<표4-8> 각 항만의 효율성 평가(2003년)

DMU	산출	투입					효율성(%)		
	컨테이너 처리량	선석 수	선석 길이	수심	면적	C/C 대수	CRS	VRS	Scale Efficiency
HK	20,449	23	7,259	13.75	2,485	89	1.000	1.000	1.000
SH	11,280	25	6,821	11.8	4,086	54	0.909	1.000	0.909
SZ	10,610	23	5,551	14	1,823	50	0.924	0.967	0.955
BS	10,408	23	6,003	12.4	3,023	65	0.697	0.948	0.735
KS	8,844	18	5,072	12.75	1,907	49	0.786	0.907	0.866
QD	4,240	9	2,510.5	12.4	1,136	25	0.738	1.000	0.738
NB	2,772	5	2,138	14.25	757	16	0.754	1.000	0.754
TJ	3,020	9	2,430	10.5	1,005	17	0.773	1.000	0.773
평균							0.823	0.978	0.841

주 : CRS= technical efficiency from CRS DEA

VRS= technical efficiency from VRS DEA
Scale Efficiency= CRS/VRS

2003년 추정결과를 보면(<표 4-8>) 홍콩항만만이 CRS DEA 분석 효율성 추정치와 VRS DEA 분석 효율성 추정치가 일치하여 기술적 효율성과 규모의 효율성이 1로 최대로 달성되어 가장 최적상태에서 컨테이너처리가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 즉 홍콩항만이 CRS생산체계에서 컨테이너처리가 이루어지고 있다는 것이다. 이에 비해 부산항, 카오슝항, 청도항, Ningbo항과 텐진항은 DRS생산함수임을 보여주고 있으나²⁸⁾ 이 중 청도항, Ningbo항과 텐진항이 DRS생산체계에서 기술적 효율성을 달성하고 있다. 다만 규모의 효율성측면에서 다른 항구에 비해 비효율적이다. 부산은 DRS생산체계이면서 기술적 효율성도 최대한 발휘하지 못하고 있으며 규모의 효율성측면에서도 홍콩, 상하이, 선전항과 비교하여 훨씬 비효율적이며 대상 항구 중에서 최하위를 나타내고 있다.

2004년 추정결과를 보면(<표4-7>) CRS 생산체계를 갖춘 항구가 홍콩항을 포함하여 상하이, 선전항으로 확대되었다. 즉 DRS생산체계가 CRS체계로 전환하였다는 것을 의미하며 최적상태에서 컨테이너처리가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 여전히 DRS생산체계인 청도항, Ningbo항과 텐진항은 기술적 효율성이 최대로 달성되고 있으며 규모의 효율성도 0.738-0.773수준에서 2004년 1년 동안 규모의 효율성이 0.792-0.988수준으로 획기적으로 증가되었다. 이에 비해 부산항은 효율적인 생산체계의 변화도 일어나지 않고 DRS생산체계내에서도 여전히 기술적 효율성을 달성하지 못하고 있으며 규모의 효율성도 크게 변화없이 대상항구 중에서 가장 최하위를 기록하고 있다.

이것은 1년이라는 짧은 기간안에 상하이, 선전항이 최적상태에서 운영되고, 기타 청도항, Ningbo항과 텐진항에서 기술적 효율성뿐만 아니라 규모의 효율성이 획기적으로 개선된 것은 기술혁신, 인력양성 등 중국정부의 획기적인 투자가 이루어지고 있다는 것을 의미한다.

각 항구의 투입요소 중 수심은 크게 차이가 나지 않아 수심변수만을 사용하여 기술적 효율성이 달성된 수심길이(효율수심:projected value)를 추정하였

28) CRS DEA 분석결과와 VRS DEA 분석결과에 차이가 발생하면 그것은 생산함수가 DRS임을 나타낸다.

다. <표4-9>는 각 항만의 효율적인 수심을 나타내고 있는데 대상항구 모두 효율성을 잉여부분없이 다 달성하고 있다.²⁹⁾

<표4-9> 각 항만의 효율적인 수심(2004년)

(단위 : m)

DMU	Original Value(수심)	Projected Value	slack movement	radial movement
HK	13.750	13.750	0.000	0.000
SH	11.800	11.800	0.000	0.000
SZ	14.000	14.000	0.000	0.000
BS	12.400	11.531	0.000	-0.869
KS	12.750	11.492	0.000	-1.258
QD	12.400	12.400	0.000	0.000
NB	14.250	14.250	0.000	0.000
TJ	10.500	10.500	0.000	0.000

주 : 본문 <표4-7>의 모든 DMU의 수심변수만 정리

<표4-10> 각 항만의 효율적인 수심(2003년)

(단위 : m)

DMU	Original Value(수심)	Projected Value	slack movement	radial movement
HK	13.750	13.750	0.000	0.000
SH	11.800	11.800	0.000	0.000
SZ	14.000	11.915	-1.624	-0.461
BS	12.400	11.753	0.000	-0.647
KS	12.750	11.563	0.000	-1.187
QD	12.400	12.400	0.000	0.000
NB	14.250	14.250	0.000	0.000
TJ	10.500	10.500	0.000	0.000

주 : 본문 <표4-8>의 모든 DMU의 수심 변수만 정리

29) 부산항과 카오슝항은 효율수심이 각각 11.531과 11.492인데 실제로는 12.4와 12.75를 나타내고 있어 효율성을 초과 달성하고 있다. 그래서 방사선비율이 -값을 나타내고 있다.

수심변수의 중요도를 알아보기 위해 수심변수를 제거하고 효율성을 추정하였다.

<표4-11> 수심의 여부에 따른 효율성(2004년)

DMU	효율성(%)			
	CRS(수심제외)	CRS(수심포함)	VRS(수심제외)	VRS(수심포함)
HK	1.000	1.000	1.000	1.000
SH	0.990	1.000	1.000	1.000
SZ	1.000	1.000	1.000	1.000
BS	0.688	0.691	0.711	0.930
KS	0.761	0.761	0.775	0.901
QD	0.792	0.792	0.981	1.000
NB	0.988	0.988	1.000	1.000
TJ	0.823	0.823	0.941	1.000
평균	0.880	0.882	0.926	0.979

<표4-12> 수심의 유무에 따른 효율성(2003년)

DMU	효율성(%)			
	CRS(수심제외)	CRS(수심포함)	VRS(수심제외)	VRS(수심포함)
HK	1.000	1.000	1.000	1.000
SH	0.909	0.909	0.947	1.000
SZ	0.924	0.924	0.967	0.967
BS	0.697	0.697	0.731	0.948
KS	0.786	0.786	0.838	0.907
QD	0.738	0.738	1.000	1.000
NB	0.754	0.754	1.000	1.000
TJ	0.773	0.773	1.000	1.000
평균	0.823	0.823	0.935	

<표4-11>과 <표4-12>에 의하면 수심변수를 제거하고 각 항구의 효율성을 추정하였을 때 2003년, 2004년 모두 전체적으로 기술적 효율성이 하락하였

다. 그러나 하락폭의 크기에 대해서 두 해 모두 CRS DEA 분석을 할 경우와 VRS DEA 분석을 할 경우 등 이미 기술적 효율성을 달성한 항구의 경우 큰 차이가 없으나 VRS생산체계를 항구 중 기술적 효율성에 도달하지 못한 항구의 경우 실질적인 효율성의 하락을 나타내고 있다.

이것은 생산체계가 CRS이면 정의상 모든 투입변수가 효율적인 상태에서 한 두변수 제거해도 기술적 효율성은 전혀 변화가 없어야 한다. 이와 같은 성질은 이미 CRS상태에 도달한 2003년 홍콩항, 2004년 홍콩항, 상해항, 선전항 등에서 발견할 수 있다. VRS 경우(DRS의 경우) 정의상 기술적 효율성에 이미 도달한 항구는 효율적 수준에 도달한 변수를 제거하면 약간의 효율성의 감소를 나타나게 된다. 이것은 칭다오항, 닝보항과 텐진항의 추정결과와 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 생산체계가 VRS이면서 기술적 효율에 도달하지 못한 항구의 경우 효율수준에 있는 변수를 제거하면 상당한 영향을 받게 된다. 부산항과 카오슝항이 좋은 예이다. 수심변수는 대상 모든 항구가 효율적 수준에 있는 상태에 있으므로 실질적인 변수로 역할로서 의미가 작다. 그러나 이 변수를 제거했을 때 부산항과 카오슝항이 가장 효율성의 하락을 가져온 것을 보면 수심변수를 포함하여 추정한 경우 전체적으로 효율성 추정에 대해 과대평가할 우려를 가질 수 있다. 그래서 수심변수를 제거하고 나머지 4변수로 다시 추정한 결과가 더 의미 있을 것으로 판단된다.

그래서 나머지 4개 변수 중 어떤 변수에서 비효율이 발생하고 있는지를 알아보기 위하여 각 변수의 요소잉여분(input slacks)을 추정하였다. 앞서 설명한 것처럼 요소잉여분은 적정규모를 초과하여 산출에 전혀 기여하지 못하는 즉 한계생산물이 0인 상태의 요소투입분을 말한다. <표4-13>과 <표4-14>은 각각 2004년 2003년 각 투입요소의 잉여분을 나타내고 있고 <표4-15>과 <표4-16>는 각각 2004년 2003년 최적상태에 이르렀을 때 적정규모를 나타내고 있다.

<표4-13> VRS 모델 Input Slacks(2004년)

DMU	선석수	선석길이	면적	C/C대수
HK	0.000	0.000	0.000	0.000
SH	0.000	0.000	0.000	0.000
SZ	0.000	0.000	0.000	0.000
BS	3.803	0.000	674.662	0.000
KS	1.180	0.000	136.944	0.000
QD	2.687	0.000	247.720	3.899
NB	0.000	0.000	0.000	0.000
TJ	3.471	149.059	188.882	0.000
평균	1.393	18.632	156.026	0.487

<표4-14> 2003년 VRS 모델 Input Slacks(2003년)

DMU	선석수	선석길이	면적	C/C대수
HK	0.000	0.000	0.000	0.000
SH	8.033	1738.948	2161.859	0.000
SZ	7.146	835.394	113.498	0.000
BS	3.372	0.000	666.985	0.000
KS	1.405	206.409	98.407	0.000
QD	0.000	0.000	0.000	0.000
NB	0.000	0.000	0.000	0.000
TJ	0.000	0.000	0.000	0.000
평균	2.494	347.594	380.094	0.000

<표4-15> 각 항구의 적정 투입량(2004년)

DMU	선석수	선석수	선석길이	선석길이	CT면적	CT면적	C/C대수	C/C대수
	OV	PV	OV	PV	OV	PV	OV	PV
HK	23	23	7,259	7,259	2,485	2,485	89	89
SH	25	25	6,821	6,821	4,086	4,086	54	54
SZ	23	23	5,551	5,551	1,823	1,823	50	50
BS	23	12.554	6,003	4269.26	3,023	1475.26	65	46.227
KS	18	12.772	5,072	3931.30	1,907	1341.16	49	37.980
QD	9	6.139	2,510.5	2461.95	1,136	866.313	25	20.618
NB	5	5	2,138	2,138	757	757	16	16
TJ	9	5	2,430	2138	1,005	757	17	16

(OV=Original Value, PV=Projected Value)

<표4-16> 각 항구의 적정 투입량(2003년)

DMU	선석수	선석수	선석길이	선석길이	CT면적	CT면적	C/C대수	C/C대수
	OV	PV	OV	PV	OV	PV	OV	PV
HK	23	23	7,259	7,259	2,485	2,485	89	89
SH	25	15.635	6,821	4718.57	4,086	1706.40	54	51.12
SZ	23	15.097	5,551	4532.93	1,823	1649.51	50	48.355
BS	23	13.447	6,003	4389.55	3,023	1543.51	65	47.530
KS	18	13.678	5,072	4043.63	1,907	1499.55	49	41.059
QD	9	9	2,510.5	2,510.5	1,136	1,136	25	25
NB	5	5	2,138	2,138	757	757	16	16
TJ	9	9	2,430	2,430	1,005	1,005	17	17

(OV=Original Value, PV=Projected Value)

2003년 요소 잉여분을 보면 상하이항은 선석수, 선석길이와 면적에서 가장 많은 잉여분을 가지고 있는 항구로 나타난다. 그 다음 선전항도 선석수, 선석 길이와 면적에 상당한 잉여분을 보유하고 있다. 이에 비해 부산항은 선석수, 면적 등에 카오승항은 선석수, 선석길이와 면적 등에서 상대적으로 적은 요소 잉여분을 보유하고 있었다. 그러나 2004년 자료를 보면 극적인 변화가 발생 하였음을 알 수 있다. 상하이항과 선전항의 상당한 요소잉여분이 전부 소진된

반면 칭다오항은 선석수, 선석길이와 컨테이너 크레인 수에서, 텐진항은 선석수, 선석길이와 면적에서 요소잉여분이 발생하고 있다. 그러나 부산항은 크게 변화가 없고 카오슝항은 선석길이에서 잉여분이 소진되었다.

요소의 비효율성을 살펴보기 위해 측정된 요소잉여분의 결과를 가지고 대상항구를 평가해볼 때 중국항구가 가장 극적인 변화가 발생하고 있고 대만의 카오슝항과 한국의 부산항은 가장 변화가 발생하지 않고 있다. 이것은 중국이 상해와 선전항 개발에 대대적으로 투자한 결과 발생한 여분의 항구가 2003년 요소잉여분을 작용하고 있다가 상하이항과 선전항의 물동량증가로 항구의 활용도가 급격히 증가하고 있다는 것을 보여주고 있다. 그만큼 상하이항과 선전항은 다른 중국항구에 비해 빠른 속도로 경쟁력을 갖추어나가고 있다는 것을 의미한다. 이와 비슷한 맥락에서 칭다오항과 텐진항의 경우를 살펴보면 2003년 항구가 요소잉여분없이 활용되고 있다가 2004년에 상당한 수준의 잉여분을 보유하고 있다. 이것은 두 가지로 해석할 수 있는데 물동량이 대거 감소하여 기존의 항구가 유휴시설로 남아있거나 대대적인 항구개발로 인하여 새로운 요소잉여분이 단기적으로 존재하는 경우이다. 그러나 현재 중국항구의 물동량 증가에 따른 항만서비스의 증가를 감안하여 볼 때 전자로는 도저히 해석할 수 없고 후자의 경우로 받아드려야 한다. 실제 중국은 상하이항을 필두로 하여 현재 각 지역의 산업단지의 배후항구로서 대대적인 개발을 시행하고 있다.

<표4-17>중국 주요 항만의 물동량 증감율과 효율성(단위:천TEU, %)

항 만 명	2002년	2003년	2004년	02~03년 증감율	03~04년 증감율	VRS (2004)
홍 콩	19,144	20,449	21,932	6.8	7.25	1.000
상 하 이	8,620	11,280	14,567	30.9	29.14	1.000
선 전	7,614	10,610	13,625	39.4	28.42	1.000
부 산	9,453	10,408	11,442	10.1	9.93	0.711
카 오 슝	8,493	8,844	9,714	4.1	9.84	0.775
칭 다 오	3,410	4,240	5,140	23.9	21.23	0.981
닝 보	1,860	2,772	4,006	49.0	44.50	1.000
텐 진	-	3,020	3,814	-	26.50	0.941

주 : 본문 <표2-4> 자료 요약

이와 같은 중국항구의 개발수요는 <표 4-20>으로 입증할 수 있다. 이 표는 대상항구의 물동량 추이를 나타내고 있는데 2003년과 2004년사이 중국의 상하이항, 선전항, Ningbo항, Qingdao항, Tientsin항은 모두 물동량증가율이 20%이상을 상회하고 있고 특히 Ningbo항은 44%이상 획기적으로 증가하고 있는 것이 두드러진다. 이에 비해 홍콩항, 부산항과 카오슝항은 10%를 하회하고 있어 좋은 대조를 보이고 있다.

이상 DEA분석을 방법을 통하여 실증분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 홍콩, 상하이항과 선전항 이미 최적상태에서 항구가 운용되고 있고 Ningbo항, 칭다오항과 Tientsin항은 기술적 효율성과 규모의 효율성이 빠른 속도로 증가하고 있는 반면 부산항과 카오슝항은 효율성 측면에서 큰 진전을 보지 못하고 있다.

둘째, 상하이항, 선전항, Ningbo항, 칭다오항과 Tientsin항은 항구개발에 의해 일시적으로 투입요소가 잉여분상태로 존재하지만 부산항과 카오슝항은 장기적으로 요소잉여분이 존재하고 있다. 이에 비해 홍콩항은 큰 변동없이 최적상태를 계속 유지하고 있다.

셋째, 상하이항, 선전항, Ningbo항, 칭다오항과 Tientsin항은 빠른 성장을 하고 있는 산업단지의 배후항구로 성장하고 있어 효율성이 향상되고 있는 반면 부산항과 카오슝항은 이미 성숙단계에 접어들어 효율성이 정체내지 하락하고 있다.

그래서 부산항과 카오슝항이 이들 중국항만과 경쟁을 하기 위해서 먼저 이런 효율성을 제고시키는 방향에서 정책이 이루어져야 할 것이다.

제5장 결론

오늘날 중국은 급속한 경제성장과 더불어 매년 물동량이 크게 증가 하고 있다. 중국은 90년대 연평균 10.1%의 경제성장률을 보였으며, 90년대 후반 이래 오늘날까지 연간 8%이상의 고성장을 지속하고 있다. 2000년 초반까지는 홍콩항, 카오슝항과 상하이항 등 몇몇의 제한된 큰 규모의 항만만이 중국의 물동량을 처리했지만, 칭다오, 닝보, 텐진항 등 새로운 항만들이 개발되기 시작하면서 처리 물동량이 여러 항만으로 분산되었고 물동량은 더욱 증가하고 있다. 특히 상하이항과 선전항은 2003~2004년의 컨테이너 물동량 증가율이 30%에 가까우며, 칭다오항은 21%, 텐진항은 26%, 그리고 닝보항은 44%에 이른다. 이렇게 빠르게 성장하고 있는 중국 주요항만들을 효율성측면에서 분석하였다.

대상항구는 세계 20위권에 드는 중국항구로 7개를 선정하였고(1개는 대만 가오슝항) 이들 중국항만과 대비시키기 위해 부산항을 첨가하여 총 8개항구이다. 추정방법은 Farrell(1957)이 제시한 DEA분석방법을 사용하였다. DEA추정방법은 경제적 효율성을 평가하는데 있어서 비모수적 접근방식을 택하고 있어 함수적 접근방식과 비교하여 상대적으로 간단하게 추정할 수 있다는 장점이 있다. 특히 DEA추정방식은 기술적 효율성과 규모의 효율성을 측정할 수 있는 반면 분배적 효율성을 추정할 수 없는 단점을 가지고 있다.

이와 같은 DEA추정방식을 사용하는데 투입요소변수로는 선석수, 선석길이, 면적, 컨테이너 크레인 수와 수심 등 5개가지를 사용하였고 산출요소로는 컨테이너처리량을 사용하여 2003년 2004년 2년간의 자료를 가지고 대상항구를 추정하였다.

이상 DEA분석을 방법을 통하여 실증분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 홍콩, 상하이항과 선전항 이미 최적상태에서 항구가 운용되고 있고 닝보항, 칭다오항과 텐진항은 기술적 효율성과 규모의 효율성이 빠른 속도로 증가하고 있는 반면 부산항과 가오슝항은 효율성 측면에서 큰 진전을 보지 못하고 있다.

둘째, 상하이항, 선전항, 닝보항, 칭다오항과 텐진항은 항구개발에 의해 일

시적으로 투입요소가 잉여분상태로 존재하지만 부산항과 가오슝항은 장기적으로 요소잉여분이 존재하고 있다. 이에 비해 홍콩항은 큰 변동없이 최적상태를 계속 유지하고 있다.

셋째, 상하이항, 선전항, 닝보항, 칭다오항과 톈진항은 빠른 성장을 하고 있는 산업단지의 배후항구로 성장하고 있어 효율성이 향상되고 있는 반면 부산항과 가오슝항은 이미 성숙단계에 접어들어 효율성이 정체내지 하락하고 있다.

이상의 결과를 보면 가장 빠른 경제성장을 경험하고 있는 동아시아지역에서 물동량이 증가하고 있는 상황에서 항구별 경쟁이 치열하고 전개되고 있다. 이러한 상태에서 기술적 효율성과 규모의 효율성에서 뒤지고 있는 부산항과 가오슝항은 불리한 위치에 있을 수밖에 없다. 이러한 상황을 극복하기 위해서는 효율성제고를 위한 대책이 심각하게 논의되고 준비되어야 할 것이다.

부 록

선석수별 VRS Model 분석결과 (2004년)

DMU	VRS	Scale Efficiency
HK	1.000	1.000
SH	0.624	0.979
SZ	0.637	0.975
BS	0.542	0.962
KS	0.596	0.949
QD	0.682	0.878
NB	1.000	0.840
TJ	0.556	0.800
평균	0.705	0.923

주) VRS= technical efficiency from VRS DEA

Scale Efficiency= CRS/VRS

EF: 효율적인 DMU, INEF: 비효율적인 DMU

선석 길이별 VRS Model 분석결과 (2004년)

DMU	VRS	Scale Efficiency
HK	1.000	1.000
SH	0.756	0.935
SZ	0.880	0.923
BS	0.710	0.889
KS	0.743	0.853
QD	0.981	0.691
NB	1.000	0.620
TJ	0.880	0.590
평균	0.869	0.813

주) VRS= technical efficiency from VRS DEA

Scale Efficiency= CRS/VRS

EF:효율적인 DMU, INEF:비효율적인 DMU

CT총 면적별 VRS Model 분석결과 (2004년)

DMU	VRS	Scale Efficiency
HK	1.000	1.000
SH	0.434	0.930
SZ	0.924	0.917
BS	0.488	0.880
KS	0.685	0.842
QD	0.763	0.672
NB	1.000	0.600
TJ	0.753	0.571
평균	0.756	0.801

주) VRS= technical efficiency from VRS DEA
 Scale Efficiency= CRS/VRS
 EF:효율적인 DMU, INEF:비효율적인 DMU

C/C수량별 VRS Model 분석결과 (2004년)

DMU	VRS	Scale Efficiency
HK	1.000	0.904
SH	1.000	0.990
SZ	1.000	1.000
BS	0.651	0.993
KS	0.738	0.985
QD	0.800	0.943
NB	1.000	0.919
TJ	0.941	0.875
평균	0.891	0.951

주) VRS= technical efficiency from VRS DEA
 Scale Efficiency= CRS/VRS
 EF:효율적인 DMU, INEF:비효율적인 DMU

선석수별 적정투입 요소 분석결과 (2004년)

DMU	OV	radial movement	slack movement	PV
HK	23	0.000	0.000	23
SH	25	-9.395	0.000	15.605
SZ	23	-8.341	0.000	14.659
BS	23	-10.533	0.000	12.467
KS	18	-7.268	0.000	10.732
QD	9	-2.861	0.000	6.139
NB	5	0.000	0.000	5
TJ	9	-4.000	0.000	5

주) (OV=Original Value, PV=Projected Value)

선석 길이별 적정투입 요소 분석결과 (2004년)

DMU	OV	radial movement	slack movement	PV
HK	7259.000	0.000	0.000	7259.000
SH	6821.000	-1665.992	0.000	5155.008
SZ	5551.000	-665.098	0.000	4885.902
BS	6003.000	-1740.725	0.000	4262.275
KS	5072.000	-1303.370	0.000	3768.630
QD	2510.500	-48.545	0.000	2461.955
NB	2138.000	0.000	0.000	2138.000
TJ	2430.000	-292.000	0.000	2138.000

주) (OV=Original Value, PV=Projected Value)

CT총 면적별 적정투입 요소 분석결과 (2004년)

DMU	OV	radial movement	slack movement	PV
HK	2485.000	0.000	0.000	2485.000
SH	4086.000	-2310.959	0.000	1775.041
SZ	1823.000	-138.764	0.000	1684.236
BS	3023.000	-1549.197	0.000	1473.803
KS	1907.000	-599.770	0.000	1307.230
QD	1136.000	-269.687	0.000	866.313
NB	757.000	0.000	0.000	757.000
TJ	1005.000	-248.000	0.000	757.000

주) (OV=Original Value, PV=Projected Value)

C/C수량별 적정투입 요소 분석결과 (2004년)

DMU	OV	radial movement	slack movement	PV
HK	89.000	0.000	0.000	89.000
SH	54.000	0.000	0.000	54.000
SZ	50.000	0.000	0.000	50.000
BS	65.000	-22.716	0.000	42.284
KS	49.000	-12.824	0.000	36.176
QD	25.000	-4.992	0.000	20.008
NB	16.000	0.000	0.000	16.000
TJ	17.000	-1.000	0.000	16.000

주) (OV=Original Value, PV=Projected Value)

선석수별 VRS Model 분석결과 (2004년)

DMU	VRS	Scale Efficiency
SH	0.624	0.979
SZ	0.637	0.975

선석 길이별 VRS Model 분석결과 (2004년)

DMU	VRS	Scale Efficiency
SH	0.756	0.935
SZ	0.880	0.923

CT총 면적별 VRS Model 분석결과 (2004년)

DMU	VRS	Scale Efficiency
SH	0.434	0.930
SZ	0.924	0.917

참 고 문 헌

<국내 문헌>

국문 보고서

강재성 & 서정규(2004), '가스 소매사업의 생산효율성 비교분석', 에너지경제연구원.

김형태, 성숙경, 이종필(2003), '중국의 항만 및 항만배후지에 대한 외국인 투자 유치정책과 시사점', KMI

김형태(1999), '항만노동생산성 향상방안 연구', KMI

박용욱, 목진용(2002), '항만하역 작업환경관리 개선방안', KMI

백종실, 황진희(2003), '동아시아 물류구조 변화와 국제 물류네트워크 구축 방안', KMI

양창호, 최종희, 최용석, 하태영(2003), '차세대 컨테이너터미널 운영 시스템의 기술개발방향과 전략수립에 관한연구', KMI

양창호, 최종희, 김창곤, 최상희, 최용석, 이주호(2002), '초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만 하역시스템 기술개발 전략연구', KMI

우종균(2003), '관세자유지역, 이대로 갈 것인가?', KMI

임종관, 김태일(2003), '우리기업의 한/중 공급사슬 확대가 항만부문에 미치는 영향과 대응방향', KMI

전찬영, 심기섭, 이종필, 이상우(2003), '항만개발사업의 경제적 타당성 평가의 개선방안 연구', KMI

정봉민, 성숙경(2003), '우리나라의 항만민영화 추진성과와 정책방향' , KMI

조계석, 박용안, 전형진(2000), '항만투자의 경제적 효과에 관한 연구' , KMI

탁성제(2003), '중국항만 출장 보고서' , 해양수산부,

한철환(2002), '아시아 항만의 경쟁입지 변화와 중국, 일본의 항만전략' , KMI

한철환(2003), '컨테이너 항만의 발전패턴과 중심항만전략에의 시사점' , KMI

Young-Tae Chang, Sang-Yoon Lee, Sek-Guan Lie, 'Factors Affecting
Liner's Port Selection by Trade Route' , KMI

국문 단행본

부산항만공사(2003), 「2003년도 컨테이너화물 유통추이 및 분석」

부산항만공사(2004), 「컨테이너 물동량 분석보고」

한국해양수산개발원(2000), 「동북아 물류중심기지 구축을 위한 세부추진 전략」, KMI

한국컨테이너부두공단 조사기획팀(2005), 「세계 주요항만 2004년도 물동량, 시설, 개발계획 현황 및 분석」

국문 학위논문 및 학술지 게재논문

강상곤(2001), 「DEA 모형을 이용한 컨테이너 항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구」, 석사학위논문, 한국해양대학교 대학원

곽영진(1993), 'DEA를 이용한 대학도서관의 효율성추세분석', 경영논총
제IX권 제1호, 충남대학교

송재영(2000), 「DEA/AHP를 이용한 컨테이너 터미널 효율성에 관한 연구」,
석사학위논문, 한국해양대학교 대학원

조경우(1998), 「동북아시아 중심항으로서의 부산항 개발방안에 관한 연구」,
석사학위논문, 한국해양대학교 대학원

한철환(2002), 「Port's competitive advantage, performance and strategies」,
박사학위논문, 부산대학교 대학원

<국 외 문 헌>

영문 단행본

De Boeck(2002), *Port Competitiveness*

Drewry shipping Consultants(2003), *Intra-Asia Container Trades Dynamism
Beyond Bounds*

Jan Owen Jansson & Dan Shneerson(1982), *Port Economics*

영문 보고서 및 논문

Charnes, A., W.W Cooper and E. Rhodes(1978), 'Measuring the Efficiency of
Decision Making Units', *European Journal of Operational Research*, 2

Roll & Hayuth(1993), 'Port performance comparison applying data
envelopment analsis(DEA)' , *Maritime policy and management*, Vol.20
No.2(1993)

Tim Coelli & D. S. Prasada Rao & George E. Battese(1998), 'Efficiency Measurement Using Data Envelopment Analysis(DEA)', *An Introduction To Efficiency And Productivity Analysis*, pp.133-160.

<인 터 넷 자 료>

http://www.momaf.go.kr/doc/기획관리/제4장_제1절~제5절.hwp

<http://www.e-logisbiz.com/>(물류신문사)

<http://www.pba.or.kr/index.asp>(부산항만공사)

<http://www.bpmc.co.kr/>(부산항부두관리공사)

<http://ship.haewoon.co.kr/>(선박화물 운송 정보센터)

<http://www.yonhapnews.co.kr/>(연합뉴스)

<http://www.nso.go.kr/newnso/main.html>(통계청)

<http://www.kola.or.kr/>(한국 물류 협회)

<http://www.kca.or.kr/>(한국 컨테이너 부두공단)

<http://www.webkimft.or.kr/>(한국해양 수산연수원)

<http://www.shipping.or.kr/>(한국해운 물류학회)

<http://www.momaf.go.kr/main/main.asp>(해안수산부)

<http://www.chinaports.com.cn/>(China Ports Guide)