

컨테이너항만의 경쟁력 측정방법:AHP와 DEA접근

A Measurement Way of Competition Power of Container Port: AHP and DEA Approach

박길영* · 오성동** · 박노경***

목 차

- | | |
|---|--|
| I. 서론 | 1. 중국 및 한국 컨테이너항만의 효율성을 이용한 국제경쟁력 측정모형,자료 및 절차 |
| II. 기존연구의 방향 | 2. 중국 및 한국 컨테이너항만의 효율성 측면의 국제경쟁력 측정 |
| III. AHP의 중요도와 DEA기법을 이용한 컨테이너항만의 국제경쟁력측정방법 | |
| IV. 결론 | |

Key Words: Port Efficiency, AHP, Priority Vecotor, DEA, International Competition Power, Korea, China

Abstract

The purpose of this paper is to investigate the international competition power between Korean ports and Chinese ports according to the port efficiency scores of DEA(Data Envelopment Analysis) by newly introducing the priority vector of AHP(Analytic Hierarchy Process) to the DEA method.

Empirical analysis shows the followings:

First, there was not big changes of DEA rankings when we use the input-oriented CCR and BCC models after introducing the AHP priority vectors to the input variables. Yantian Port's competition power was declined, but that of Busan Port was up in the BCC model.

Second, there was some changes of DEA rankings when we use the output-oriented CCR and BCC models after introducing the AHP priority vectors to the output variables. Rankings of Dalian, Qingdao, Shanghai Ports were up. But Shekou, Yantian Ports showed the declined ranking position in the CCR model. In the BCC model, rankings of Shanghai and Busan Ports were up. But those of Shekou and Yantian Ports were declined.

The main policy implication based on the findings of this study is that The Ministry of Maritime Affairs & Fisheries in Korea and China should introduce AHP and DEA approaches when they measure the international competition power by using the port efficiency scores of DEA.

* 조선대학교 경상대학 경영학부 부교수, e-mail: kypark@mail.chosun.ac.kr, Phone: (062) 230-6838

** 조선대학교 경상대학 경제학과 교수, e-mail: sdoh@mail.chosun.ac.kr, Phone: (062) 230-6835

*** 조선대학교 경상대학 무역학과 교수, e-mail: nkpark@mail.chosun.ac.kr, Phone: (062) 230-6821

I. 서 론

컨테이너항만의 국제경쟁력 분석방법¹⁾을 제시하고 있는, Willingale(1982), Slack(1983), Murphy(1987)의 연구에 의하면 컨테이너항만의 국제경쟁력 결정요인은 항만이용자인 화주 및 선사, 포워드 등의 항만선택기준 들인 것으로 나타났다. 특히 비용요인보다도 서비스요인이 더욱 중요한 것으로 나타났다. 즉, 항만시설 및 장비보유현황, 항만의 생산성, 항만의 비용요인인 가격경쟁력 등이다. 전통적인 생산성분석방법은 크게 두가지로 구분될 수 있다. 하나는 컨테이너터미널의 구성단위에 대하여 그 기능에 따라 분석평가하기 위하여 이용되는 방법이고 다른 하나는 컨테이너 터미널의 특성 및 능력을 종합적으로 분석 평가하기 위한 방법이다. 시설별 생산성 분석방법은 ① 하역능율(Efficiency), ② 取出率(Selectivity), ③ 토지이용율(Land Availability)을 이용하며, 종합적 생산성분석 방법은 ① 취급능력(Handling Ability), ② 장치능력(Stowing Capacity), ③ 처리능력(Terminal Productivity)을 이용한다. 복합효용함수 분석모형은 컨테이너항만의 다양한 선택요인이나 경쟁력 결정요인을 고려한 분석모형으로서, 여기에는 첫째, Von Neumann과 Morgenstein의 기대효용원리에 기초를 둔 다양한 목적에 대한 정의된 평가함수를 분석하는 방법인 다속성효용함수분석방법(효용독립성, 선호독립, 상호독립성추정), 단일속성함수분석방법이 있다.

그동안 컨테이너항만의 생산효율성 및 국제경쟁력분석과 관련해서는 항만선택 결정요인들(예를 들면, 항만입지, 항만시설, 물동량구성, 항만비용, 서비스수준, 부두운영형태, 등등)에 의거하여 국내외적으로 다양하게 연구들이 이루어져 왔다. 그러나 컨테이너항만들의 국제경쟁력을 분석하면서 생산효율적인 측면에서 접근하여 변수들에 대해서 가중치를 적용한 방법을 사용한 연구는 국내에서는 거의 전무한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 사항들에 본 논문의 연구목적을 두고자 한다. 첫째, 컨테이너항만의 국제경쟁력 분석방법 중에서 생산효율성에 중점을 두고 있는 DEA(Data Envelopment Analysis, 자료포괄분석, 이하 DEA라 칭함)분석방법을 소개하고자 한다. 또한 기존의 DEA분석방법 중에서 AHP(Analytic Hierachy Process, 이하 AHP라 칭함)분석방법의 측정결과물인 변수의 중요도에 따른 우선순위벡터(priority vector)수치를 이용하여 투입물과 산출물에 가중치를 두는 변수별가중치접근방법이 생산효율성과 경쟁력분석의 보완적인 측정방법이 될 수 있음을 중국의 8개항만(대련, 칭타오, 상해, 세코, 천진, 서먼, 안티엔, 홍콩)과 한국의 두 개항만(부산, 인천)의 2000년도 자료를 이용하여 실증적으로 보여 줌으로써, 국내 선행연구의 범위를 부분적으로 확장

1) 전일수, 김학소, 김범중, 『우리나라 컨테이너 항만의 국제경쟁력 제고방안에 관한 연구』, 해운산업연구원, 정책자료090, 1993. 12, pp. 219-258.

시키고자 한다. 둘째, 향후 컨테이너항만정책당국이나 컨테이너항만의 경영관리자들이 항만운영의 생산성을 높이기 위한 정책입안시 참고가 될 수 있도록 이론적, 실증적 근거를 제시하고자 한다.

본 논문의 연구범위는, 외국과 국내에서 선행된 컨테이너항만의 성과와 생산효율성, 국제경쟁력에 대한 기존연구들의 방향을 간략하게 소개하고자 한다. 또한 최근에 이용도가 높아지고 있는 DEA기법 중에서 변수별가중치접근기법을 이용하여 첫째, 여기태(2002)의 연구에서 사용된 원자료를 이용하여 컨테이너항만들의 국제경쟁력을 생산효율성 측면에서 분석하고 해석하며, 또한 여기태(2002)의 연구에서 사용된 방법인 AHP(Analytic Hierachy Process, 분석적 계층기법)법의 분석결과와 비교한다. 둘째, 본 연구에서 사용한 변수별 가중치접근방법에 의한 분석 결과가 컨테이너항만의 국제경쟁력 및 생산효율성을 증대시킬 수 있는 분석방법으로서 어떤 의미를 갖는가를 제시하는 것으로 한정하고자 한다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어서, II장에서는 컨테이너항만의 국제경쟁력과 생산효율성에 대한 기존연구들의 방향을 간략하게 제시하며, III장에서는 컨테이너항만의 국제경쟁력을 생산효율성측면에서 살펴보기 위해서 일반적인 DEA모형에 의한 결과, AHP법의 변수별가중치접근기법을 이용하여 실증분석하고 그 의미를 해석하는 한편 기존연구와 비교함으로써 변수별가중치접근기법의 유효성을 검증한다. IV장에서는 정책적 함의와 함께 결론이 제시된다.

II. 기존연구의 방향

그 동안 컨테이너항만의 생산효율성 및 국제경쟁력분석과 관련해서는 항만선택 결정요인들(예를 들면, 항만입지, 항만시설, 물동량 구성, 항만비용, 서비스수준, 부두운영형태, 등등)과 투입요소 및 산출요소를 고려하여 국내외적으로 다양하게 연구들이 이루어져 왔다. 즉, 컨테이너항만에 대한 연구는 크게 다음과 같은 세가지 방법으로 행해져 왔다. 첫째, 컨테이너 항만의 생산효율성을 모수적²⁾, 비모수적인 방법³⁾으로 측정하는 연구, 둘째, 컨테이너항만의 국제경쟁력을 다양한 요소들을 도입하여 분석한 연구⁴⁾ 셋째, 특정항만을 선택하게 되는 선사와 화주들의 선택행동에 관한연구⁵⁾ 등이 있다. 특히 항

2) 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), Chul-Hwan, Han(2002).

3) Y. Roll and Y. Hayuth(1993), Jose Tongzon(2001), Valentine and Gray(2002), 오성동-박노경(2001).

4) 전일수 · 김학소 · 김범중(1993. 12), 하동우(1996. 12), 전국경제인연합회(1997. 12).

만의 생산효율성분석에 DEA기법을 적용한 경우도 최근의 예)에서 찾아 볼 수 있다. DEA기법을 사용한 국내외기존연구들의 분석대상국가, 분석대상, 표본수, 분석모형은 아래의 <표 1>과 같다.

<표 1> DEA기법을 이용한 국내외 기존연구에 대한 검토

연구학자 구분	J. Tongzon(2001)	Y. Roll and Y. Hyuth(1993)	오성동-박노경 (2001)
분석대상 국가	전세계	이스라엘	전세계,동북아
분 석 대 상	전세계항만	가상적인 20개 항구	컨테이너항만 28개
표 본 수	16	20	28
분 석 모 형	DEA모형: CCR과 가법모형 산출요소: Cargo Throughput, Ship Working rate 투입요소: 크레인수, Berth 수, Tug 수, 터미널 수, Delaytime, Labor	DEA모형: CCR모형 산출요소: 화물처리능력, 서비스수준, 사용자만족, 선박이용회수 투입요소: 연간노동력의 연평균수치, 항구당 연간 총투자자본과 직설비, 화물의 통일성	DEA기법 중에서 CCR, BCC기법을 이용하여 생산효율성을 분석함으로써 컨테이너항만의 경쟁력분석방법을 확장시킴. 1. 투입요소: 안벽길이, G/C수, CY면적, CFS면적 2. 산출요소: 총물동량, 항만사용량
연구학자 구분	V.F. Valentine and R. Gray(2002)	K.Cullinane, D.W. Song, and R. Gray(2002)	Ro-Kyung Park and Prabir De(2004)
분석대상국가	유럽과 동북아시아	아시아	한국
분석대상	유럽과 동북아시아 12개 컨테이너항만	아시아 15개 컨테이너항만	11개 항만
표본수	12	15	11
분 석 모 형	A. 군집분석 1. 조직구조 2. 소유권 B. DEA 분석 1. 투입물: 컨테이너수, 선석의 총길이, 컨테이너 선석의 총길이 2. 산출물: 화물처리총톤수	확률프론티어모형 1. 투입물: 터미널 안벽길이, 터미널면적, 화물처리 기기수 2. 산출물: 컨테이너처리량 (TEUs)	DEA 분석(생산성, 수익성, 시장성측정) 1. 투입물: 접안능력, 화물처리능력 2. 산출물: 화물처리량, 입출항선박척수, 항만수입, 고객만족도

위에서 살펴본 기존연구들의 가장 큰 한계점은 컨테이너항만의 국제경쟁력과 관련된

5) 정태원 · 광규석, (2002).

6) Y. Roll and Y. Hayuth(1993), Jose Tongzon(2001), Valentine and Gray(2002). Ro-Kyung Park, and Prabir De(2004)

연구들은 일반적인 또는 특수한 형태의 DEA모형을 확장시킨 모형을 도입하여 그러한 모형의 적용가능성을 측정하였으나, 갈수록 중요해 지고 있는 컨테이너항만들의 개별적인 투입 및 산출변수들에 대해서 AHP법을 이용하여 적출해 낸 변수별 중요성에 대한 가중치에 초점을 두어 그러한 모형의 유효성을 측정한 연구는 시도된 적이 없다.

III. AHP의 중요도와 DEA기법을 이용한 컨테이너항만의 경쟁력 측정방법

컨테이너화(containerization)와 컨테이너를 이용한 화물의 이동은 해양요소와 육지요소가 함께 연결되는 체계를 의미한다. 컨테이너터미널은 육상 및 해상운송형태와 컨테이너화체계의 주요구성요소사이를 연결해 주는 실물적인 연계시스템이다. 즉, 다양한 기업(운반자, 터미널운용자, 하역인, 노동자, 항만당국, 선적인, 철도, 트럭운전사, 정부 기타 등등)들이 상호연관되는 동태적인 시스템이다. 개별적으로 생산효율성⁷⁾에 영향을 미치게 되며 새로운 구성요소를 추가하는 경우에 영향력은 달라지게 된다. 만일 컨테이너터미널이 극대효율성을 보인다면 전체시스템은 이익을 얻는다고 가정한다. 즉, 터미널효율성이 실질적으로 증대된다고 하는 것은 어떤 구성요소의 효율성을 부분적으로 악화시키는 대신에 전체시스템의 효율성을 증대시키는지에 따라서 달라지게 된다.

1. 중국 및 한국 컨테이너항만의 생산효율성을 이용한 국제경쟁력 측정을 위한 자료, 모형 및 절차

Dowd and Leschine(1990, p.111)은 컨테이너터미널의 생산효율성을 컨테이너야드,

7) 생산성(생산효율성)이란 좁은 의미로서 '투입-산출간의 비율'로 정의할 때 위의 효율성과는 의미상 차이가 없다. 즉, 조직의 목표 내지 설립목적에도 불구하고 최소의 비용으로 최대의 효익을 거둘 때 조직의 생산성은 극대화된다. 그러나 최근 생산성을 넓은 의미로 보아 효율성과 효과성을 합축하는 상위개념, 즉 생산성=(효과성/효율성)으로 파악하는 입장이 대두되고 있다. 이러한 생산성을 측정하기 위한 접근방법에는 총생산성(total productivity),부분생산성(partial productivity),총요소생산성(total factor productivity) 등 세가지로 크게 구분할 수 있고 이를 지수형태로 나타내고 있다. 본 논문에서는 생산성, 생산효율성을 동일개념으로 사용한다.

전통적 생산성분석방법론[1.컨테이너터미널의 구성단위에 대하여 그 기능에 따라서 분석평가를 하기 위해서 이용되는 방법, 2. 컨테이너터미널의 특성 및 능률을 종합적으로 분석평가하기 위한 방법]은 다음의 책자를 참조요망. 전일수, 김학소, 김범중, 『우리나라 컨테이너 항만의 국제경쟁력 제고방안에 관한 연구』, 해운산업연구원, 정책자료090, 1993. 12, pp. 224-238.

크레인, 게이트, 선석, 노동 측면에서 설명하고 있다. 그러나 컨테이너항만의 생산효율성을 분석할 때 유의해야만 하는 사항은 어떤 분석기법을 선택하든지 간에 변수사이의 상호관련성문제(예를들면 회귀분석에서의 다중공선성문제, DEA기법에서의 투입요소와 산출요소의 선택의 문제)가 중요하게 된다. 따라서 컨테이너항만의 생산효율성과 관련된 요소들에 대한 시계열자료(크로스섹션자료 또는 패널자료)에 대한 다각적인 검증이 반드시 필요하게 된다. 그러나 단년도의 크로스섹션자료는 그만큼 문제점이 적어진다.

본 논문은 서론에서 설명한 바와 같이 중국의 컨테이너항만들의 경쟁력을 DEA기법 중에서 가중치접근방법으로 실증분석하고 해석하는 것으로 한정하였다. 따라서 본 논문에서는 기존의 DEA기법에 사용되었던 CCR, BCC모형에 대해서 살펴보고 가중치접근모형을 제시한 후에 실증분석을 하고 해석하고자 한다.

(1) 분석대상, 자료 및 투입-산출변수

분석대상은 중국의 8개항만, 한국의 2개항만을 대상으로 하였으며, 대상연도는 2000년으로 하였다. 단년도를 선택한 이유는 본 논문의 목적이 컨테이너항만의 경쟁력을 생산효율성 측면에서 가중치접근방법을 실증적으로 적용해 보고자 하는 것이었으며, 또한 본 논문의 방법을 그대로 이용하면 단년도는 쉽게 측정할 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다. 실증분석은 안벽길이, 항만정보서비스상대비율을 투입요소로 하였으며, 화물처리량과 정기선사취항수를 산출요소로 하여 시행하였다.

<표 1> 컨테이너항만의 경쟁력 측정을 위한 분석자료 (2000년)

항만/구분	화물처리량(TEU)	정기선사취항수(개)	안벽길이(m)	항만정보서비스상대비율(%)
Dalian	1,008,400	10	918	50
Qingdao	2,116,300	8	1,189	50
Shanghai	5,612,000	18	2,281	70
Shekou	720,000	13	650	80
Tianjin	1,708,400	14	397	60
Xiamne	1,080,000	4	142	70
Yantian	2,147,476	28	2,350	80
HongKong	18,098,000	50	5,319	100
Busan	7,540,387	42	4,457	90
Incheon	611,261	18	1,160	50

자료: Containerization International Yearbook, 2001., 여기태(2002), p.56을 재편집.

(2) DEA모형에 대한 이론적 접근

DEA⁸⁾ 모형은 많은 연구에 의해 다양한 형태로 제시되었으나, 가장 많이 활용되는

모형으로는 Charnes, Cooper & Rhodes(1978)의 CCR 모형과 Banker, Charnes & Cooper(1984)의 BCC 모형을 들 수 있다. CCR모형은 DEA 분석의 기본모형으로 모든 의사결정단위들은 각각의 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중합계의 비율이 1을 초과해서는 안되며, 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 (즉, 모든 투입요소와 산출요소를 고려한다는) 단순한 제약조건하에 평가의 대상이 되는 의사결정단위의 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중합계의 비율을 최대화시키고자 하는 선형분수계획모형(fractional linear programming model)이다. 그리고 이 모형은 투입량의 가중합계인 가상투입량(virtual input)의 최소화 또는 산출량의 가중합계인 가상 산출량(virtual output)의 최대화 형태의 선형계획모형으로 재구조화되어 분석된다. 그러나 CCR 모형은 각 의사결정단위의 규모 수익이 불변이라는 가정 하에 효율성을 평가하기 때문에 규모의 효율성과 순수한 기술적 효율성을 구분하지 못하는 단점을 갖고 있다. BCC 모형은 CCR 모형의 이러한 단점을 극복하고자 개발된 모형으로 각 의사결정단위의 전반적 효율성을, 규모의 효율성과 순수한 기술적 효율성으로 구분할 수 있도록 한다. CCR과 BCC모형은 투입지향(input oriented)모형과 산출지향(output oriented)모형으로 나뉜다. 투입지향이란 해당 DMU가 효율적이 되기 위해서 투입물을 축소시켜가는 것을 강조하는 모형이고, 산출지향이란 해당 DMU가 효율적인 프로티어상에 도달하기 위해서 산출물의 증대에 더 초점을 맞추어 가는 것을 의미한다.

1) 규모수확불변 및 변화하의 기술 및 규모효율성⁹⁾

모든 의사결정단위(Decision Making Units)의 실제 관찰된 동일한 산출물과 투입물 벡터 (Y, X)가 있다면, 이러한 의사결정단위들의 생산가능집합은 <식 1>과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \{ (Y, X) \mid X \text{는 } Y \text{를 산출할 수 있다} \} \quad \text{<식 1>}$$

이 때, 파레토(Pareto) 효율성 조건을 만족시키는 의사결정단위들의 집합을 효율적 경계(efficient frontier) 또는 참조기술(reference technology)이라 한다. 이러한 효율적 경계는 Shephard(1970)에 의해서 제시된 다음의 두가지 가정을 필요로 한다.

8) 모형에 대한 자세한 설명은 다음의 논문들을 참조하시기 바랍니다.

Valdmanis(1992), Banker, Charnes and Cooper (1984), Charnes, Cooper and Rhodes (1978).

9) 박노경, "항만투자의 유효성 측정방법: congestion 모형접근," 『한국항만경제학회지』 제19권 2호, 한국항만경제학회, 2003.12, pp.39-41.

강상곤, 「DEA모형을 이용한 컨테이너 항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구」, 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.2, pp.11-19.

첫째, 효율적 경계는 생산가능집합 F 의 볼록성(convexity) 가정을 만족시킨다. 여기서, 볼록성 가정은 특정 투입물과 산출물 A와 B를 각각 이용하는 의사결정단위에 대해서 $(y^A, x^A) \in F$ 이고 $(y^B, x^B) \in F$ 이면 $(\lambda y^A + (1-\lambda)y^B, \lambda x^A + (1-\lambda)x^B, 0 \leq \lambda \leq 1) \in F$ 임을 의미한다. 따라서 이 가정은 참조기술이 파레토 최적 조건상태이어야 함을 의미한다고 볼 수 있다.

둘째, 효율적 경계는 투입물과 산출물의 자유 가치분성(free disposibility) 가정을 만족시킨다. 여기서, 투입물의 가치분성은 $(y^A, x^A) \in F$ 이고 $(x^B \geq x^A)$ 이면 $(y^A, x^B) \in F$ 임을 의미하고, 산출물의 가치분성은 $(y^A, x^A) \in F$ 이고 $y^B \leq y^A$ 이면 $(y^B, x^A) \in F$ 임을 의미한다. 이 가정은 모든 의사결정단위를 효율적 경계상의 집합과 그 내부의 집합으로 구분할 수 있음을 의미한다.

Shephard(1970)는 다수의 투입물과 산출물이 존재하는 경우에 앞의 두 가정을 만족시키는 효율적 경계를 각 의사결정단위에 대해 <식 2>와 같이 표현하였다.

$$D(Y, X) = \min\{\theta \mid (X, Y/\theta) \in F\} \quad \text{<식 2>}$$

여기서, $D(Y, X)$ 는 산출지향적인 거리함수(output oriented distance function)라 한다.¹⁰⁾ 이러한 거리함수의 추정을 위한 비모수적 방법으로서 선형계획법을 처음 적용한 연구는 Aigner and Chu(1968)에 의해서 수행되었다. 이후 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)는 최적해가 Farrell(1957)의 기술적 효율성 측정치와 역의 관계를 갖는 <식 3>과 같은 DEA모형을 제시하였다.

$$\begin{aligned} \text{Min } & \theta - \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ - \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- \\ \text{s.t. } & \\ & x_{i_0} \theta - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- = 0, \quad i=1, 2, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{r_0} - s_r^+ = 0, \quad r=1, 2, \dots, s, \\ & \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad \forall j, r, i. \end{aligned} \quad \text{<식 3>}$$

10) 투입지향적인 거리함수는 $\max\{\theta \mid (Y, X/\theta) \in F\}$ 로 표현된다.

여기서, λ_j 는 참조집합들의 선형결합비율을 나타내는 밀도변수(intensity variables)이고, θ 는 의사결정단위 j_0 의 효율성을 나타낸다. 그리고 s_j^- 는 투입물의 여유변수(slack variables), s_j^+ 는 산출물의 여유변수, ε 은 일반적으로 10^{-6} 의 작은 값을 갖는 비아르키메디안(non-archimedean) 상수를 의미한다. 만일 평가대상 의사결정단위 j_0 가 효율적이라면 모든 여유변수의 값들은 0이 되며, 따라서 θ 의 값은 1이 된다. 또한 이 식에서 첫 번째 제약조건은 평가받는 의사결정단위의 효율적 경계상의 추정점이 실제 이용된 투입물의 크기보다 작거나 같아야 하고, 두 번째 제약조건은 평가받는 의사결정단위의 산출물 크기가 효율적 경계상의 추정점보다 클 수 없다는 점을 의미한다.

이 모형은 개발자들의 이름을 따 CCR모형이라고 하는데, 앞서 설명한 효율적 경계가 갖추어야 할 가정에 규모의 수익불변 가정이라는 세 번째 가정을 추가하게 된다. 여기서, 규모의 수익불변 가정은 0보다 큰 어떤 k 에 대해 $(Y, X) \in F$ 이면 $(kY, kX) \in F$ 가 성립함을 의미한다.

이 후 Banker, Charnes and Cooper(1984)에 의해서 세 번째 가정은 완화되어졌는데, 앞의 <식 3>에 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 이라는 볼록성(convexity)을 부여하는 제약조건을 추가하여 규모의 수익 변동을 가정한 후 의사결정단위의 효율성을 분석하게 된다. 이러한 모형을 BCC모형이라 하며, CCR모형의 기술적 효율성을 순수한 기술적 효율성과 규모의 효율성으로 구분할 수 있도록 만들어준다.

(3) AHP방법에 의한 가중치부여 측정모형의 적용절차

본 연구에서 적용한 가중치는 미국의 T. L. Satty에 의해서 제창된 AHP방법에 의하여 산출한 가중치를 위의 CCR, BCC모형에 각각 적용하였다. 투입물과 산출물에 가중치를 부여한 후의 각 항만별 경쟁력 측정을 위한 실증분석에는 Tone et. al(2001)의 소프트웨어를 이용하였다. 즉, 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 각 항만별 경쟁력 측정을 위한 생산효율성을 분석하였다. 첫째, AHP법에 의한 가중치 산출¹¹⁾, 둘째, 투입지향 CCR, BCC모형, 산출지향 CCR, BCC모형에 의한 효율성측정, 셋째, 투입물과 산출물에 각각 첫번째에서 산출한 우선순위벡터(priority vector)가중치를 부여한 후의 생산효율성 측정, 넷째, 일반 CCR, BCC모형의 측정결과와 가중치를 부여한 경우의 CCR, BCC모형의 측정결과와의 비교를 통한 국제경쟁력 측정.

11) 자세한 내용은 여기태(2002), p.51을 참조요망.

2. 중국 및 한국 컨테이너항만의 효율성 측면의 국제경쟁력 측정

본 항에서는 중국과 한국의 컨테이너항만의 효율성 측면의 국제경쟁력을 측정하고 분석하기로 한다. <표 2>에서는 투입지향 및 산출지향 규모수확불변모형에 의한 효율성측정결과를 보여 주었으며, <표 3>에서는 투입지향 및 산출지향 규모수확변화하에서의 효율성 측정결과, <표 4>에서는 투입물에 가중치를 부여한 후의 투입지향 CCR모형과 투입지향 BBC모형의 효율성측정결과, <표 5>에서는 산출물에 대한 가중치를 부여한 경우의 산출지향 CCR모형, 산출지향 BCC모형에 의한 효율성 측정결과, <표 6>에서는 투입물에 대한 가중치를 부여하기 전과 후의 투입지향 CCR, BCC모형에 의한 효율성결과, <표 7>에서는 산출물에 대한 가중치를 부여하기 전과 후의 산출지향 CCR, BCC모형에 의한 효율성측정결과 변화를 규모수확변화와 함께 제시하였다. 여기서 투입지향형이란 현재의 산출물수준을 유지하면서 투입량을 가능한 한 감소시켜 나가는 모형을 말하며, 산출지향형이란 현재의 투입량 수준에서 산출물 수준을 극대화하는 것을 말한다. 따라서 투입지향형모형은 투입요소의 극소화와 산출지향형모형은 산출요소의 극대화를 추구하는 모형이라고 할 수 있다. 즉, <식 3>에서의 모형식에서 투입요소의 비중을 점차적으로 극소화시킴에 따른 효율성변화에 중점을 두며, 산출지향모형은 산출요소의 비중을 점차적으로 극대화시킴에 따른 효율성변화에 중점을 두게 된다. 따라서 효율성 분석결과의 수치가 달라지게 된다. 따라서 선진국학자들의 연구에서는 효율성분석결과 나타난 효율성 수치를 통해서 상대적인 비교가 쉬운 투입지향모형을 일반적으로 제시하고 있다. 본 논문에서 투입지향모형과 산출지향모형을 가정하여 실증분석을 시행하였다. <표 8>에서는 투입물에 대한 가중치 부여 전과 후의 투입지향 CCR과 BCC모형에 의한 효율성 측정결과에 의한 국제경쟁력 변화를 보여 주었으며, <표 9>에서는 산출물에 대한 가중치 부여 전과 후의 산출지향 CCR과 BCC모형에 의한 효율성측정결과에 의한 국제경쟁력 변화를 보여 주었다.

<표 2> 투입지향 및 산출지향 규모수확불변모형(CCR)에 의한 효율성측정결과

항만 \ 구분	투입지향 CCR효율성수치	산출지향 CCR효율성수치	규모수확변화	
			투입지향	산출지향
Dalian	0.63227	1.58160	체증	체증
Qingdao	0.49901	2.00398	체증	체증
Shanghai	0.70488	1.41868	체증	체증
Shekou	0.66366	1.50680	체증	체감
Tianjin	1.0	1.0	불변	불변
Xiamne	1.0	1.0	불변	불변
Yantian	0.90014	1.11093	체감	체감
HongKong	1.0	1.0	불변	불변
Busan	0.96643	1.03474	체증	체감
Incheon	1.0	1.0	불변	불변

<표 2>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 효율적인 항만들은 천진항, 서먼항, 홍콩항, 인천항이었다. 둘째, 부산항과 양천항이 매우 높은 수준의 효율성을 유지하고 있으며, 상해, 대련, 세코항만들이 중간정도의 효율성, 칭타오항은 중간정도의 효율성을 유지하고 있었다. 셋째, 양천항은 규모수확이 체감하는 항이었으며, 대련, 칭타오, 상해, 세코, 부산항들이 규모수확이 체증하였다. 또한 천진, 서먼, 홍콩, 인천은 불변이었다. 넷째, 투입지향 CCR효율성 수치에 의한 경쟁력 순위는 1위: 천진, 서먼, 홍콩, 인천, 5위: 부산, 6위: 양천, 7위: 상해, 8위: 세코, 9위: 대련, 10위: 칭타오 순위였다. 여섯째, 산출지향 CCR효율성 수치에 의한 경쟁력 순위도 동일하였다. 여기서는 수치가 큰 경우가 효율성이 나쁘다는 것을 의미한다.

<표 3>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 효율적인 항만들은 대련, 칭타오, 천진, 서먼, 홍콩, 인천항들이었다. 둘째, 부산항과 양천항이 매우 높은 수준의 효율성을 유지하고 있다. 셋째, 양천항은 규모수확이 체감하는 항이었으며, 대련, 칭타오, 상해, 세코, 부산항들이 규모수확이 체증하였다. 또한 천진, 서먼, 홍콩, 인천은 불변이었다. 넷째, 투입지향 BCC효율성 수치에 의한 경쟁력 순위는 1위: 대련, 칭타오, 천진, 서먼, 홍콩, 인천, 7위: 양천, 8위: 부산, 9위: 상해, 10위: 세코 순위였다. 여섯째, 산출지향 BCC효율성 수치에 의한 경쟁력 순위도 동일하였다. 여기서는 수치가 큰 경우가 효율성이 나쁘다는 것을 의미한다.

<표 3> 투입지향 및 산출지향 규모수확변화모형(BCC)에 의한 효율성측정결과

항만 \구분	투입지향BCC효율성수치	산출지향 BCC효율성 수치	규모수확변화	
			투입지향	산출지향
Dalian	1.0	1.0	체증	체증
Qingdao	1.0	1.0	체증	체증
Shanghai	0.88746	1.29393	체증	체증
Shekou	0.73122	1.21927	체증	체감
Tianjin	1.0	1.0	불변	불변
Xiamne	1.0	1.0	불변	불변
Yantian	0.98345	1.01016	체감	체감
HongKong	1.0	1.0	불변	불변
Busan	0.97222	1.03341	체증	체감
Incheon	1.0	1.0	불변	불변

<표 4> 투입지향 CCR과 BCC모형에 의한 효율성측정결과
(투입물에 가중치를 부여한 경우: 안벽길이:0.198, 고객서비스:0.174)

항만 \ 구분	투입지향CCR효율성수치	투입지향 BCC효율성 수치	규모수확변화
Dalian	0.56534	1.0	체증
Qingdao	0.48665	1.0	체증
Shanghai	0.67473	0.83077	체증
Shekou	0.62762	0.66086	체증
Tianjin	1.0	1.0	불변
Xiamne	1.0	1.0	불변
Yantian	0.87948	0.95882	체감
HongKong	1.0	1.0	불변
Busan	0.96268	0.96578	체감
Incheon	1.0	1.0	불변

<표 4>¹²⁾에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 투입지향 CCR모형에서 효율적인 항만들은 천진항, 서면항, 홍콩항, 인천항이 있으며, 투입지향 BCC모형에서는 대련, 칭타오, 천진, 서면, 홍콩, 인천항들이었다. 둘째, 부산항과 양천항이 매우 높은 수준의 효율성을 유지하고 있다. 셋째, 양천항은 규모수확이 체감하는 항이었으며, 대련, 칭타오, 상해, 세코, 부산항들이 규모수확이 체증하였다. 또한 천진, 서면, 홍콩, 인천은 불변이었다. 넷째, 투입물에 가중치를 부여한 경우의 투입지향 CCR효율성 수치에 의한 경쟁력 순위는 1위: 천진, 서면, 홍콩, 인천, 5위: 부산, 6위: 양천, 7위: 상해, 8위: 세코, 9위: 대련, 10위: 칭타오 순위였다. 여섯째, 투입물에 가중치를 부여한 경우의 투입지향 BCC효율성 수치에 의한 경쟁력 순위는 1위:

12) <표 4>의 결과를 도출해 내기 위한 구성요소의 가중치는 다음과 같다.

<표 9>경쟁구성요소의 쌍별비교 및 구성요소의 가중치

구성요소 \ 가중치	물동량	항만시설	항만입지	서비스수준	Priority Vector(ω)	
물동량	1	7.2	0.12	0.16	0.178	3순위
항만시설	0.14	1	0.22	5.7	0.198	2순위
항만입지	8.3	4.5	1	3.2	0.452	1순위
서비스수준	6.1	0.18	0.31	1	0.174	4순위

Lamda = 4.07. C.I. = 0.024. C.R. = 0.026

출처: 여기태(2002), p.49

대련, 칭타오, 천진, 서먼, 홍콩, 인천, 7위: 부산, 8위: 양천, 9위: 상해, 10위: 세코 순위였다.

<표 5> 산출지향 CCR과 BCC모형에 의한 효율성측정결과
(산출물에 가중치부여: 화물처리량:0.178, 취항정기선사수:0.452)

항만 \ 구분	산출지향CCR효율성수치	산출지향 VRS효율성 수치	규모수확변화
Dalian	2.01585	1.0	체증
Qingdao	2.05220	1.0	체증
Shanghai	1.46593	1.42843	체증
Shekou	2.11726	1.85758	체감
Tianjin	1.0	1.0	불변
Xiamne	1.0	1.0	불변
Yantian	1.82951	1.80514	체감
HongKong	1.0	1.0	불변
Busan	1.30624	1.28681	체증
Incheon	1.0	1.0	불변

<표 5>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 산출지향 CCR모형에서 효율적인 항만들은 천진항, 서먼항, 홍콩항, 인천항이었으며, 산출지향 BCC모형에서는 대련, 칭타오, 천진, 서먼, 홍콩, 인천항들이었다. 둘째, 부산항, 양천항, 상해항이 매우 높은 수준의 효율성을 유지하고 있다. 셋째, 세코항과 양천항은 규모수확이 체감하는 항이었으며, 대련, 칭타오, 상해, 부산항들이 규모수확이 체증하였다. 또한 천진, 서먼, 홍콩, 인천은 불변이었다. 넷째, 산출물에 가중치를 부여한 경우의 산출지향 CCR효율성 수치에 의한 경쟁력 순위는 1위: 천진, 서먼, 홍콩, 인천, 5위: 부산, 6위: 상해, 7위: 양천, 8위: 대련, 9위: 칭타오, 10위: 세코 순위였다. 여섯째, 산출물에 가중치를 부여한 경우의 산출지향 BCC효율성 수치에 의한 경쟁력 순위는 1위: 대련, 칭타오, 천진, 서먼, 홍콩, 인천, 7위: 부산, 8위: 상해, 9위: 양천, 10위: 세코 순위였다.

<표 6>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 투입물에 대한 가중치를 부여한 경우 투입지향 CCR모형에서의 효율성수치가 가장 악화된 항만은 대련항(-10.586%)이었다. 효율성수치가 악화된 항만들은 대련, 칭타오, 상해, 세코, 양천, 부산항들이었다. 효율성 수치가 원래 1인 효율적인 항만들을 제외하고는 모두 효율성이 악화되었다. 둘째, 투입물에 대한 가중치를 부여한 경우 투입지향 BCC모형에서의 효율성 수치가 악화된 항만은 상해, 세코, 양천, 부산항이었다. 그

중에서도 세코항(-9.622%)이 가장 악화되었다.

셋째, 규모수확은 부산항만이 체증에서 체감으로 더 악화되었다.

<표 6> 투입물에 대한 가중치 부여 전과 후의 투입지향 CCR과 BCC모형에 의한 효율성측정결과 변화

항만\구분	가중치 부여 전과 후의 투입지향CCR효율성수치변화			가중치 부여 전과 후의 투입지향 BCC효율성 수치			규모수확변화		
	전	후	변화(%)	전	후	변화(%)	전	후	변화
Dalian	0.63227	0.56534	-10.586	1.0	1.0	0	체증	체증	없음
Qingdao	0.49901	0.48665	-2.477	1.0	1.0	0	체증	체증	없음
Shanghai	0.70488	0.67473	-4.277	0.88746	0.83077	-6.388	체증	체증	없음
Shekou	0.66366	0.62762	-5.43	0.73122	0.66086	-9.622	체증	체증	없음
Tianjin	1.0	1.0	0	1.0	1.0	0	불변	불변	없음
Xiamne	1.0	1.0	0	1.0	1.0	0	불변	불변	없음
Yantian	0.90014	0.87948	-2.295	0.98345	0.95882	-2.504	체감	체감	없음
HongKong	1.0	1.0	0	1.0	1.0	0	불변	불변	없음
Busan	0.96643	0.96268	-0.388	0.97222	0.96578	-0.662	체증	체감	있음
Incheon	1.0	1.0	0	1.0	1.0	0	불변	불변	없음

<표 7> 산출물에 대한 가중치 부여 전과 후의 산출지향 CCR과 BCC모형에 의한 효율성측정결과 변화

항만\구분	산출지향CCR효율성수치변화			산출지향 BCC효율성 수치			규모수확변화		
	전	후	변화(%)	전	후	변화(%)	전	후	변화
Dalian	1.58160	2.01585	-27.456	1.0	1.0	0	체증	체증	없음
Qingdao	2.00398	2.05220	-2.406	1.0	1.0	0	체증	체증	없음
Shanghai	1.41868	1.46593	-3.331	1.29393	1.42843	-10.395	체증	체증	없음
Shekou	1.50680	2.11726	-40.514	1.21927	1.85758	-52.352	체감	체감	없음
Tianjin	1.0	1.0	0	1.0	1.0	0	불변	불변	없음
Xiamne	1.0	1.0	0	1.0	1.0	0	불변	불변	없음
Yantian	1.11093	1.82951	-64.683	1.01016	1.80514	-78.698	체감	체감	없음
HongKong	1.0	1.0	0	1.0	1.0	0	불변	불변	없음
Busan	1.03474	1.30624	-26.234	1.03341	1.28681	-24.521	체감	체증	있음
Incheon	1.0	1.0	0	1.0	1.0	0	불변	불변	없음

<표 7>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 산출물에 대한 가중치를 부여한 경우 산출지향 CCR모형에서의 효율성수치가 가장 악화된 항만은 양천항(-64.683%)이었다. 효율성수치가 악화된 항만들은 대련, 칭타오, 상해, 세코, 양천, 부산항들이었다. 특히 악화된 항만은 대련, 세코, 양천, 부산항이었다. 효율성 수치가 원래 1인 효율적인 항만들을 제외하고는 모두 효율성이 악화되었다. 둘째, 산출물에 대한 가중치를 부여한 경우 산출지향 BCC모형에서의 효율성수치가 가장 악화된 항만은 양천항(-78,698%)이었다. 효율성수치가 악화된 항만들은 상해, 세코, 양천, 부산항만이였다. 셋째, 규모수확은 부산항만이 체증에서 체감으로 더 악화되었다.

(1) AHP의 가중치를 DEA에 접목한 효율성분석 방법에 의한 국제경쟁력 비교

<표 8>을 통해서 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 투입물에 대한 가중치 부여 전과 후의 투입지향 CCR효율성수치에 의한 국제 경쟁력 순위변화는 나타나지 않았다.

둘째, 투입물에 대한 가중치 부여 전과 후의 투입지향 BCC효율성 수치에 의한 국제 경쟁력 순위변화를 살펴보면, 양천항은 7위에서 8위로 하락, 부산항은 8위에서 7위로 상승한 것을 제외하고는 다른 항만들의 순위에는 변화가 나타나지 않았다.

<표 8> 투입물에 대한 가중치 부여 전과 후의 투입지향 CCR과 BCC모형에 의한 효율성측정결과에 의한 국제경쟁력 변화

항만 \구분	가중치 부여 전과 후의 투입지향CCR효율성수치에 의한 국제경쟁력 순위변화			가중치 부여 전과 후의 투입지향 BCC효율성 수치에 의한 국제경쟁력 순위변화			비고
	전	후	변화	전	후	변화	
Dalian	9위	9위	변화없음	1위	1위	변화없음	
Qingdao	10위	10위	변화없음	1위	1위	변화없음	
Shanghai	7위	7위	변화없음	9위	9위	변화없음	
Shekou	8위	8위	변화없음	10위	10위	변화없음	
Tianjin	1위	1위	변화없음	1위	1위	변화없음	
Xiamne	1위	1위	변화없음	1위	1위	변화없음	
Yantian	6위	6위	변화없음	7위	8위	하락	
HongKong	1위	1위	변화없음	1위	1위	변화없음	
Busan	5위	5위	변화없음	8위	7위	상승	
Incheon	1위	1위	변화없음	1위	1위	변화없음	

<표 9>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 산출물에 대한 가중치 부여 전과 후의 산출지향 CCR효율성수치에 의한 국제 경쟁력 순위변화를 살펴보면, 대련, 칭타오, 상해항은 순위가 상승하였다. 세코와 양천항은 하락하였다. 천진, 서먼, 홍콩, 부산, 인천항은 변화가 없었다.

둘째, 산출물에 대한 가중치 부여 전과 후의 산출지향 BCC효율성 수치에 의한 국제 경쟁력 순위변화를 살펴보면, 상해항은 10위에서 8위로 상승, 부산항은 8위에서 7위로 상승하였다. 세코항은 9위에서 10위로 하락, 양천항은 7위에서 9위로 하락하였다. 대련, 칭타오, 천진, 서먼, 홍콩, 인천항은 경쟁력순위의 변화가 없었다.

<표 9> 산출물에 대한 가중치 부여 전과 후의 산출지향 CCR과 BCC모형에 의한 효율성측정결과에 의한 국제경쟁력 변화

항만\구분	가중치 부여 전과 후의 산출지향CCR효율성수치에 의한 국제경쟁력 순위변화			가중치 부여 전과 후의 산출지향 BCC효율성 수치에 의한 국제경쟁력 순위변화			비고
	전	후	변화	전	후	변화	
Dalian	9위	8위	상승	1위	1위	변화없음	
Qingdao	10위	9위	상승	1위	1위	변화없음	
Shanghai	7위	6위	상승	10위	8위	상승	
Shekou	8위	10위	하락	9위	10위	하락	
Tianjin	1위	1위	변화없음	1위	1위	변화없음	
Xiamne	1위	1위	변화없음	1위	1위	변화없음	
Yantian	6위	7위	하락	7위	9위	하락	
HongKong	1위	1위	변화없음	1위	1위	변화없음	
Busan	5위	5위	변화없음	8위	7위	상승	
Incheon	1위	1위	변화없음	1위	1위	변화없음	

(2) AHP의 가중치를 DEA에 접목한 효율성분석 방법의 유효성

본 연구의 핵심적인 결과를 정리한 <표 8>과 <표 9>의 결과를 통해서 우리는 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째, AHP모형의 가중치를 도입한 DEA모형은 생산효율성 및 국제경쟁력을 측정할 수 있는 대안적인 방법이 충분히 될 수 있다. 왜냐하면 AHP의 가중치를 도입한 DEA모형은 투입 및 산출에 대한 가중치를 적용하는 경우 각각 국제경쟁력의 변화를 보여 줄 수 있었기 때문이다. 특히 가중치를 부여하는 경우에 투입지향모형과 산출지향모형 모두에서 생산효율성의 수치가 전반적으로 하락하는 것으로 나타났다.

둘째, AHP모형의 가중치를 도입한 DEA모형은 특정 변수(투입 및 산출변수)들에 대한 중요도를 고려한 경우의 효율성 및 국제경쟁력변화를 실증적으로 보여 줌으로써 기

존의 DEA모형이 보여주지 못한 한계점을 극복하고 확장시켰다.

IV. 결 론

지금까지 본 연구에서는 AHP법의 가중치를 DEA에 적용하여 중국과 한국의 대표항만들의 효율성과 국제경쟁력을 측정하고 분석하였다. 즉, 기존의 생산효율성측정방법을 제시하는 한편, 새롭게 생산효율성분석에 AHP모형의 도입필요성을 강조하였다. 실증분석은 AHP의 중요도는 여기태(2002)의 연구결과를 이용하여 분석함으로써 연구결과에 대한 신뢰성을 높였으며, 기존의 DEA모형에 의한 생산효율성 측정방법을 부분적으로 확장시켰다.

실증분석의 핵심적인 결과는 다음과 같다.

첫째, 투입물에 대한 가중치 부여 전과 후의 투입지향 CCR효율성수치에 의한 국제경쟁력 순위변화는 나타나지 않았다. 투입물에 대한 가중치 부여 전과 후의 투입지향 BCC효율성 수치에 의한 국제경쟁력 순위변화를 살펴보면, 양천항은 7위에서 8위로 하락, 부산항은 8위에서 7위로 상승한 것을 제외하고는 다른 항만들의 순위에는 변화가 나타나지 않았다.

둘째, 산출물에 대한 가중치 부여 전과 후의 산출지향 CCR효율성수치에 의한 국제경쟁력 순위변화를 살펴보면, 대련, 칭타오, 상해항은 순위가 상승하였다. 세코와 양천항은 하락하였다. 천진, 서먼, 홍콩, 부산, 인천항은 변화가 없었다. 산출물에 대한 가중치 부여 전과 후의 산출지향 BCC효율성 수치에 의한 국제경쟁력 순위변화를 살펴보면, 상해항은 10위에서 8위로 상승, 부산항은 8위에서 7위로 상승하였다. 세코항은 9위에서 10위로 하락, 양천항은 7위에서 9위로 하락하였다. 대련, 칭타오, 천진, 서먼, 홍콩, 인천항은 경쟁력순위의 변화가 없었다.

AHP법의 가중치를 DEA에 접목한 모형에 의한 실증분석 결과는 다음과 같은 정책적인 함의를 갖고 있다.

중국 및 한국의 해양수산부에서는 특정항만에 대한 효율성에 의한 국제경쟁력을 측정할 때, 항만전문가와 실제항만을 이용하는 관련당사자들이 중요시하는 투입 및 산출요소에 대한 고려를 신중하게 하여 항만에 대한 효율성을 측정하여야만 한다. 즉, 항만에 대한 정책입안시에 본 논문의 모형에 대한 도입과 시행을 고려하여야만 한다.

본 논문의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 측정대상년도를 2000년 단년도로 함으로써 실증분석 결과에 대한 깊이를 높이지 못했다. 둘째, 기존의 방법론과 차이점을 명확하게 부각시키지 못함으로써 모형사용의 범용성을 부각시키지 못했다. 그럼에도 불구하고

본 AHP법의 중요도에 따른 가중치를 DEA기법에 도입한 모형은 항만의 효율성 측정 및 특정요소의 유효성을 검증하는데 분명하게 기여할 것으로 확신한다. 부족한 부분에 대해서는 차후연구에서 다루고자 한다.

참 고 문 헌

- 강상곤, 「DEA모형을 이용한 컨테이너 항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구」, 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.2, pp.11-19.
- 박노경, "국내항만투자의 가치사슬 효율성 측정," 「2003년도 춘계학술발표대회 발표논문집」, 한국무역학회, 2003.5.30, pp.141-167.
- 박노경, "항만투자의 유효성 측정방법: congestion모형 접근," 「한국항만경제학회지」 제19권 2집, 한국항만경제학회, 2003.12, pp.33-53
- 여기태, "중국 컨테이너 항만의 경쟁력 평가에 관한 연구," 「한국해운학회지」 제34호, 한국해운학회, 2002.4, pp.39-60.
- 오성동·박노경, "컨테이너항만의 국제경쟁력 분석방법: DEA접근," 「한국항만경제학회지」 제17권 1호, 한국항만경제학회, 2001.5, pp.27-52.
- 전국경제인연합회, 「항만의 경쟁력 제고과제」, 전국경제인연합회조사연구자료, 산업정책 97-3, 1997. 9. 20.
- 전일수, 김학소, 김범중, 「우리나라 컨테이너 항만의 국제경쟁력 제고방안에 관한 연구」, 해운산업연구원, 정책자료090, 1993. 12, pp. 224-238.
- 정태원·곽규석, "동북아 경쟁항만들의 선호도 분석에 관한 연구," 「한국항해항만학회지」 제26권 4호, 한국항해항만학회, 2002, pp.363-372.
- Aigner, D. J. and S. F. Chu, "On Estimating the Industry Production Function," *American Economic Review*, Vol. 58, 1968, pp.824-839.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Sciences*, Vol. 30, 1984, pp. 1078-1092.
- Brockett, P. L., W.W. Cooper, Y. Wang, and H.C. Shin, "Inefficiency and Congestion in Chinese Production Before and after the 1978 Economic Reforms," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.32, No.1, 1988, pp.1-20.
- Byrnes, P., R. Fare, and S. Grosskopf, "Measuring Productive Efficiency: An Application to Illinois Strip Mines," *Management Science*, Vol.30, No.6, pp.671-681.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, 1978, pp. 429-444.
- Chen, Y. and J. Zhu, "Measuring Information Technology's Indirect Impact on Firm Performance," *Proceedings of the 6th INFORMS Conference on Information System & Technology*, 2001.
- Cooper, W.W., H. Deng, B. Gu, S. Li, and R.M. Thrall, "Using DEA to Improve the Management of Congestion in Chinese Industries (1981-1997)," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.35, 2001, pp.227-242.
- Cooper, W.W., L.M. Seiford, and J. Zhu, "A Unified Additive Model Approach for Evaluating Efficiency and Congestion," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.34, 2000, pp.1-26.

- 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.
- Dowd, T. J. and T. M. Leschine, "Container Terminal Productivity: A Perspective," *Maritime Policy and Management*, Vol. 17, No. 2, 1990, pp.107-112.
- Fare, R., S. Grosskopf, and C.A.K. Lovell *Production Frontiers*, Cambridge University Press, 1985.
- Fare, R., S. Grosskopf, and C.A.K. Lovell, *The Measurement of Efficiency of Production*, Boston, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1994.
- Farrel, M. J., "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, Part 3, 1957.
- Fecher, F., D. Kessler, S. Perelman and P. Pestieau, "Productive Performance of the French Insurance Industry," *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 4, No. 2, 1993, pp. 77-93.
- Ferrier, G. D. and K. Lovell, "Measuring Cost Efficiency in Banking: Econometric and Linear Programming Evidence," *Journal of Econometrics*, Vol. 46, 1990, pp. 229-245.
- Fleming, D. K., "World Container Port Rankings," *Maritime Policy and Management*, Vol. 24, No. 2, 1997, pp. 175-181.
- Han, Chul-Hwan, "An Empirical Study on the Determinants of Port Performance and Efficiency," *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.247-259.
- 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.
- Park, Ro-Kyung and De Prabir, "An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaports," *Maritime Economics & Logistics*, Vol.6, No.1, March 2004, pp.53-69.
- 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.
- Satty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Book Co., 1997.
- Satty, T. L., "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process," *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, 1990. pp.9-26
- Shephard, R. W., *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press, 1970.
- 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.
- Valdmanis, V., "Sensitivity Analysis for DEA Models," *Journal of Public Economics*, Vol. 48, 1992, pp. 185-205.
- Willingale, M.C., "The Port Routing Behavior of Short Sea Ship Operator Theory and Practices," *Maritime Policy and Management*, 1981.