

항만투자의 유효성 측정방법: congestion모형 접근*

A Measurement Way on the Effectiveness of Port Investment: Congestion Model Approach

박노경**

목 차

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| I. 서론 | 1. 분석대상, 자료 및 투입-산출변수 |
| II. 기존연구의 방향 | 2. 컨제스천모형에 의한 국내항만투자의 유효성측정 |
| III. 컨제스천모형에 의한 국내항만투자의 유효성 측정 | IV. 결론 |
-

Key Words: Port Investment, Effectiveness, Congestion Model

Abstract

The purpose of this paper is to investigate the effectiveness of port investemnt which is one of the important elements for measuring the port efficiency by using congestion approach of DEA(Data Envelopment Analysis). Congestion is said to be present when increases in inputs result in ouput reductions. Congestion approach takes the forms of weak input disposability and strong input disposability.

Empirical analysis by using congestion approach in this paper identified inefficiencies in the inputs including port investment, and indicated inefficient ports like the ports of Sokcho, Gunsan, Pohang, and Seoguipo which shows the large amount of slacks with congestion especially in terms of port investment. Therefore these ports should examine the reason about the inefficiency of port investment.

The main policy implication based on the findings of this study is that The Ministry of Maritime Affairs & Fisheries in Korea should introduce congestion approach when the amount of port investment to each port is decided.

* 본 논문은 한국항만경제학회가 주최한 2003년도 정기학술대회(2003년 7월)에서 발표된 논문을 수정보완한 논문임. 유익한 충고를 해 주신 중앙대학교의 방희석회장님(사회자), 목포대학교의 모수원교수님(토론자)께 감사를 드립니다.

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

I. 서 론

항만에 대한 투자가 국민경제에 미치는 효과(국내총생산 대비 항만투자를 0.16% 증가시키는 경우)를 살펴보면 국내총생산을 0.6866%만큼 증대시키며, 수출은 0.9250%, 고용은 0.6957%만큼 증대시키고, 제조업에 대한 생산비용은 0.0919%정도 감소시킨다고 하였다.¹⁾ 위와 같은 효과는 특정 항만에 투자를 하는 경우에 해당 항만도시와 주변공간에 미치는 효과는 훨씬 더 커진다고 할 수 있다. 즉, 항만투자는 다양한 파급효과를 갖고 있기 때문에 국가적 차원에서 계획·입안되고 반드시 시행되어야만 한다. 그러나 그동안의 항만투자정책은 동북아물류중심국가 정책을 표방하여 왔음에도 불구하고 국내 항만이 국제물류거점시설로서 국가경제 및 지역경제의 견인차 역할을 수행할 수 있는 항만시설을 충분하게 확보하는데 실패하였다. 그러한 실패의 가장 큰 원인은 교통시설특별회계를 통하여 투자재원이 배분되는 관계로 항만투자에 배정되는 비율이 매년 달라지고 있으며, 교통세수가 증가함에도 불구하고 항만계정에 배분되는 금액은 오히려 적어지는 현상 때문으로 밝혀졌다.²⁾ 요컨대, 그동안의 항만투자실태를 부문별로 살펴보면 다음과 같다. 국내총생산측면에서 보면 항만시설투자액은 1996년까지 국내총생산 대비 0.2%를 넘지 않았으며, 1998년에는 0.255%를 점유하였다. 재정규모면에서 보면 1990년대 중반이후를 제외하고는 거의 1%를 넘지 않았다. 특히 1990-1996년 기간 중 1% 미만의 저조한 투자실적으로 전국적인 항만시설 부족사태를 겪게 되었다. 타 교통부문과 비교해 보면 1997년 이후 연도별 교통시설 투자내역을 보면 도로와 항공부문에 대한 투자는 계속 증가하고 있으나 철도와 항만부문에 대한 투자는 감소하였다. 외국의 경우를 살펴보면 일본은 국내총생산액의 0.25-0.4%, 대만은 0.3%내외의 항만투자를 계속해 오고 있다.³⁾ 즉, 국내외적으로 우리나라의 항만투자는 절대규모가 매우 작았음을 알 수 있다. 그동안 중점적으로 추진해온 항만시설확충의 경우 아직도 시설부족현상이 시달리고 있으며 향후에도 예상물동량을 처리하기에 충분한 예산을 확보하기까지 쉽지 않을 것으로 예측되고 있다.⁴⁾ 그러한 사항을 인식하고 있는 정부에서도, '동북아 비즈니스 허브(hub)'전략을 뒷받침하기 위한 사회간접자본 시설확충에 역점을 두고 있다. 인천국제공항 개항, 부산, 광양항 개발, 그리고 국내 간선교통망의 확충 등 '스리 톱'(Three Top)시스템을 구축하여, 화물운송-원자재 조달-제조-배급에 이르는 일관체제를

1) 김학소·성숙경, "항만투자가 국민경제에 미치는 효과," 『월간 해양수산』 제196호, 2001.1, pp.57-60.

2) 상계논문, p.50.

3) 상계논문, pp.50-53.

4) 김학소, "항만투자정책의 새로운 패러다임," 『21세기 신해양시대의 해운·항만 대응전략』, 한국항만경제학회주최 제17차 항만경제학 국제학술회의 발표논문집, 2002년 6월 28일, p.240.

갖추겠다는 구상인 것이다. 즉, 부산과 광양항은 컨테이너 기간항로상(카오슝~로스엔젤레스항)에 위치하고 일본, 중국과 거리상으로 가까워 북중국과 일본서해안에서 발생하는 화물을 수송하기에 적합한 유리한 입지조건이 있다. 따라서 해양수산부는 오는 2011년 까지 7조9973억원을 투입해 선석을 30개(810 만TEU)로 늘릴 계획이다. 광양항에 대한 대규모 확장사업도 추진돼 2011년까지 대수심 부두 4선석을 포함해 33선석(932만TEU)을 갖추도록 개발에 착수한다. 정부는 부산신항 배후부지 113만평을 2011년까지 개발하고 광양항 배후부지 202만평을 2016년까지 개발하겠다는 계획도 세워놓고 있다.⁵⁾

위와 같이 항만에 대한 투자는 그 중요성 때문에 많은 학자들의 관심을 불러 일으켰으며, 학술적으로 연구되고 그 효과가 입증되었다. 선행연구들(II장에 제시함)의 유형을 살펴보면 다음과 같다. 즉, 항만시설과 수송체계에 관한 연구, 항만관리 체계에 관한 연구, 항만이 지역경제에 미치는 영향에 관한 연구, 개별 항만도시의 산업성장과 개발전략에 관한 연구, 항만의 생산효율성에 관한 연구로 나눌 수 있다. 특히 본 연구와 관련이 깊은 컨테이너항만의 생산효율성 및 국제경쟁력분석과 관련해서는 항만선택 결정요인들(예를 들면, 항만입지, 항만시설, 물동량구성, 항만비용, 서비스수준, 부두운영형태, 등등)과 투입요소 및 산출요소를 고려하여 II장에서 제시한 바와 같이 국내외적으로 다양하게 연구들이 이루어져 왔다. 그러나 상대적으로 항만투자효과를 투입요소와 산출요소 측면에서 항만별로 적절하게 투자되었는지를 판정하는 유효성을 분석한 연구는 국내에서는 거의 시도된 적이 없다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 사항들에 본 논문의 연구목적에 두고자 한다. 첫째, 국내항만투자의 유효성을 측정하기 위해서 새롭게 컨제스천모형을 도입하여 측정하고자 한다. 특히 컨제스천 모형에 의한 측정방법이 항만의 생산효율성을 분석하는 보완적인 측정방법이 될 수 있음을 실증적으로 보여 줌으로써 선행연구의 범위를 부분적으로 확장시키고자 한다. 둘째, 향후 항만의 정책당국이나 항만의 경영관리자들이 항만투자의 유효성을 검증하기 위한 정책입안시 참고가 될 수 있도록 컨제스천 모형의 이론적, 실증적 근거를 제시하고자 한다.

본 논문의 연구범위는, 외국과 국내에서 선행된 항만의 투자효과를 다룬 논문과 비모수적인 DEA(Data Envelopment Analysis, 자료포괄분석, 이하 DEA라 칭함)기법을 이용한 기존연구들의 방향을 간략하게 소개하고자 한다. 또한 최근에 이용도가 높아지고 있는 컨제스천 모형을 이용하여 첫째, 해양수산부에서 발표한 『해운항만통계연보』의 자료(2000년 단년도)를 이용하여 실증분석 하고 해석함으로써 컨제스천 모형의 유효성을 검증한다. 둘째, 본 연구에서 사용한 컨제스천 모형에 의한 측정 결과가 항만투자의

5) 스티튜시스템, 동북아허브 물류기반 '탄탄'(매일경제/2002.03.18).

유효성을 측정할 수 있는 분석방법으로서 어떤 의미를 갖는가를 제시하는 것으로 한정하고자 한다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어서, II장에서는 항만투자와 관련된 연구와 항만의 생산효율성측정과 관련된 기존연구들(DEA기법을 이용한 연구)의 방향을 간략하게 제시하며, III장에서는 항만투자가 투입요소 측면에서 적정하게 이루어 졌는지를 검증하기 위해서 컨테스컨 모형을 이용하여 실증분석한 후에, 그 의미를 해석하고 분석함으로써 국내 개별항만에 대한 투자의 유효성을 검증한다. IV장에서는 정책적 함의와 함께 결론이 제시된다.

II. 기존연구의 방향

1. 항만투자의 효과와 관련된 기존연구

김원재(1997.11)는 신항만 투자의사결정과 기존항만의 효율적 운영을 통한 물류비용 절감의 이론적 배경, 포항제철의 기존항만 이용과 관련된 해운항차배정 의사결정문제를 과거의 실적자료분석을 통한 사례연구를 실시하였다. 이기환·김대봉(2000.6)은 항만개발투자의 평가모형, 항만투자의 비용 및 편익추정, 항만투자의 경제적 효과를 실증분석하였다. 즉, 항만개발투자에 대한 평가방법의 이론적 배경을 설명하고 항만개발의 경제분석시 고려해야 할 사항을 검토한 후, 평가대상 항만을 부산항 컨테이너 전용부두로 선정하여 분석하였다. 1994년부터 2000년까지 부산항개발계획을 기초로 하였으며 그에 따른 경제적 비용(투자 및 운영유지비) 및 경제적 편익(선석비용, 하역비용, 수송비용 절감효과)을 산출하고 경제성평가방법(순현재가치법, 내부수익율법, 수익성지수법)을 통하여 그 결과를 비교분석함으로써 개발에 대한 타당성을 평가하여 그러한 투자가 과연 바람직 한지를 살펴보았다. 조진행·김재봉(2000.6)은 우리나라 항만개발투자제도의 현황(항만개발 및 관리운영제도)과 미국, 유럽, 일본, 동남아 국가 항만개발 투자제도를 소개 하였으며, 국내 항만개발투자의 기본방향과 투자재원조달의 개선방향을 제시하였다. 김학소·성숙경(2001.01)은 항만투자가 국민경제에 미치는 효과를 경제주체간 상호연계성을 고려하고 정책효과분석에 유용한 연산일반균형모형을 이용하여 항만, 공항, 도로 및 제도에 대한 상대적 투자효과(국내총생산, 수출, 고용, 제조업생산비용)를 비교 분석하였다. 그들은 항만부문에 대한 투자가 육상이나 항공 등에 투자하는 것보다 수출 증가 및 제조업의 생산비용절감효과면에서 더 큰 효과를 나타낸다는 것으로 보여 주었다. 김학소(2002.6)는 항만개발정책의 새로운 방향(항만기능특화를 통한 중추항만 개발, 부가가치 창출을 위한 항만배우부지 개발, 한반도의 동북아 물류센터화를 위한 기본계

획수립, 연안 및 내륙화물유통체제가 구비된 항만), 국내항만투자비 추정과 확보방안, 항만투자제도의 새로운 패러다임(충분한 항만시설확보, 항만관련 재원조달 방식의 획기적 개선), 민간유치제도의 획기적 개선, 정책적 제안 및 건의를 제시하였다.

박노경(2003.5)은 항만투자의 효과를 가치사슬측면에서 DEA기법을 이용하여 접근하였다. 즉, 18개 국내수출입항만의 2000년 자료를 이용하여 2단계(1단계는 접안능력과 하역능력이 화물처리량 및 입출항척수에 미친 영향 분석, 2단계는 항만투자가 화물처리량과 선박 입출항수에 미친 영향)로 나누어서 분석함으로써 가치사슬효율성모형을 특성을 실증적으로 보여 주었다.

2. DEA기법을 이용한 항만의 생산효율성과 관련된 연구

항만(컨테이너항만 포함)의 생산성(또는 생산효율성)을 측정한 국내에서의 기존연구는 대표적으로 오성동-박노경(2001), Chul-Hwan, Han(2002)의 연구가 있다. 또한 항만투자의 가치사슬효율성을 측정한 최근의 연구는 박노경(2003)이 수행하였다. 컨테이너항만(항만)의 생산효율성과 관련된 외국에서의 연구는 G. De Monie(1987), T. J. Dowd and T. M. Leschine(1990), D. K. Fleming (1997), K. Cullinane, D.W. Song, and R. Gray(2002)이 있다.

한편 항만의 생산효율성분석과 관련하여서는 다양한 방법들이 사용되어져 왔는데 그 중에는 DEA방법을 채택한 연구도 포함이 된다. 이 분석방법은 원래는 공공단체나 비영리단체의 생산성분석을 목표로 하였다. Charnes, Cooper and Rhodes(1978)가 개발하였으며 많은 분야에서 이용되고 있는 기법이다. 이 방법에 의거하여 효율적인 의사결정단위(Decision Making Unit : DMU)가 최적포괄(optimum envelope)로서 정의되며 그것은 비효율적인 단위들의 참조단위로서 역할을 하는 선형결합을 말한다. 생산함수방법을 DEA접근방법과 비교한 연구는 Fecher et.al.(1993)과 Ferrer and Lovell(1990)에 의해서 행해졌으며 두 방법사이에 긍정적인 상관관계가 있음을 발견하였다. 또한 항만의 생산효율성분석에 DEA기법을 적용한 최근의 예는 Y. Roll and Y. Hayuth(1993), Jose Tongzon(2001), Valentine and Gray(2002) 의 연구에서 찾아 볼 수 있다.

3. 기존연구의 한계점

위에서 살펴본 기존연구들의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 항만투자와 관련된 연구는 박노경(2003)을 제외하고 DEA기법을 사용하지 못했으며, DEA기법을 이용한 연구들도

컨제스천모형을 이용하여 개별항만에 대한 투자의 유효성을 측정하는 연구는 시도된 적이 없다. 둘째, 항만투자의 경제적 효과를 측정하는 연구들도 일반균형분석방법과 모수적인 방법만을 시도하였으며, 투입요소와 산출요소들을 이용한 비모수적인 방법은 시도하지 못했다.

III. 컨제스천모형에 의한 국내항만투자의 유효성측정

본 논문은 서론에서 설명한 바와 같이 국내개별항만에 대한 투자가 과연 적절한 것이었는지를 투입-산출요소 측면에서 살펴보는 것으로 한정하였다. 따라서 본 논문에서는 기존의 DEA기법에 사용되었던 CCR, BCC모형에 대해서 살펴보고 항만투자의 유효성을 측정할 수 있는 컨제스천 모형을 제시한 후에 실증분석을 하고 해석하고자 한다.

1. 분석대상, 자료 및 투입-산출변수

<표 1> 국내항만투자의 유효성 측정을 위한 분석자료 (2000년)

항만/구분	항만투자금액 (백만원)	접안능력 (척수)	화물처리능력 (천톤)	화물처리량 (톤)	선박입출항 척수(척)
부산	2,525,290	108	84,475	117,228,960	72,022
인천	43,910	75	56,820	120,398,573	7,812
여수	9,590	8	3,016	5,352,426	7,812
광양	46,249	58	74,277	139,476,251	38,920
마산	3,207	27	14,229	10,411,228	12,358
삼천포	5,080	9	19,168	18,205,883	3,132
진해	655	9	1,869	716,570	1,526
울산	57,457	90	24,772	151,066,573	48,496
삼척	3,800	7	7,171	6,335,569	2,119
목호	6,456	6	6,388	4,371,015	3,577
속초	9,565	6	896	34,907	341
군산	102,926	25	13,869	11,786,792	9,155
장항	7,450	2	1,068	608,463	757
목포	49,125	17	6,271	6,480,601	14,864
완도	4,277	4	817	309,608	2,924
포항	60,782	44	44,542	51,133,823	14,153
제주	2,509	17	3,589	2,487,339	6,499
서귀포	17,063	5	1,359	607,286	2,369

자료: 한국해양수산부, 항만통계연보, 2000, 해양수산부 내부자료.

분석대상은 국내수출입항만 18개(항만투자에 대한 자료의 제약 때문에 18개 항만만을 선택하였음)를 대상으로 하였으며, 대상연도는 2000년으로 하였다. 단년도를 선택한 이유는 본 논문의 목적이 개별항만에 대한 투자의 유효성을 검증하기 위한 컨제스천 모형을 항만투자부분에 실증적으로 적용해 보고자 하는 것이었으며, 또한 본 논문의 방법을 그대로 이용하면 다년도는 쉽게 측정할 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다. 실증분석은 항만투자금액, 접안능력, 하역능력을 투입요소로 하였으며, 화물처리량과 입출항선박수를 산출요소로 하여 시행하였다.

2. 컨제스천모형에 의한 국내항만투자의 유효성 측정

DEA⁶⁾ 모형은 많은 연구에 의해 다양한 형태로 제시되었으나, 가장 많이 활용되는 모형으로는 Charnes, Cooper & Rhodes(1978)의 CCR모형과 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 선형분수 계획모형(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.

1) 규모수확불변 및 변화하의 기술 및 규모효율성⁷⁾

모든 의사결정단위(Decision Making Units)의 실제 관찰된 동일한 산출물과 투입물

6) 모형에 대한 자세한 설명은 다음의 논문들을 참조하시기 바랍니다.

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

7) 강상곤, 『DEA모형을 이용한 컨테이너 항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구』, 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.2, pp.11-19.

박노경의 1인, “국내은행의 효율분석: DEA, FDH, Malmquist지수의 비교분석,” 『국제경제연구』 제8권 제3호, 한국국제경제학회, 2002.12.1., pp.180-181.

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.

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 가처분성(free disposibility) 가정을 만족시킨다. 여기서, 투입물의 가처분성은 $(y^A, x^A) \in F$ 이고 $(x^B \geq x^A)$ 이면 $(y^A, x^B) \in F$ 임을 의미하고, 산출물의 가처분성은 $(y^A, x^A) \in F$ 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.⁸⁾ 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.

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

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \theta - \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ - \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- \\
 & \text{s.t} \\
 & x_{ij_0} \theta - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- = 0, i=1, 2, \dots, m, \\
 & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{rj_0} - s_r^+ = 0, r=1, 2, \dots, s, \\
 & \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \forall j, r, i.
 \end{aligned}
 \tag{식 3}$$

여기서, λ_j 는 참조집합들의 선형결합비율을 나타내는 밀도변수(intensity variables)이고, θ 는 의사결정단위 j_0 의 효율성을 나타낸다. 그리고 s_i^- 는 투입물의 여유변수(slack variables), s_r^+ 는 산출물의 여유변수, ε 은 일반적으로 10^{-6} 의 작은 값을 갖는 비아르키메디안(non-archimedian) 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.

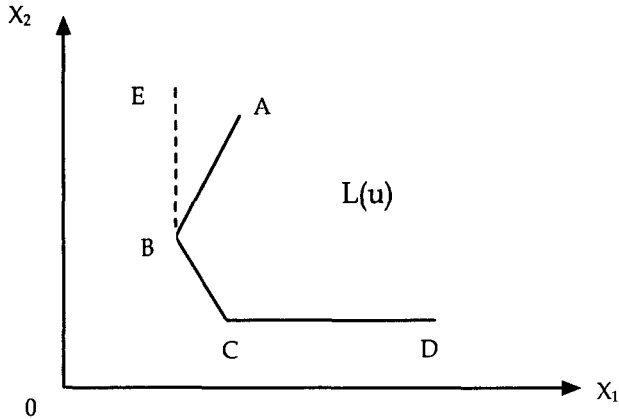
2) 컨제스천 측정모형

(1) 컨제스천 모형의 도해

Byrnes et al.(1984, p.672)는 컨제스천 모형을 강형과 약형으로 나누어서 설명하였다. 즉, 강형처분성(strong disposability)이란 만일에 어떤 투입물이 증대될 때, 산출물이 감소하지 않는 것을 의미하며(if any input is increased, output does not decrease), 약형처분성(weak disposability)이란 만일에 모든 투입물들이 비율적으로 증대되는 경우에,

산출물이 감소하지 않는 것(if all inputs are increased proportionally, output does not decrease)을 의미한다.

[도 1] 컨제스천모형에 대한 도해



<출처: Byrnes et al., 1984, p.672>

[도 1]은 컨제스천 모형을 강형과 약형으로 나누어서 보여 주었다. ABCD로 표시한 투입물조합인 $L(u)$ 는 적어도 산출물비율 u 를 생산하는 투입물 벡터로서 강형이 아닌 약형의 처분성을 보여 준다. $L(u)$ 는 반드시 EBCD로 표시하여 연장될 수 있다. X_1 이 수확불변이라면, X_2 가 증가하더라도, 산출물수준 u 가 여전히 생산가능한 수준임을 의미한다. 예를들면, B점을 제외한 BE 선상의 모든 점들은 산출물 수준 u 보다 결코 작지 않은 산출물을 생산한다. 약형과 강형의 처분성을 구분하는 것이 중요하다. 강형대의 처분성을 기술에 부과하게 되면, 컨제스천에 대한 모델과 측정가능성을 배제하는 것이 된다. 진정한 생산기술을 ABCD라고 하고, 강형처분성을 가정한다면, 수정된 기술은 EBCD가 된다. B를 제외한 BA상의 모든 점들은 기술적으로 비효율적이다. 왜냐하면 그들은 강형처분등량곡선 EBCD의 안쪽에 위치하기 때문이다. 그러나 원래의 생산기술에 근거해 본다면, 그러한 점들은 기술적으로 비효율적이거나 또는 컨제스천이 된다. 즉, X_2 를 줄임으로써 산출물이 증가되고, 역으로 X_2 가 증가된다면(단, X_1 은 불변), 산출물은 감소하게 되는데, 그러한 상황이 컨제스천을 의미한다.

(2) 컨제스천 모형

Cooper et al.(2001, p.228)은 컨제스천이란 한 개이상의 투입요소를 제거하는 경우 한 개이상의 산출물이 증가된다면 발생한다고 하였다. 이때, 다른 투입요소나 산출요소를 악화시키지 않는 것을 조건으로 한다. 그러한 역의 상황에서도 발생한다고 하였다.

즉, 한 개이상의 투입물을 증가시킬 때, 한 개이상의 산출물을 감소시킬 수 있을 때 발생한다. 단, 다른 투입요소나 산출요소를 개선시키지 않는 것을 조건으로 한다.

DEA에 근거한 컨제스천분석은 그 동안 국외에서 3가지 분석방법으로 시도되었다. 첫째는 Fare, Grosskopf, and Lovell(1985)가 이용한 2단계 방사측정모형(radial measure model)이다. 둘째는 Cooper, Seiford, and Zhu(2000)가 이용한 2단계 가법(비방사측정)모형이며, 셋째는 Cooper et al.(2001)이 사용한 2단계 방사측정모형이다.⁹⁾

컨제스천에 대한 수학적 모형은 Brockett et al.(1998)과 Cooper et al.(2001)에서의 방법을 이용하였다. 이 모형의 특징은 개별 DMU들의 투입요소와 산출요소측면의 비효율성과 컨제스천을 측정하는 것이다. Cooper et al.(2001, p.235)이 제시한 컨제스천모형식은 다음 <식 4>와 같다. <식 4>의 목적은 투입물슬랙을 극대화시키는 것이다.

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \sum_{i=1}^m \delta_i^- \\
 \hat{x}_{io} = & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \delta_i^-, \quad i=1, \dots, m, \\
 \hat{y}_{ro} = & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j, \quad r=1, \dots, s, \\
 1 = & \sum_{j=1}^n \lambda_j, \\
 s_i^{-*} \geq & \delta_i^-, \quad i=1, \dots, m,
 \end{aligned}
 \tag{식 4}$$

i 는 투입물, r 는 산출물

\hat{x}_{io} 와 \hat{y}_{ro} 는 최적해로부터 구해지는 개별투입물과 산출물에 대해서 조정된 값,

x_{ij} 와 y_{rj} 는 DMU j 의 투입물과 산출물의 량

δ_i^- 는 i 번째 투입물의 기술적으로 비효율적인 양

s_i^{-*} 는 i 번째 투입물의 여유분의 총량

3) 항만투자의 컨제스천 측정

개별항만의 생산효율성을 분석하는 지표는 첫째, 생산효율성 값과 둘째, 참조항만에 대한 잠재가격이다. 생산효율성 값이란 해당항만이 참조항만에 비해서 효율성 값만큼의 생산성을 갖고 있다는 것을 의미한다. 참조항만에 대한 잠재가격이란 <표 2>에서 해당항만이 생산효율적으로 되기 위해서는 참조항만의 투입과 산출요소에 잠재가격(CCR모형과 BCC모형의 경우에 산출된 참조항만과 잠재가격)을 각각 곱해 준 결과의 수치가 되어야 한다는 것을 의미한다. <표 2>에서는 일반적인 CCR모형에 의한 효율성측정결과, <표 3>에서는 약형의 투입물지향 VRS모형에 의한 결과, <표 4>에는 강형의 투입

9) Cooper et al. (2001), p.230.

물지향 VRS모형에 의한 결과를 보여 주었다. 여기서 투입지향형이란 현재의 산출물수준을 유지하면서 투입량을 가능한 한 감소시켜 나가는 모형을 말하며, 산출지향형이란 현재의 투입량 수준에서 산출물 수준을 극대화하는 것을 말한다¹⁰⁾.

<표 2> 규모수확불변모형(CCR)에 의한 효율성측정결과

항만 \구분	투입지향CR S 효율성수 치	참조항만 및 잠재가격	규모수확변화
부산	0.78401	여수:6.221, 광양:0.602	체감
인천	1.0		불변
여수	1.0		불변
광양	1.0		불변
마산	1.0		불변
삼천포	1.0		불변
진해	0.73076	마산:0.071, 제주:0.1	체증
울산	1.0		불변
삼척	0.54540	광양:0.040, 마산:0.041, 삼천포:0.019	체증
목호	0.66988	여수:0.368, 광양:0.017, 마산:0.003	체증
속초	0.10634	완도:0.117	체증
군산	0.41981	여수:0.917, 광양:0.037, 울산:0.011	체증
장항	0.39483	여수:0.093, 광양:0.001	체증
목포	0.90610	여수:1.835, 완도:0.181	체감
완도	1.0		불변
포항	0.52563	광양:0.292, 울산:0.069	체증
제주	1.0		불변
서귀포	0.57292	여수:0.140, 완도:0.436	체증

<표 2>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

10) 따라서 투입지향모형은 투입요소의 극소화와 산출지향모형은 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 효율성 분석결과 나타난 효율성 수치를 통해서 상대적인 비교가 쉬운 투입지향모형을 일반적으로 제시하고 있다. 본 논문에서 투입지향모형을 가정하여 실증분석을 시행하였다.

첫째, 효율적인 항만들은 인천, 여수, 광양, 마산, 삼천포, 울산, 완도, 제주항들이었다. 둘째, 속초가 가장 낮은 효율성을 보였으며, 삼척, 목호, 포항, 서귀포항 등이 중간정도, 부산과 진해가 상위그룹 중에서 하의 수준, 목포항이 높은 효율성수치를 보이고 있다.

셋째, 부산항과 목포항이 규모수확이 체감하는 항이었으며, 진해, 삼척, 목호, 속초, 군산, 장항, 포항, 서귀포항들이 규모수확이 체증하였다.

<표 3> 약형의 투입지향 VRS모형(weak input-oriented VRS)에 의한 효율성측정결과

항만 \구분	투입지향V RS효율성 수치	참조항만 및 잠재가격
부산	1.0	
인천	1.0	
여수	1.0	
광양	1.0	
마산	1.0	
삼천포	1.0	
진해	1.0	
울산	1.0	
삼척	0.98137	삼천포:0.324, 진해:0.235, 울산:0.001, 완도:0.439
목호	0.95943	여수:0.207, 삼천포:0.262, 장항:0.191, 완도:0.340
속초	1.0	
군산	1.0	
장항	1.0	
목포	1.0	
완도	1.0	
포항	0.59835	광양:0.310, 울산:0.038, 군산:0.157, 장항:0.495
제주	1.0	
서귀포	1.0	

<표 3>에서는 약형의 투입물지향 VRS모형에 대한 효율성을 측정한 결과를 제시하였다. 삼척, 목호, 포항이 비효율적인 것으로 나타났으며 나머지 항만들은 모두 효율적인 것으로 나타났다.

<표 4> 강형의 투입지향 VRS모형(strong input-oriented VRS)에 의한 효율성측정결과

항만 \구분	투입지향VRS 효율성수치	참조항만 및 잠재가격
부산	1.0	
인천	1.0	
여수	1.0	
광양	1.0	
마산	1.0	
삼천포	1.0	
진해	1.0	
울산	1.0	
삼척	0.98137	삼천포:0.324, 진해:0.235, 울산:0.001, 완도:0.439
목호	0.87967	광양:0.025, 삼천포:0.035, 장항:0.109, 완도:0.832
속초	0.91183	완도:1.0
군산	0.42166	여수:0.914, 광양:0.037, 울산:0.011, 장항:0.038
장항	1.0	
목포	1.0	
완도	1.0	
포항	0.54621	광양:0.298, 울산:0.061, 장항:0.641
제주	1.0	
서귀포	0.70207	여수:0.019, 울산:0.001, 장항:0.313, 완도:0.667

<표 4>에는 강형의 투입지향 VRS 모형에 의한 효율성 측정결과를 제시하였다. <표 4>의 내용 중에서 주목할 사실은 삼척, 목호, 속초, 군산, 포항, 서귀포항들이 비효율적인 것으로 나타났으며, 나머지 항만들은 효율적으로 나타났다.

<표 5> 투입-산출요소의 여유분(slacks)

항만 \ 구분	투입요소의 여유분			산출요소의 여유분	
	투자	접안능력	화물처리능력	화물처리량	선박입출항척수
부산				0.00039	
인천					
여수				0.00009	
광양				0.00074	
마산					
삼천포					
진해					
울산					
삼척					581.20607
목호			2340.52741		
속초	4444.65737	1.47098		274701.00004	2583.0000
군산	31995.07330				
장항					
목포					
완도					
포항	11149.47867				876.96629
제주					
서귀포	6570.04534				

<표 5>에서는 투입지향 VRS모형에서 투입-산출요소의 여유분을 제시하였다. 첫째, 속초, 군산, 포항, 서귀포항구들은 투자부문에 대해서 여유분이 발생하였다. 둘째, 속초는 접안능력부문에서 여유변수가 발생하였다. 셋째, 목호항은 화물처리능력부문에서 여유변수가 발생하였다. 넷째, 화물처리량에서는 부산, 광양, 속초, 서귀포항, 그리고 선박입출항 척수 면에서는 삼척, 속초, 포항항들이 산출면에서 여유변수가 발생하였다. 위와 같은 여유분들은 투입요소는 감소시켜야만 하고 산출요소는 증대시켜야만 한다는 것을 의미한다.

<표 6> 효율적인 투입-산출요소의 목표분(target)

항만 \ 구분	효율적인 투입요소의 목표분			효율적인 산출요소의 목표분	
	투자	접안능력	화물처리능력	화물처리량	선박입출항척수
부산	252590	108	84475	117228960	72022
인천	43910	75	56820	120398573	44944
여수	9590	8	3016	5352426	7812
광양	46249	58	74277	139476251	38920
마산	3207	27	14229	10411228	12358
삼천포	5080	9	19168	18205883	3132
진해	655	9	1869	716570	1526
울산	57457	90	24772	151066573	48496
삼척	3729.21	6.87	7037.41	6335569	2700.21
목호	5679.17	5.28	3278.82	4371015	3577
속초	4277	4	817	309608	2924
군산	11404.69	10.54	5848	11786792	9155
장항	7450	2	1068	608463	757
목포	49125	17	6271	6480601	14864
완도	4277	4	817	309608	2924
포항	22050.18	24.03	24329.23	51133823	15029.97
제주	2509	17	3589	2487339	6499
서귀포	5409.38	3.51	954.11	607286	2369

<표 6>에서는 효율적인 항만이 되기위한 투입-산출요소의 목표분을 제시하였다. 개별투입요소와 산출요소의 목표분의 크기와 <표 1>에서 제시한 투입-산출요소의 원자료의 수치와 비교해보면 투입요소의 과대량과 산출요소의 과소량을 발견할 수 있다.

**<표 7> 투입지향 약형 VRS모형에 의한 투입요소의
컨제스천여유분과 산출지향 약형 VRS모형에 의한 산출요소의
컨제스천 여유분**

항만 \ 구분	투입요소의 컨제스천 여유분			산출요소의 컨제스천 여유분	
	투자	접안능력	화물처리능력	화물처리량	선박입출항척수
부산				0.00037	
인천					
여수					
광양					
마산					
삼천포					
진해					
울산					
삼척					542.99270
목호			2340.52741		
속초	4444.65737	1.47098		173477.58705	
군산	31995.07330				
장항					
목포					
완도					
포항	11149.47867				1200.22219
제주					
서귀포	6570.04534			494141.43135	

<표 7>에 의하면 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 항만에 대한 투자측면에서 컨제스천을 보인 항은 속초, 군산, 포항, 서귀포항이었다. 둘째, 접안능력 측면에서는 속초항이 컨제스천을 보였다. 셋째, 목호항은 화물처리능력면에서 컨제스천을 보였다. 넷째, 항만투자액의 원 순위(<표 1>)와 <표 7>의 항만투자금액의 컨제스천 순위를 살펴보면 다음과 같다. 속초항(원순위: 10위, 컨제스천순위: 2위), 군산항(원순위: 2위, 컨제스천순위: 1위), 포항항(원순위: 3위, 컨제스천순위: 3위), 서귀포항(원순위: 8위, 컨제스천순위: 4위). 다섯째, 컨제스천여유분이 <표 1>의 원자료에서 차지하는 비율을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 항만투자금액 면에서 속초항(46.47%), 군산항(31.09%), 포항항(18.32%), 서귀포항(38.50%)이었으며, 접안능력면에서

속초항(24.52%), 화물처리능력면에서 묵호항(36.64%)으로 나타났다. 여기서 <표 5>와 <표 7>은 산출요소의 컨제스천은 조금씩 다르지만, 투입요소의 컨제스천은 동일한 결과를 보이고 있는데, 그 이유는 컨제스천모형 자체가 슬랙변수모형에서 이용하고 있는 슬랙의 최적성을 채택하고 있기 때문이다. 즉, 투입요소의 여유량과 투입요소중심의 컨제스천측정방법과는 밀접한 관계를 갖고 있다는 사실은 다음과 같은 기존연구들에서 확인을 하고 있다. 즉, Brockett, Cooper, Shin and Wang(1998)은 투입물 중심 컨제스천을 파악하고 그에 대한 원인과 량을 확인하기 위해서 새로운 여유변수에 근거한 접근법(slack-based approach)을 제시하였다. Cooper, Seiford, and Zhu(2000)는 Brockett, Cooper, Shin, and Wang(1998)이 Fare, Grosskopf and Lovell(1994)의 연구를 다음과 같은 측면에서 개선시켰음을 증명하였다. 첫째, 컨제스천을 발견하고, 둘째, 컨제스천 량을 결정하고, 셋째, 컨제스천을 야기시킨 요인을 확인하며, 넷째, 비효율성의 다른 요인들로부터 컨제스천량을 구분하였다.

4) 컨제스천 효율성분석 방법의 유효성

본 연구의 핵심적인 결과를 정리한 <표 7>의 결과를 통해서 우리는 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째, 컨제스천모형은 생산효율성을 측정할 수 있는 대안적인 방법이 충분히 될 수 있다. 왜냐하면 컨제스천 모형은 투입요소와 산출요소의 과대와 과소분을 적시하여 해당항만에 대한 여유분량(slacks)을 줄일 수 있도록 실제적인 크기를 보여 주었기 때문이다.

둘째, 투입요소측면에서 컨제스천(투입물의 증가가 산출물의 감소를 발생시키는 상황)이 발생한 특정항만을 적시해 내는 한편, 특정 투입요소 즉, 본 논문에서는 항만투자가 얼마만큼, 어떤 방식으로 이루어져야 하는지를 밝혀 줌으로써 기존의 DEA모형이 보여주지 못한 한계점을 극복하고 확장시켰다.

셋째, 컨제스천모형이 갖고 있는 장점인 특정한 산출을 증대시킬 수 없는 투입요소의 과다한 현상을 실제로 보여줌으로써, 생산효율성측면에서 타 측정방법과 상호보완적인 역할을 할 수 있음을 실증적으로 보여 주었다.

IV. 결 론

지금까지 본 연구에서는 개별항만에 대한 투자의 유효성을 검증하기 위해서 컨제스천모형을 이용하여 이론적, 실증적으로 분석하였다. 즉, 기존의 생산효율성측정방법을

제시하는 한편, 새롭게 생산효율성분석에 컨제스션 모형의 도입필요성을 강조하였다. 실증분석은 해양수산부에서 발행하는 “항만통계연보”의 2000년도 원자료를 투입지향모형을 중심으로 측정된 후에 기존의 DEA모형과 생산효율성 측면의 비교분석을 통해 그 유효성을 검증함으로써 항만투자의 유효성을 검증함으로써 생산효율성 측정방법을 부분적으로 확장시켰다.

컨제스션모형에 의한 항만투자의 유효성에 관한 실증분석의 핵심적인 결과는 다음과 같다. 첫째, 항만에 대한 투자측면에서 컨제스션을 보인 항은 속초, 군산, 포항, 서귀포항이었다. 둘째, 집안능력 측면에서는 속초항이 컨제스션을 보였다. 셋째, 묵호항은 화물처리능력면에서 컨제스션을 보였다.

컨제스션모형에 의한 항만투자의 유효성을 분석한 위와 같은 실증분석 결과는 다음과 같은 정책적인 함의를 갖고 있다.

첫째, 그동안 해양수산부에서 시행해 왔던 항만에 대한 투자정책은 생산효율적인 측면이 도외시되었었다. 따라서 효율적이지 못한 항만들이 비효율성의 원인이 되었던 생산요소들을 적출해 낼 수 있으며, 특히 항만투자액을 결정할 때, 컨제스션모형과 같은 보다 과학적인 투자모형의 도입을 고려해야만 한다.

둘째, 본 컨제스션모형만이 갖고 있는 장점(특정 투입요소의 유효성을 검증)이 실증적으로 검증되었으므로, 국내 항만의 정책입안가들은 본 모형을 항만간의 효율성 측정 및 증대 모형으로서 도입하여 사용 할 것을 신중하게 고려해야만 한다.

본 논문의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 측정 대상년도를 2000년 단년도로 함으로써 실증분석 결과에 대한 깊이를 높이지 못했다. 둘째, 기존의 방법론과 차이점을 명확하게 부각시키지 못함으로써 모형사용의 범용성을 부각시키지 못했다. 셋째, 국내항만들에 대해서 사후적이 아닌 사전적으로 해당항만의 효율성을 측정하고 투입-산출측면에서 부족분과 과다분을 제시하지 못하였다. 그럼에도 불구하고 본 컨제스션모형은 항만의 효율성 측정 및 특정요소의 유효성을 검증하는데 분명하게 기여할 것으로 확신한다.

부족한 부분에 대해서는 차후연구에서 다루고자 한다.

참 고 문 헌

- 김원재, “물류비용절감을 위한 항만투자의사결정에 관한 연구,” 『해운학회지』 제25호, 한국해운학회, 1997.11, pp.153-170.
- 김학소, “항만투자정책의 새로운 패러다임,” 『제17차 항만경제학 국제학술회의 21세기 신해양시대의 해운항만 대응전략』, 한국항만경제학회 국제학술대회 발표논문집, 2000.6.28, pp.35-57.
- 김학소·성숙경, “항만투자가 국민경제에 미치는 효과,” 『해양수산』 통권196호, 한국해양수산개발원, 2001.01, pp.47-62.

한국항만경제학회지 제19집 제2호 (2003.12)

- 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.
- 박노경외 1인, "국내은행의 효율분석: DEA, FDH, Malmquist지수의 비교분석," 『국제경제연구』 제8권 제3호, 한국국제경제학회, 2002.12, pp.177-200.
- 오성동·박노경, "컨테이너항만의 국제경쟁력 분석방법: DEA접근," 『한국항만경제학회지』 제17권 1호, 한국항만경제학회, 2001.5, pp.27-52.
- 이기환·김대봉, "항만개발의 경제적 수익분석," 『해운학회지』 제30호, 한국해운학회, 2000.6, pp.5-33.
- 전일수, 김학소, 김범중, 『우리나라 컨테이너 항만의 국제경쟁력 제고방안에 관한 연구』, 해운산업연구원, 정책자료090, 1993. 12, pp. 224-238.
- 조진행·김재봉, "우리나라 항만개발 투자제도 개선방안에 관한 연구," 『해운학회지』 제30호, 한국해운학회, 2000.6, pp.35-57.
- 매일경제신문, 2002년 3월 18일자, <http://www.mk.co.kr>
- Aigner, D. J. and S. F. Chu (1968), "On Estimating the Industry Production Function," *American Economic Review*, Vol. 58, 824-839.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Sciences*, Vol. 30, pp. 1078-1092.
- Brockett, P. L., W.W. Cooper, Y. Wang, and H.C. Shin (1998), " Inefficiency and Congestion in Chinese Production Before and after the 1978 Economic Reforms," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.32, No.1, 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 (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, 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 (2001), " Using DEA to Improve the Management of Congestion in Chinese Industries (1981-1997)," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.35, pp.227-242.
- Cooper, W.W., L.M. Seiford, and J. Zhu (2000), "A Unified Additive Model Approach for Evaluating Efficiency and Congestion," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.34, 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, p. 107-112.
- Fare, R., S. Grosskopf, and C.A.K. Lovell(1985), *Production Frontiers*, Cambridge University Press.
- Fare, R., S. Grosskopf, and C.A.K. Lovell(1994), *The Measurement of Efficiency of Production*, Boston, Kluwer-Nijhoff Publishing.
- 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.
- 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.
- Shephard, R. W.(1970), *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press.
- 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.