

# 항만효율성 측정 자료의 정규성과 변환 불변성 검증 소고: DEA접근\*

박노경\*\* · 박길영\*\*\*

## A Brief Verification Study on the Normalization and Translation Invariant of Measurement Data for Seaport Efficiency :DEA Approach

Ro-Kyung Park · Gil-Young Park

### 목 차

- |                 |                                     |
|-----------------|-------------------------------------|
| I. 서론           | III. 항만효율성 측정 자료의 정규성과 변환 불<br>변성검증 |
| II. 기존연구에 대한 검토 | IV. 결론                              |

Key Words: Korean Seaports, Normalization, Unit Invariant, DEA, CCR, BCC

### Abstract

The purpose of this paper is to verify the two problems(normalization for the different inputs and outputs data, translation invariant for the negative data) which will be occurred in measuring the seaport DEA(data envelopment analysis) efficiency. The main result is as follow: Normalization and translation invariant in the BCC model for measuring the seaport efficiency by using 26 Korean seaport data in 1995 with two inputs(berthing capacity, cargo handling capacity) and three outputs(import cargo throughput, export cargo throughput, number of ship calls) was verified. The main policy implication of this paper is that the port management authority should collect the more specific data and publish these data on the inputs and outputs in the seaports with consideration of negative(ex. accident numbers in each seaport) and positive value for analyzing the efficiency by the scholars, because normalization and translation invariant in the data was verified.

▷ 논문접수: 2007.02.01    ▷ 심사완료: 2007.02.28    ▷ 게재확정: 2007.03.12

\* 본 논문은 2007년도 조선대학교 교내연구비의 지원에 의해서 연구되었음.

\*\* 대표저자, 조선대학교 무역학과 교수, nkpark@chosun.ac.kr, 062)230-6821

\*\*\* 교신저자, 조선대학교 경영학부 부교수, kypark@chosun.ac.kr, 062)230-6838

## I. 서론

전 세계적으로 자유무역협정이 활성화됨에 따라서 무역량이 크게 증가 할 것으로 예측되고 있다. 무역량의 증가는 항만화물을 유치하기 위한 항만들 간의 경쟁을 야기 시키게 되고 그러한 경쟁은 결국은 시설, 사용료, 서비스 등등의 측면에서 효율적인 항만만이 생존할 수 있도록 만들게 된다. 그러한 사항을 인식하고 있는 정부에서도, '동북아 비즈니스 허브(hub)' 전략을 뒷받침하기 위한 사회간접자본 시설확충에 역점을 두고 있다. 인천국제공항투자확대, 부산신항 및 광양항배후단지 개발, 그리고 국내 간선교통망 구축 등을 통해서 화물운송-원자재 조달-제조-배송에 이르는 일관체제를 구축하기 위해서 노력하고 있다. 즉, 컨테이너 기간항로상(카오슝~로스엔젤레스항)에 위치하고 있는 부산과 광양항은 일본, 중국과 거리상으로 가까워 북중국과 일본서해안에서 발생하는 화물을 수송하기에 적합한 유리한 입지조건이 있다. 그러나 최근 수년간 중국정부의 대규모 전략적인 투자에 힘입어 중국항만들이 급속하게 성장하게 됨에 따라서 국내항만들의 지리적으로 유리한 상황이 크게 역전되고 있으며, 그 만큼 국내항만들은 동북아시아 국가들의 화물을 포함하여 세계적인 선사들의 화물을 유치하지 않으면 안 되는 심각한 상황을 맞이하고 있다.

항만의 효율성은 해당항만에 대한 투입요소의 양 또는 액수가 어느 정도의 산출요소의 양 또는 액수를 불러일으키는가에 따라 결정된다. 항만이 효율적일 때, 해당항만의 국내 및 국제경쟁력은 자연스럽게 커지게 되고, 화물유치가 그 만큼 쉬워지게 된다.

위와 같이 항만에 대한 효율성 문제는 그 중요성 때문에 많은 학자들의 관심을 불러 일으켰으며, 학술적으로 연구되고 그 효과가 입증되었다. 항만의 효율성과 관련된 선행연구들 중에서 DEA(Data Envelopment Analysis, 자료포괄분석)기법을 이용한 연구들은 II장에서 제시한 바와 같이 국내외적으로 많은 연구들이 이루어져 왔다. 그러나 상대적으로 항만효율성 분석에서 가장 중요한 역할을 하는 투입요소와 산출요소에 대한 원 자료 측면의 정규성과 불변성을 분석한 연구는 국내에서는 시도된 적이 전혀 없다.

따라서 본 연구에서는 국내항만의 효율성을 측정하기 위해서 사용하는 원 자료의 성격을 검증하고자 하며, 특히 원 자료의 정규성과 불변성을 실증적으로 검증하여 보여 줌으로써 선행연구의 범위를 부분적으로 확장시키고자 하는데 본 논문의 목적이 있다.

본 논문의 연구범위는, 외국과 국내에서 선행된 항만의 효율성 측정에 DEA기법을 이용한 기존연구들의 방향을 간략하게 소개하고자 한다. 또한 정규성[Roll and Hayuth(1993)]과 불변성[Lovell and Pastor(1995)]모형을 이용하여 첫째, 해양수산부에서 발표한 『해양수산통계연보』의 자료(1995년 단년도)를 이용하여 실증분석 하고 해석함으로써 원 자료의 성격을 검증한다. 둘째, 본 연구에서 검증한 정규성과 변환불변성이 어떤 정책적인 의미를 갖는가를 제시하는 것으로 한정하고자 한다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어서, II장에서는 DEA기법을 이용하여 항만의 효율성

을 측정된 기존연구들을 간략하게 제시하며, III장에서는 항만들의 투입요소와 산출요소에 대한 통계적인 원 자료의 정규성과 변환 불변성을 검증하며, IV장에서는 정책적 함의와 함께 결론이 제시된다.

## II. 기존연구의 방향<sup>1)</sup> 및 한계점

DEA기법을 이용하여 항만(컨테이너항만 포함)의 효율성(또는 생산효율성)을 측정된 국내에서의 기존연구는 대표적으로 박노경(2003), Chul-Hwan, Han(2002)의 연구가 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 방법 사이에 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.

본 논문과 관련된 주제를 다룬 직접적인 연구는 정규성(normalization)은 Roll and Hayuth(1993), 변환 불변성은 Lovell and Pastor(1995)가 다루었다.

DEA기법을 이용하여 항만효율성을 측정된 국내 기존연구들의 가장 큰 한계점은 효율성 자체만을 측정하는 논문들이 거의 전부이며, 투입요소와 산출요소에 대한 원자료의 정규성과 불변성은 전혀 다루지 못했다고 하는 점이다.

## III. 항만효율성 측정 자료의 정규성과 변환 불변성 검증

본 장에서는 항만의 효율성 측정에 이용되는 원 자료와 DEA접근방법으로 원 자료의 정규성과 변환 불변성을 검증하고자 한다.

### 1. 분석대상, 자료 및 투입-산출변수

분석대상은 국내수출입항만 26개를 대상으로 하였으며, 대상연도는 1995년으로 하였다. 1995년도 즉, 단 년도를 선택한 이유는 본 논문의 목적이 개별항만의 효율성 측정에 이용

1) 박노경(2003), p.37.

된 원 자료의 성격을 검증하기 위한 정규성과 변환불변성을 실증적으로 검증해 보고자 하는 것이었으며, 또한 본 논문의 방법을 그대로 이용하면 다 년도는 쉽게 측정할 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다. 실증분석은 정규성 검증에는 집안능력, 하역능력을 투입요소로 하였으며, 수출화물처리량, 수입화물처리량, 그리고 입출항척수를 산출요소로 하여 시행하였다. 변환불변성 검증에는 산출물에 항만사고건수를 추가하였다. 왜냐하면 항만사고건수는 산출물이지만 마이너스 적인 성격을 갖는 산출물이기 때문이다.

<표 1> 항만효율성의 정규성 및 변환불변성 측정을 위한 원자료(1995년)

항만/구분	집안능력(척수)	하역능력(천톤)	수출화물처리량(톤)	수입화물처리량(톤)	선박입출항척수(척)
인천	1669	39081	13058	92119	39611
평택	250	1368	236	21583	8741
대산	785	5649	3475	9667	4737
보령	250	9715	0	8242	346
장항	16	663	8	583	904
군산	190	3523	856	7584	7948
목포	107	2536	175	3505	11852
완도	33	707	67	313	2982
여수	30	2663	8586	10496	4090
광양	2238	51369	29215	79194	32932
제주	34	1353	175	2170	6340
서귀포	14	716	212	320	2202
삼천포	172	5984	33	6320	2626
통영	6	321	34	115	3588
고현	11	531	44	792	1983
옥포	20	389	44	582	1529
마산	299	8340	2608	8394	12009
진해	65	1039	422	2239	1844
부산	1790	54836	38782	53656	61387
울산	2095	18119	45028	82261	41251
포항	915	38864	4694	37533	12429
삼척	26	7002	5915	12	1849
동해	256	14148	11552	5953	4927
목호	40	5925	3275	485	3903
옥계	85	2797	2781	969	1305
속초	18	843	0	29	176
합계	11414	278481	171275	435116	273491
평균	439	10710.81	6587.5	16735.23	10518.88

자료: 한국해양수산부, 해양수산통계연보,

## 2. DEA, 정규성, 및 변환불변성에 대한 이론적 접근

DEA모형은 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 의사결정단위들

은 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.

### 3 항만효율성 측정 자료의 정규성 검증

<표 2>에는 <표 1>의 원자료를 이용하여 투입지향 규모수확불변조건모형(CCR모형)와 규모수확가변조건모형(BCC 모형)의 효율성 측정결과를 제시하였다. 투입지향형이란 현재의 산출물수준을 유지하면서 투입량을 가능한 한 감소시켜 나가는 모형을 말하며, 산출지향형이란 현재의 투입량 수준에서 산출물 수준을 극대화하는 것을 말한다.

<표 2>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, CCR모형으로 측정하였을 때 효율적인 항만들은 평택, 여수, 통영항들이었다. 속초가 가장 낮은 효율성을 보였으며, 목포, 제주, 고현, 옥포, 향이 중간정도, 삼척항은 80%, 울산항은 90%의 효율성을 보였다.

둘째, BCC모형으로 측정하였을 때 효율적인 항만들은 인천, 평택, 목포, 여수, 제주, 통영, 부산, 울산항들이었다. 80%이상의 효율성을 보이고 있는 항은 고현, 옥포, 삼척항들이었다. 보령항이 가장 낮은 효율성 수치를 보였다.

<표 2>의 결과에 대해서 자료를 변화시킨 경우에도 결과가 동일한지를 검증하기 위해서 Roll and Hayuth(1993, p.156)가 소개하고 있는 정규성을 검증하는 절차를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, <표 1>에서 각 투입요소와 산출요소별로 합계를 계산한다. 둘째, 그러한 합계를 26개 항만이므로 26으로 나누어서 평균을 낸다. 셋째, 각 항만의 해당 요소별로 나누어 준다. 넷째, 백분율로 환산하기 위해서 위의 셋째단계에서 도출된 수치에 각각 100을 곱해 준다. 예를 들면 인천항의 점안능력의 정규화 된 수치는  $(1669/439) \times 100 = 380.1822$ 이 된다. 다섯째, 위의 절차에 의해서 도출된 투입요소와 산출요소의 수치를 이용하여 CCR, BCC 효율성 측정을 한다. 여섯째, 다섯째에서 도출된 효율성 수치, 참조집단, 잠재가격을 <표 2>의 결과와 비교하여 변화가 있는지 없는지를 검토한다.

<표 2> 항만 효율성 측정결과(CCR모형과 BCC모형):1995년

항만/구분	CCR모형		BCC모형	
	효율성수치	참조항만 및 잠재가격	효율성수치	참조항만 및 잠재가격
인천	0.39042	평택:2.036, 여수:4.580, 통영:0.858	1.0	인천:1.0
평택	1.0	평택:1.0	1.0	평택:1.0
대산	0.26267	평택:0.254, 여수:0.397, 통영:0.250	0.26810	평택:0.253, 여수:0.396, 통영:0.350
보령	0.17174	평택:0.103, 여수:0.574	0.18076	평택:0.105, 여수:0.566, 통영:0.329
장항	0.26022	평택:0.008, 여수:0.038, 통영:0.190	0.57909	평택:0.011, 여수:0.022, 통영:0.967
군산	0.38779	평택:0.234, 여수:0.225, 통영:1.387	0.51192	평택:0.211, 목포:0.248, 여수:0.118, 제주:0.423
목포	0.47895	평택:0.130, 여수:0.034, 통영:2.947	1.0	목포:1.0
완도	0.39829	평택:0.008, 여수:0.004, 통영:0.806	0.47725	평택:0.007, 여수:0.004, 통영:0.989
여수	1.0	여수:1.0	1.0	여수:1.0
광양	0.25157	평택:1.775, 여수:3.890, 통영:0.419	0.77442	인천:0.386, 여수:0.096, 울산:0.519
제주	0.63440	평택:0.035, 여수:0.118, 통영:1.547	1.0	제주:1.0
서귀포	0.34752	평택:0.001, 여수:0.022, 통영:0.586	0.51641	여수:0.021, 통영:0.979
삼천포	0.20677	평택:0.092, 여수:0.413, 통영:0.038	0.22671	평택:0.096, 여수:0.399, 통영:0.505
통영	1.0	통영:1.0	1.0	통영:1.0
고현	0.57902	평택:0.008, 여수:0.055, 통영:0.472	0.83327	평택:0.008, 여수:0.048, 통영:0.944
옥포	0.40684	평택:0.023, 여수:0.003, 통영:0.365	0.88687	평택:0.021, 여수:0.001, 통영:0.978
마산	0.24696	평택:0.191, 여수:0.380, 통영:2.448	0.55851	인천:0.034, 목포:0.773, 여수:0.180, 부산:0.012
진해	0.33325	평택:0.073, 여수:0.060, 통영:0.267	0.48556	평택:0.078, 여수:0.044, 통영:0.879
부산	0.28990	평택:0.254, 여수:4.465, 통영:11.401	1.0	부산:1.0
울산	0.90394	평택:1.270, 여수:5.200, 통영:2.477	1.0	울산:1.0
포항	0.20167	평택:0.410, 여수:2.732	0.62440	인천:0.250, 평택:0.600, 여수:0.150
삼척	0.79490	여수:0.689	0.86555	여수:0.688, 통영:0.312
동해	0.25325	여수:1.345	0.77371	여수:0.919, 울산:0.081
목호	0.38252	여수:0.379, 통영:0.656	0.40876	여수:0.378, 제주:0.045, 통영:0.576
옥계	0.30838	여수:0.324	0.38372	여수:0.321, 통영:0.679
속초	0.02304	평택:0.00, 여수:0.002, 통영:0.046	0.38078	통영:1.0

<표 3> 항만효율성의 정규성 검증을 위해 변환된 자료

항만/구분	접안능력	하역능력	수출화물처리량	수입화물처리량	선박입출항척수
인천	380.1822000	364.874400	198.223900	550.449600	376.570500
평택	56.9476100	12.772140	3.582543	128.967500	83.098200
대산	178.815500	52.741110	52.751420	57.764370	45.033310
보령	56.947610	90.702760	0	49.249400	3.289324
장항	3.644647	6.190008	0.121442	3.483669	8.594071
군산	43.280180	32.892000	12.994310	45.317570	75.559380
목포	24.373580	23.677010	2.656546	20.943840	112.673600
완도	7.517084	6.600808	1.017078	1.870360	28.349030
여수	6.833700	24.862730	130.337800	62.717990	38.882470
광양	509.795000	479.599600	443.491500	473.217300	313.075200
제주	7.744875	12.632100	2.656546	12.966660	60.272580
서귀포	3.189066	6.684835	3.218216	1.912134	20.933790
삼천포	39.179950	55.868790	0.500949	37.764640	24.964640
통영	1.366743	2.996972	0.516129	0.687173	34.110100
고현	2.505695	4.957608	0.667932	4.732531	18.851820
옥포	4.555809	3.631845	0.667932	3.477693	14.535770

마산	68.109340	77.865260	39.590130	50.157660	114.166100
진해	14.806380	9.700480	6.406072	13.378960	17.530380
부산	407.744900	511.968700	588.721100	320.617000	583.588700
울산	477.221000	169.165500	683.537000	491.543900	392.161500
포항	208.428200	362.848400	71.256170	224.275400	118.159000
삼척	5.922551	65.373210	89.791270	0.071705	17.577920
동해	58.314350	132.090900	175.362400	35.571670	46.839590
목호	9.111617	55.317950	49.715370	2.898078	37.104710
옥계	19.362190	26.113800	42.216320	5.790180	12.406260
속초	4.100228	7.870553	0	0.173287	1.673182
합계	2600	2600	2600	2600	2600
평균	100	100	100	100	100

<표 3>은 정규화 된 자료로서 본 자료를 이용하여 효율성 측정을 해 보면 <표 2>의 결과와 정확하게 동일한 결과를 얻게 된다. 결론적으로 DEA분석에서 원 자료를 이용한 정규화 된 자료를 이용한 효율성 측정결과는 동일함을 알 수 있다.

#### 4. 항만효율성 측정 자료의 변환 불변성 검증

<표 1>의 자료에서 해양사고라고 하는 산출요소가 전부 또는 일부가 <표 4>처럼 마이너스라고 가정을 해 보자. 그러한 경우 DEA분석의 특성상 모든 숫자는 음수가 아니어야 한다는 기본 가정조건 때문에 선형모형의 해를 구할 수 없게 된다. 그러므로 마이너스 된 자료를 +화 시킨 후에 효율성 측정을 수행해야만 한다. +화 하는 방법은 가장 큰 음수보다 더 큰 +값을 더해 주면 된다. <표 4>에는 1995년도 해양사고건수에 대한 자료가 없어서 편의상 2001년도 해양사고건수에 대한 자료를 이용하여 변환불변성을 측정하기로 한다. 해양사고건수는 마이너스 산출물로서 가장 많은 사고건수는 울산과 포항항이 각각 24건으로 나타났기 때문에 각 항만에 24보다 더 큰 25를 일괄적으로 더하여 자료를 변환시켰다.

<표 4> 항만효율성의 변환 불변성 측정을 위한 원자료 (1995년)

항만/구분	접안능력 (척수)	하역능력 (천톤)	수출화물처리량 (톤)	수입화물처리량 (톤)	선박입출항척수 (척)	2001년의 해양사고(건수)	
						원자료	변환된 자료 (원자료에 25를 더함)
인천	1669	39081	13058	92119	39611	-14	9
평택	250	1368	236	21583	8741	0	25
대산	785	5649	3475	9667	4737	0	25
보령	250	9715	0	8242	346	0	25
강항	16	663	8	583	904	-7	18
군산	190	3523	856	7584	7948	-7	18
목포	107	2536	175	3505	11852	-2	23
완도	33	707	67	313	2982	0	25
여수	30	2663	8586	10496	4090	-5	20
광양	2238	51369	29215	79194	32932	-5	20

한국항만경제학회지 제23집 제2호 (2007. 6)

제주	34	1353	175	2170	6340	0	25
서귀포	14	716	212	320	2202	0	25
삼천포	172	5984	33	6320	2626	-20	5
통영	6	321	34	115	3588	-20	5
고현	11	531	44	792	1983	0	25
옥포	20	389	44	582	1529	-7	18
마산	299	8340	2608	8394	12009	-3	22
진해	65	1039	422	2239	1844	-3	22
부산	1790	54836	38782	53656	61387	-16	9
울산	2095	18119	45028	82261	41251	-24	1
포항	915	38864	4694	37533	12429	-24	1
삼척	26	7002	5915	12	1849	-7	18
동해	256	14148	11552	5953	4927	-7	18
목호	40	5925	3275	485	3903	0	25
옥계	85	2797	2781	969	1305	0	25
속초	18	843	0	29	176	-7	18
합계	11414	278481	171275	435116	273491	-178	470
평균	439	10710.81	6587.5	16735.23	10518.88	-6.84615	18.07692

<표 5> 항만효율성의 변환불변성 검증을 위해 해양사고건수가 추가된 후 정규화되고 변환된 자료

항만/구분	접안능력	하역능력	수출화물처리량	수입화물처리량	선박입출항척수	해양사고 건수
인천	380.1822000	364.874400	198.223900	550.449600	376.570500	49.78724
평택	56.9476100	12.772140	3.582543	128.967500	83.098200	138.29790
대산	178.815500	52.741110	52.751420	57.764370	45.033310	138.29790
보령	56.947610	90.702760	0	49.249400	3.289324	138.29790
장항	3.644647	6.190008	0.121442	3.483669	8.594071	99.57449
군산	43.280180	32.892000	12.994310	45.317570	75.559380	99.57449
목포	24.373580	23.677010	2.656546	20.943840	112.673600	127.23410
완도	7.517084	6.600808	1.017078	1.870360	28.349030	138.29790
여수	6.833700	24.862730	130.337800	62.717990	38.882470	110.63830
광양	509.795000	479.599600	443.491500	473.217300	313.075200	110.63830
제주	7.744875	12.632100	2.656546	12.966660	60.272580	138.29790
서귀포	3.189066	6.684835	3.218216	1.912134	20.933790	138.29790
삼천포	39.179950	55.868790	0.500949	37.764640	24.964640	27.65958
통영	1.366743	2.996972	0.516129	0.687173	34.110100	27.65958
고현	2.505695	4.957608	0.667932	4.732531	18.851820	138.29790
옥포	4.555809	3.631845	0.667932	3.477693	14.535770	99.57449
마산	68.109340	77.865260	39.590130	50.157660	114.166100	121.70210
진해	14.806380	9.700480	6.406072	13.378960	17.530380	121.70210
부산	407.744900	511.968700	588.721100	320.617000	583.588700	49.78724
울산	477.221000	169.165500	683.537000	491.543900	392.161500	5.531916
포항	208.428200	362.848400	71.256170	224.275400	118.159000	5.531916
삼척	5.922551	65.373210	89.791270	0.071705	17.577920	99.57449
동해	58.314350	132.090900	175.362400	35.571670	46.839590	99.57449
목호	9.111617	55.317950	49.715370	2.898078	37.104710	138.29790
옥계	19.362190	26.113800	42.216320	5.790180	12.406260	138.29790
속초	4.100228	7.870553	0	0.173287	1.673182	99.57449
합계	2600	2600	2600	2600	2600	2600
평균	100	100	100	100	100	100

<표 5>를 이용하여 투입지향 및 산출지향 가변수확조건하(BCC모형)에서 측정한 효율성 측정결과는 다음 <표 6>과 같다. <표 6>은 Lovell and Pastor(1995, p.150)의 정리 4(Theorem 4)를 검증한 것이다. 즉, 정리 4의 내용은 다음과 같다.

정리 4: 투입지향 정규화 BCC모형은 단위 불변적이며 산출물에 대해서만 환산 불변적이다. 산출지향 정규화 BCC모형은 단위 불변적이고 투입물에 대해서만 환산 불변적이다.

여기서 단위 불변적(unit invariant)란 정규화(normalized)된 자료가 특성상 원 자료와 동일하다는 것을 의미한다.

**<표 6> 항만효율성의 변환불변성 검증을 위해 해양사고건수가 추가된 후 정규화 되고 변환된 자료를 이용한 효율성 측정결과**

항만/구분	투입지향 정규화 된 BCC모형		산출지향 정규화 된 BCC모형	
	효율성수치	참조항만 및 잠재가격	효율성수치	참조항만 및 잠재가격
인천	1.0	인천:1.0	1.0	인천:1.0
평택	1.0	평택:1.0	1.0	평택:1.0
대산	1.0	대산:1.0	1.0	대산:1.0
보령	0.38656	평택:0.358, 고현:0.642	1.0	평택:0.358, 고현:0.642,
장항	0.67878	평택:0.001, 통영:0.307, 고현:0.569, 옥포:0.123	1.0	평택:0.001, 고현:0.999
군산	0.51192	평택:0.211, 목포:0.248, 여수:0.118, 제주:0.423	1.0	평택:0.408, 목포:0.346, 제주:0.222, 부산:0.024
목포	1.0	목포:1.0	1.0	목포:1.0
완도	0.96972	평택:0.077, 제주:0.109, 고현:0.813	1.0	평택:0.079, 보령:0.002, 제주:0.107, 고현:0.811
여수	1.0	여수:1.0	1.0	여수:1.0
광양	1.0	광양:1.0	1.0	광양:1.0
제주	1.0	제주:1.0	1.0	제주:1.0
서귀포	1.0	서귀포:1.0	1.0	서귀포:1.0
삼천포	0.22671	평택:0.096, 여수:0.399, 통영:0.505	0.36254	인천:0.086, 목포:0.012, 여수:0.901
통영	1.0	통영:1.0	1.0	통영:1.0
고현	1.0	고현:1.0	1.0	고현:1.0
옥포	1.0	옥포:1.0	1.0	옥포:1.0
마산	0.56131	인천:0.023, 평택:0.042, 목포:0.750, 여수:0.166, 부산:0.019	0.93831	평택:0.603, 목포:0.245, 제주:0.085, 부산:0.067
진해	0.58815	평택:0.054, 여수:0.043, 고현:0.506, 옥포:0.398	0.88000	평택:0.084, 고현:0.769, 목포:0.033, 옥계:0.114
부산	1.0	부산:1.0	1.0	부산:1.0
울산	1.0	울산:1.0	1.0	울산:1.0
포항	0.62440	인천:0.250, 평택:0.600, 여수:0.150	0.68703	인천:0.477, 평택:0.466, 여수:0.057
삼척	0.89124	여수:0.688, 통영:0.178, 고현:0.134	0.86739	여수:0.793, 통영:0.014, 고현:0.193
동해	0.77371	여수:0.919, 울산:0.081	0.95252	여수:0.811, 부산:0.128, 목포:0.061
목호	1.0	목호:1.0	1.0	목호:1.0
옥계	1.0	옥계:1.0	1.0	옥계:1.0
속초	0.53925	통영:0.335, 고현:0.622, 옥포:0.042	0.72000	고현:1.0

### 5. 항만 효율성 측정자료 정규성 및 변환 불변성에 대한 실증분석 결과

본 연구에서 제시한 <표 2>부터 <표 6>까지의 결과를 통해서 우리는 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다. 첫째, 항만효율성 측정 시 사용되는 자료의 정규성과 변환불변성은 분

명하게 있는 것으로 판정되었다. 둘째, 항만효율성 측정 시 사용되는 자료가 마이너스(-), 즉 음수를 포함하는 경우에 변환불변성은 투입지향-산출지향 BCC 모형에서 검증되었다.

## IV. 결 론

지금까지 본 연구에서는 항만효율성 측정 시 문제가 되었던 두 가지 문제점(첫째, 각기 상이한 기본단위를 갖는 투입변수와 산출변수의 정규화문제, 둘째, DEA분석의 기본가정인 비음수조건에 벗어난 자료, 즉, 음수를 갖는 투입-산출자료의 변환불변성)을 해결하기 위해 국내 26개항만의 자료를 이용하여 실증분석을 한 후에 검증을 함으로써 항만효율성 측정방법을 부분적으로 확장시켰다.

본 논문의 실증분석의 핵심적인 결과는 다음과 같다. 첫째, 항만효율성 측정 시 사용되는 자료의 정규성[Roll and Hayuth(1993)]과 변환불변성[Lovell and Pastor(1995)]은 실증분석 결과 분명하게 있는 것으로 판정되었다. 둘째, 항만효율성 측정 시 사용되는 자료가 마이너스(-)인 경우에 가장 큰 음수보다 더 큰 양수를 더해 주는 이른바 자료의 변환을 검증하는 변환불변성은 투입지향-산출지향 BCC 모형에서 확인되었다.

위와 같은 실증분석 결과는 다음과 같은 정책적인 함의를 갖고 있다. 즉, 효율성 측정 시 사용되는 자료의 정규성과 변환불변성이 실증적으로 검증되었으므로, 국내 항만의 관리자나 정책 입안자들은 항만효율성 측정 시 이용되는 자료의 정규성과 변환불변성과 같은 사항을 고려하여 보다 세부적인 항만통계자료를 수집·정리·공표하는 것이 매우 필요하다. 예를 들면 항만사고와 같은 통계도 해역별이 아닌 항만별로 세부적으로 통계를 발행하도록 관련된 정책적인 지원이 필요하다.

## 참고문헌

1. 박노경, "항만투자의 유효성 측정방법:congestion모형 접근," 『한국항만경제학회지』 제19집 제2호, 한국항만경제학회, 2003. 12, pp.33-53.
2. 박노경, "국내항만의 행정서비스 경쟁력측정 : DEA접근," 『한국항만경제학회지』, 제20집 제2호, 한국항만경제학회, 2004. 12, pp.35-52.
3. 오성동·박노경, "컨테이너항만의 국제경쟁력분석방법: DEA접근-생산효율성분석을 중심으로-," 『한국항만경제학회지』, 제17집 제1호, 한국항만경제학회, 2001. 5, pp.27- 51.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
  8. 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.
  9. Lovell, C.A.K., and Pastor J.T., " Units Invariant and Translation Invariant DEA Models," *Operations Research Letters*, Vol.18, 1995, pp.147-151.
  10. 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.
  11. 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.
  12. 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.

< 요약 >

## 항만효율성 측정 자료의 정규성과 변환 불변성 검증소고: DEA접근

박노경 · 박길영

본 논문에서는 항만효율성 측정 시 문제가 되었던 두 가지 문제점(첫째, 각기 상이한 기본단위를 갖는 투입변수와 산출변수의 정규화문제, 둘째, DEA분석의 기본가정인 비음수조건에 벗어난 자료, 즉, 음수를 갖는 투입-산출자료의 변환불변성)를 해결하기 위해서 국내 26개항만의 자료를 이용하여 실증분석을 한 후에 검증을 함으로써 항만효율성 측정방법을 부분적으로 확장시켰다.

본 논문의 실증분석의 핵심적인 결과는 다음과 같다. 첫째, 항만효율성 측정 시 사용되는 자료의 정규성과 변환불변성은 실증분석 결과 분명하게 있는 것으로 검증되었다. 둘째, 항만효율성 측정 시 사용되는 자료가 마이너스(-)인 경우에 가장 큰 음수보다 더 큰 양수를 더해 주는 이른바 자료의 변환을 검증하는 변환불변성은 투입지향-산출지향 BCC 모형에서 확인되었다.

위와 같은 실증분석 결과는 다음과 같은 정책적인 함의를 갖고 있다. 즉, 효율성 측정 시 사용되는 자료의 정규성과 변환불변성이 실증적으로 검증되었으므로, 국내 항만의 정책입안가들은 항만효율성 측정 시 이용되는 자료의 정규성과 변환불변성과 같은 사항을 고려하여 보다 세부적인 항만통계자료를 수집·정리·공표하는 것이 매우 필요하다. 예를 들면 항만사고와 같은 통계도 해역별이 아닌 항만별로 세부적으로 통계를 발행하도록 관련된 정책적인 지원이 필요하다.

□ 주제어: 항만효율성, 측정자료, 정규성, 변환불변성, 검증, BCC, CCR, DEA