

인천항만의 효율성 평가를 위한 DEA와 SOM을 결합한 하이브리드 분석

홍한국*, 이창열**

요약

항만의 효율성을 평가하기 위해 가장 많이 사용되는 방법은 DEA(data envelopment analysis) 방법이다. DEA는 효율성 측정결과, 나타난 비효율적인 항만들에 대해서는 투입요소 측면의 과다와 산출요소 측면의 과소를 참조항만들과 비교함으로써 해당 항만들이 효율성을 개선시킬 수 있는 방법을 보여준다. 그러나 항만의 효율성을 측정에 있어 DEA의 한계점은 첫째, DEA는 상대적으로 비효율적인 항만들이 개선해야 할 대상이 한 개 이상의 효율적인 항만들로 구성된 참조집합으로 주어지기 때문에 구체적으로 어떤 항만을 타겟으로 하여 개선할지 가이드를 제공하지 않는다는 점이다. 둘째, 효율성의 크기에 따라 각각의 비효율적인 의사결정단위들의 효율성을 개선하기 위한 단계적인 개선 방향을 제공하지 못한다는 점이다. 따라서, 본 연구에서는 DEA방법론이 항만의 효율성 평가에 적용될 수 있다는 것을 보여주고 동시에 앞에서 언급한 DEA의 단점을 극복하는 방법을 제시하는데 목적을 둔다.

Hybrid approach combining Data Envelopment Analysis and SOM to Evaluate the Efficiency of Incheon Port

Han-kuk Hong*, ChangYeol Lee**

ABSTRACT

Benchmarking of Ports is an important issue facing port management. Data envelopment analysis (DEA), which is a multi-factor productivity measurement tool is generally used in assessing the relative efficiency of homogeneous units and setting benchmark for inefficient units. DEA is a methodology of comparing the relative efficiency of each decision making unit(DMU) by comparing it with other DMUs having similar input and output structure, and is specially very useful when a form of production function of each DMU such as a port is not known. DEA provides the extent of inefficiency of DMUs, which is practically useful information (like the efficiency score and reference sets) required to improve efficiency. DEA, a non-parametric productivity analysis tool, has become an accepted approach for assessing efficiency in a wide range of fields. Despite of its extensive applications, some features of DEA remain bothersome. DEA offers no guidelines to where relatively inefficient DMU(Decision Making Unit) improve since a reference set of an inefficient DMU consists of several efficient DMUs and it doesn't provide a stepwise path for improving the efficiency of each inefficient DMU considering the difference of efficiency. We aim to show that DEA can be used to evaluate the efficiency of Ports and suggest the methodology which overcomes the limitation of DEA through hybrid analysis utilizing DEA along with SOM.

Key Words : DEA, SOM, Tier Analysis, hybrid approach, Efficiency evaluation

* 동의대학교 경영정보학과(✉gklim@suwon.ac.kr)

** 동의대학교 컴퓨터공학과

· 제1저자(First Author) : 홍한국 · 교신저자(Correspondent Author) : 이창열

· 접수일(2011년 8월 25일), 수정일(1차 : 2011년 9월 26일), 게재확정일(2011년 9월 29일)

I. 서 론

최근 약 20여년의 기간 동안 항만의 효율성을 측정 한 논문들이 활발하게 발표되고 있다. 비모수적인 방법에는 DEA가 있다. DEA는 1978년에 처음으로 Charnes, Cooper, and Rhodes ([8], CCR 모형)에 소개 되었으며, 그 후에 Banker, Charnes, and Cooper([7], BCC 모형)에 의해서 가변규모수확(variable returns to scale, VRS) 하의 효율성 측정모형으로 발전되었으며, 그 이후로 위의 두 가지 모형을 기본으로 하여 제약조건식 등을 변형시킨 모형들이 항만효율성 측정에 많이 사용되어 오고 있다. DEA는 효율성을 측정함에 있어서 일반적으로 용인되는 투입요소와 산출요소들을 이용하였으며, 효율성 측정결과 나타난 비효율적인 항만들에 대해서는 투입요소 측면의 과다와 산출요소측면의 과소를 목표항만(참조집합항만)들과 비교하여 제시함으로써 해당 항만들이 효율성을 개선시킬 수 있는 방법을 보여주었다[4].

그러나 항만의 효율성을 측정함에 있어서 그러한 DEA가 갖고 있는 한계점은 첫째, DEA는 상대적으로 비효율적인 항만(의사결정단위)들이 개선해야 할 대상이 한 개 이상의 효율적인 항만들로 구성된 참조집합(Reference Set)으로 주어지기 때문에 구체적으로 어떤 항만을 목표로 하여 개선할지 가이드를 제공하지 않는다는 점이다. 둘째, 효율성의 크기에 따라 각각의 비효율적인 의사결정단위들의 효율성을 개선하기 위한 단계적인 개선 방향을 제공하지 못한다는 점이다.

따라서 본 연구에서는 Containerization International Yearbook 2010에서 제시된 365개 컨테이너항만 중 컨테이너 처리량(TEU) 70위 안에 드는 동북아 지역 총 35개 항만을 대상으로 인천항을 중심으로 효율성을 평가한다. 이를 토대로, 우리는 DEA의 단점을 극복하는 방법론과 동시에 인천항의 단계적인 효율성 개선방향을 제시한다.

II. 기존 연구

DEA를 이용한 항만의 효율성 평가에 대한 국내에서의 기존연구는 대표적으로 하명신[6], 박노경[3, 4, 5]의 연구가 있다. 외국에서의 기존연구는 Cullinane and Song[10], Choi and Zhang[9] 등이 있다.

박노경[5]은 국내 20개 항만의 효율성을 측정하고, 2년간 모두 효율적인 항만을 제외한 16개 항만들의 효율성 순위를 이용하여 월콕슨의 부호순위검정을 통해 슬랙변수모형이 갖고 있는 항만효율성 측면의 예측력을 측정하는 방법을 보여주고 있다. 하명신[6]은 2005~2007년 자료를 이용하여 동북아지역 23개, 미국의 12개 컨테이너항에 대해 DEA를 이용한 효율성을 분석하였다. 또한 박노경[4]은 국내 항만분야에서는 처음으로 Tier분석을 통하여 비효율적인 항만들이 단기, 중기, 장기적으로 벤치마킹할 수 있는 있는 효율적인 항만을 적출하는 방법을 실증분석을 통해서 보여 주었다. 박노경[5]은 항만의 정책당국이나 항만의 경영관리자들이 항만의 효율성을 측정하기 위한 정책입안 시 참고가 될 수 있도록 퍼지DEA 평균지수접근모형의 이론적, 실증적 근거를 제시하였다.

Cullinane and Song[10]은 항만의 사유화와 규제완화에 따른 경쟁효과 및 상업화에 대한 연구를 영국의 컨테이너항을 기준으로 한 한국의 컨테이너항의 효율성 비교를 통해 진행하였다. Choi and Zhang[9]은 한국 3개 항만, 중국의 9개 항만, 그리고 대만의 카오슝항을 대상으로 2005~2007년 3개년간의 자료를 이용하고 DEA기법을 적용하여 각 항만의 효율성을 분석하였다.

DEA를 적용하는데 있어서 중요한 문제는 투입변수와 산출변수의 선정이다. 투입변수와 산출변수를 어떻게 선정하느냐에 따라 전체적인 효율성 측정결과가 다를 수 있기 때문이다. 그러나 DEA의 경우, 변수의 선정이 타당한지의 여부는 사전적으로나 사후적으로 검증될 수 없기 때문에 결국 연구자의 자의적 판단에 맡길 수밖에 없는 실정이다.

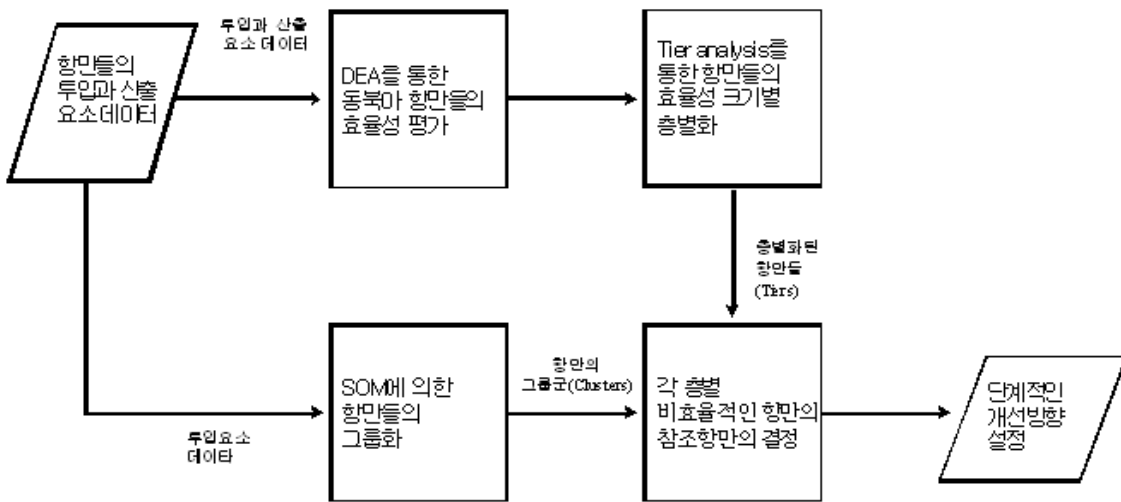


그림 1. 연구 방법
Fig 1. Research Method

본 연구에서는 항만의 효율성에 영향을 미칠 수 있는 변수를 국내외 기존연구를 참고하여 측정변수를 선정하였는데 선석수, 수심, C/C수, 부두면적은 투입 변수로 화물처리량(TEU)을 산출변수로 선정하였다 [1][2][6][10][11][12]. 이러한 변수들은 항만의 선택기준과 효율성을 측정하는 대표적인 변수들로 기존연구에서도 많이 이용되었다.

III. 연구방법

<그림 1>은 우리가 제시하고자 하는 연구 방법론을 도식화한 것이다. 이 방법론은 분석의 출발점에서부터 두 가지의 방향으로 구성되어 있다.

첫번째 방향에서는 DEA를 통한 의사결정단위들의 효율성을 평가하고, Tier analysis를 통해 의사결정단위들을 층별화한다. Tier analysis란 효율성의 크기별로 의사결정단위들을 층별화하는 방법이다. 즉, 첫번째 효율적인 의사결정단위들을 제외한 나머지 비효율적인 의사결정단위들에 대해 다시 DEA를 통한 효율

성 평가를 실행하는 것으로, 남은 비효율적인 의사결정단위들이 충분히 적게 남을 때까지 DEA를 통해 반복해서 의사결정단위들을 층별화한다.

두번째 방향에서는 클러스터링 툴(clustering tool) 중에 하나인 SOM(Self-Organization Map)을 이용하여 비슷한 의사결정단위들끼리 몇 개의 그룹군으로 분류한다. 이러한 SOM에 의한 의사결정단위들의 그룹군과 DEA에 의한 Tiers를 통해 각 Tier에 있는 의사결정단위들이 벤치마킹해야 할 하나의 참조 의사결정단위가 결정되어진다. 우리는 이러한 참조 의사결정단위의 흐름을 “개선 방향(Improvement path)”이라고 부르며, 이는 비효율적인 의사결정단위들이 효율성을 개선하기 위해 단계적인 개선 방향과 구체적인 관리 포인트를 제시하여 준다.

3.1 동북아 항만의 효율성 평가 - 투입 요소와 산출 요소

본 연구에서 우리는 항만의 평가 모델을 <표 1>에 서와 같이 4개의 투입 요소와 1개의 산출 요소로 제한한다.

표 1. 변수 설명
Table 1. Variables Description

변수(Variable)		변수 설명
투입 요소	선석수	터미널 내의 선석수
	수심	터미널 내의 선석길이
	부두면적	CT의 총 면적
	C/C수	Container Crane의 총 수량
산출 요소	TEU(컨테이너 처리량)	연간 처리하는 총 컨테이너 처리량

표 2. DEA 결과
Table 2. The Result of DEA

No.	항만명	효율	참조 항만	N0.	항만명	효율	참조 항만
P1	Los Angeles	0.31	P24, P26	P18	Incheon	0.21	P26
P2	Long Beach	0.24	P24, P26	P19	Tokyo	0.23	P24, P25, P26
P3	New York/Jersey	0.22	P24, P26	P20	Yokohama	0.16	P24, P25, P26
P4	Savannah	0.15	P24, P26	P21	Nagoya	0.13	P24, P25, P26
P5	Oakland	0.11	P24, P26	P22	Kobe	0.14	P24, P25, P26
P6	Virginia	0.12	SP24, P26	P23	Osaka	0.12	P24, P25, P26
P7	Seattle	0.01	P24, P26	P24	Shanghai	1.0	
P8	Tacoma	0.01	P24, P26	P25	Hong Kong	1.0	
P9	Houston	0.14	P26	P26	Shenzhen	1.0	
P10	Charleston	0.01	P24, P25, P26	P27	Qingdao	0.60	P24, P25, P26
P11	Port Everglades	0.17	P26	P28	Ningbo	0.86	P26
P12	Miami	0.01	P26	P29	Guangzhou	0.65	P24, P26
P13	Kaohsiung	0.56	P24, P25, P26	P30	Tianjin	0.51	P24, P25, P26
P14	Keelung	0.18	P24, P33	P31	Xiamen	0.68	P26
P15	Taichung	0.15	P26	P32	Dalian	0.26	P24, P25, P26
P16	Busan	0.56	P24, P25, P26	P33	Lianyungang	1.0	
P17	Gwangyang	0.15	P26	P34	Yantai	0.11	P26
				P35	Fuzhou	0.13	P26

기존연구에서 산출요소로 컨테이너 처리량(TEU)을 거의 모든 연구에서 선정하였으나, 투입요소에 대해서는 상당히 다양하게 사용되고 있다. 투입요소를 정할 때 다수의 항만을 대상으로 공통적으로 자료를

수집할 수 있는 변수들이어야 한다는 제약이 있다. 그래서 본 연구에서는 기존연구에서 많이 사용되고 있고 항만에서 가장 중요한 선석수, 수심, 부두면적, C/C수를 투입요소로 정하고, 총 처리물동량을 산출

요소로 하여 37개 항만 자료를 수집하였다.

평가대상 선정에 있어 처리물동량을 기준으로 세계 100위(2010년 기준)안의 미국과 동북아시아 항만을 평가대상으로 선정하였다. Banker 등(1996)에 따르면 DEA분석 시 적절한 DMU의 수는 $n \geq \max\{m \times s, 3(m+s)\}$ 이다(m =투입물의 수, s =산출물의 수, n =분석할 DMU의 수). 따라서 분석에 사용될 DMU수와 변수의 수는 적절하다. 분석에 사용된 자료는 Containerization International Yearbook (2010)을 이용하여 수집하였다.

3.2 DEA를 이용한 항만 효율성 평가

DEA-SOLVER를 이용하여 앞에서 선정된 각 투입·산출변수에 대한 35개 항만별 data를 토대로 현재의 투입량을 유지하면서 산출요소 수준을 극대화하는 것에 초점을 둔 산출지향형 DEA-CCR 모델을 통해 분석하였다. 항만 효율성 분석 결과는 <표 2>과 같다.

여기서 효율값이 1.0인 효율적인 항만은 P24(상하이), P25(홍콩), P26(심천), P33(연운) 등 총 4개 항이다. 인천항(P18)은 효율값이 0.21이며, 벤치마킹할 참조항만은 심천항으로 나타났다. 효율값 0.21은 실제 자원의 21%만 투입해도 현재의 산출 수준을 생산할 수 있다는 의미이다. 이러한 정보는 인천항이 실질적인 생산성 향상과 비용 감소가 필요함을 나타낸다.

그러나 심천항을 벤치마킹 항만으로 하기에는 효율성의 격차가 너무 크다. 따라서 단계적인 개선 전략이 필요하다.

3.3 Tier Analysis를 통한 의사결정단위의 층별화

앞 절에서 우리는 동북아 항만의 효율성을 평가하기 위하여 DEA를 사용하였다. 의사결정단위들은 DEA를 통해 효율적인 그룹과 비효율적인 그룹으로 구분되어진다. DEA를 통한 의사결정단위들을 층별화하는 방법은 Thanassoulis[11]에 의해 제시되었는데, 효율성의 크기가 아닌 투입요소 배합의 특징에 따라

의사결정단위들을 층별화하였다.

우리가 제안하는 Tier analysis는 효율성의 크기에 따라 의사결정단위들을 층별화하는 기법이다.

즉, Tier analysis의 첫번째 단계에서 DEA를 통해 모든 의사결정단위들의 상대적인 효율값을 계산한다. 그 결과, 효율값이 1.0인 효율적인 의사결정단위들이 나타난다. 우리는 이를 "Tier 1"이라고 부른다. 두번째 단계에서, Tier 1에 속하지 않은 비효율적인 의사결정단위들을 대상으로 다시 DEA를 실행한다. 두번째 단계에서 효율값이 1인 의사결정단위들을 "Tier 2"라고 부른다. 동일한 절차가 남아있는 의사결정단위의 수가 Banker et al. [7] 이 제시한 것처럼 투입 요소와 산출 요소 수의 합($4 + 1 = 5$)의 3배($5 * 3 = 15$) 미만일 때까지 반복된다. 이것은 효율적인 의사결정단위들과 비효율적인 의사결정단위들을 구분하는 판별력의 기준이 된다. <그림 3>에서 보여주는 바와 같이 각 단계에 효율적인 그룹에 속하는 의사결정단위들이 각 단계에서 효율적인 경계선을 형성하기 때문에 우리는 이러한 절차를 "Tier analysis" 라고 부른다.

우리는 35개의 항만들을 Tier analysis를 통해 6개의 Tier로 층별화 하였다. 이 단계에서는 효율치 그 자체 보다는 각 항만이 어느 Tier에 속하는가가 중요하다.

1) 첫번째 Tier analysis에서 DEA에 의해 효율값이 1.0인 효율적인 의사결정단위들이 Tier 1이 되고 남아있는 비효율적인 의사결정단위들이 두번째 DEA 적용시 후보가 된다. 첫번째 Tier analysis의 결과는 <표 3>과 같다. $P_n N$ 에서 n 은 항만이 몇 번째 Tier에 속하는지를 표시하며, N 은 항만의 번호를 의미한다. 동일한 절차가 투입과 산출 요소 수의 3배 미만일 때까지 반복된다.

Tier analysis를 결과를 토대로 국내 항만의 경우, 부산항(P216)은 6개의 Tier 중에 상위권(Tier 2)에 속하지만, 광양항(P617)은 하위권(Tier 6), 인천항(P418)은 중위권(Tier 4)에 속하고 있다.

표 3. Tier analysis 결과
Table 3. The result of Tier analysis

Tier	항만	참조 집합	Tier	항만	참조 집합
1	P ₁ 24, P ₁ 25 P ₁ 26 P ₁ 33	No reference set	4	P ₄ 1	P ₃ 27
				P ₄ 14	P ₃ 27
2	P ₂ 16 P ₂ 28 P ₂ 29 P ₂ 31	P ₁ 24, P ₁ 25, P ₁ 26 P ₁ 26 P ₁ 24, P ₁ 26 P ₁ 26	5	P ₅ 2	P ₄ 1, P ₄ 19
				P ₅ 4	P ₄ 18, P ₄ 19
3	P ₃ 13 P ₃ 27 P ₃ 30	P ₂ 16, P ₂ 28, P ₂ 29 P ₂ 16, P ₂ 28 P ₂ 16, P ₂ 28, P ₂ 29	6	P ₆ 9	P ₄ 18, P ₄ 19
				P ₆ 11	P ₄ 18
				P ₅ 15	P ₄ 18, P ₄ 32
				P ₅ 20	P ₄ 1, P ₄ 19
				P ₅ 21	P ₄ 18, P ₄ 19, P ₄ 32
				P ₅ 34	P ₄ 18, P ₄ 32
				P ₆ 3	P ₅ 2
				P ₆ 5	P ₅ 2, P ₅ 9, P ₅ 20
				P ₆ 6	P ₅ 2, P ₅ 4, P ₅ 15
				P ₆ 7	P ₅ 2, P ₅ 15
				P ₆ 8	P ₅ 2, P ₅ 15
				P ₆ 10	P ₅ 2, P ₅ 15, P ₅ 20, P ₅ 21
				P ₆ 12	P ₅ 2, P ₅ 4, P ₅ 15
				P ₆ 17	P ₅ 4, P ₅ 9, P ₅ 15
				P ₆ 22	P ₅ 9, P ₅ 20
				P ₆ 23	P ₅ 9, P ₅ 20
				P ₆ 35	P ₅ 4, P ₅ 9, P ₅ 15

3.4 SOM을 이용한 의사결정단위들의 그룹화

DEA는 비효율적인 의사결정단위들의 참조집합이 몇 개의 효율적인 의사결정단위들로 구성되어 있어 어느 의사결정단위를 참조항만으로 할지 알 수가 없다. 인천항(P₄18)은 참조항만이 가오승항(P₃13)과 텐진항(P₃30) 등 2개 항만이다. 따라서 우리는 하나의 참조항만을 선택하기 위해 방법론의 두번째 방향에서 우리는 클러스터링 툴 중에 하나인 SOM을 사용한다. SOM은 앞 절에서 증별화된 의사결정단위의 Tier와 함께 비효율적인 의사결정단위들 각각의 벤치마킹 타

겟과 동시에 단계적인 개선 방향을 제시하기 위해 사용된다.

SOM은 자기 조직화 특성(self-organizing)을 가진 신경회로망의 일종이다. 신경회로망의 중요한 특징은 환경으로부터 얻어진 자료를 가지고 학습을 하고, 이를 통해 수행능력을 개선시키는 능력을 가지고 있다는 것이다.

<그림 2>와 같이 SOM으로 하여금 4개의 투입요소의 특징에 따라서 유사한 의사결정단위들끼리 그룹화한다. 왜냐하면 투입요소가 비슷하다는 것은 항만에

투입한 선석수, 수심, C/C수, 부두면적 규모가 비슷하거나, 투입된 배합비율이 비슷하다는 의미로써, 가급적이면 참조집합 중에서 규모나 배합비율이 비슷한 의사결정단위를 참조항만으로 하는 것이 효율성을 개선하는데 용이하기 때문이다.

본 연구에서 사용한 SOM은 3 x 3 노드를 가지는 SOM으로 입력 변수의 개수는 4개 투입요소이고, 학습 데이터의 개수는 35개의 항만들이다. 여기서 9개의 노드를 선택한 것은 이 정도 클러스터의 수가 관리가 용이한 수이기 때문이다. 학습 회수는 충분한 학습이 이루어질 수 있도록 20,000 epoch 동안 학습을 하는데, 학습 중 계산되어지는 Weight의 감소량이 0.01보다 작을 경우, 학습을 종료하는 것으로 했다.

<그림 2>는 Kohonen의 SOM을 이용하여 35개의 항만들을 4개의 그룹군으로 SOM의 결과를 보여준다. 각 그룹군 안에 있는 번호는 항만의 번호이다. 따라서, 그룹군 4는 P₁₂₅ (홍콩) 하나만 있으며, 반면에 그룹군 1은 인천항을 포함한 투입요소의 특징이 유사한 12개의 항만들 끼리 모여 있다.

(1) P ₉ ,P ₁₀ ,P ₁₁ ,P ₁₄ , P₁₈(인천항) ,P ₂₂ , P ₂₃ , P₂₈(닝보항) , P₃₀(텐진항) ,P ₃₁ , P₃₃(연운항) ,P ₃₅	(2) P ₅ ,P ₇ ,P ₈ , P ₁₂ , P₁₃(가오슝항) ,P ₁₅ , P ₁₇ ,P ₁₉ ,P ₂₀ ,P ₂₁ , P ₂₆ ,P ₂₇ ,P ₃₂ ,P ₃₄
(3) P ₁ ,P ₂ ,P ₃ ,P ₄ , P ₆ ,P ₁₆ ,P ₂₄ ,P ₂₉	(4) P ₁₂₅ (홍콩)

그림 2. SOM에 의한 의사결정단위들의 그룹군

Fig 2. DMU Cluster of SOM

3.5 참조항만 및 개선방향 결정

상위 Tier에 있는 효율적인 의사결정단위들은 하위 Tier에 있는 비효율적인 의사결정단위들의 참조집합이 될 수 있다. 참조집합에 있는 의사결정단위들 중에

서 벤치마킹할 타겟은 어떻게 선택할 것인가? 우리는 상위 Tier에서 벤치마킹 타겟을 찾기위해 사전에 SOM을 이용하였다. 즉, <그림 3>과 같이 하위 Tier에 있는 의사결정단위와 유사한 투입 요소의 특징을 가진 의사결정단위를 타겟으로 선택하였다. 왜냐하면 투입의 규모나 배합이 비슷한 의사결정단위를 벤치마킹하는 것이 유리하기 때문이다.

DEA에 의한 Tier와 SOM에 의한 의사결정단위의 그룹군이 밝혀지면 우리는 <그림 3>에서와 같이 비효율적인 의사결정단위마다 효율성을 개선하기 위한 단계적인 방향을 찾아낼 수 있다. Tier analysis에 의해 35개의 동북아 항만들을 효율성의 크기별로 6개의 다른 Tier로 층별화하였다. 그리고 SOM에 의해 낮은 Tier에 있는 의사결정단위들이 효율성을 개선할 수 있는 방법을 알 수 있다. 그것이 어떻게 가능할까? 각 Tier에 있는 의사결정단위들은 바로 위의 상위 Tier에 있는 의사결정단위들 중에서 단지 하나의 참조 의사결정단위를 찾음으로써 그들의 효율성을 개선시킬 수 있다.

이것은 SOM에 의해 참조 집합 내에 있는 의사결정단위들 중에서 비슷한 특징을 가진 의사결정단위를 선택할 수 있기 때문이다. 예를 들어, Tier 4에 있는 인천항(P₁₈)의 참조 집합은 상위 효율 경계선인 Tier 3에 있는 효율적인 가오슝항(P₁₃)과 텐진항(P₃₀) 등 2개 항만으로 구성되어 있다. 이들 사이에서 우리는 텐진항(P₃₀)을 참조항만으로 결정한다. 이유는 SOM에 의해서 인천항(P₁₈)과 같은 그룹군에 속하기 때문이다.

만약, 같은 그룹군에 속하는 항만이 1개 이상일 경우, SOM의 결과값이 가장 큰 항만을 선택한다. 왜냐하면 비효율적인 항만과 가장 특징이 유사하기 때문에 그만큼 참조항만으로 하여 효율 개선이 용이하기 때문이다.

Tier별로 각 의사결정단위의 참조항만을 식별할 수 있는 앞의 결과를 토대로 우리는 Tier 1을 제외한 모든 Tier에서 의사결정단위들의 단계적인 개선방향(stepwise improvement path)을 찾을 수 있다.

의 향만에 대한 내부적인 효율성 평가방법과 더불어

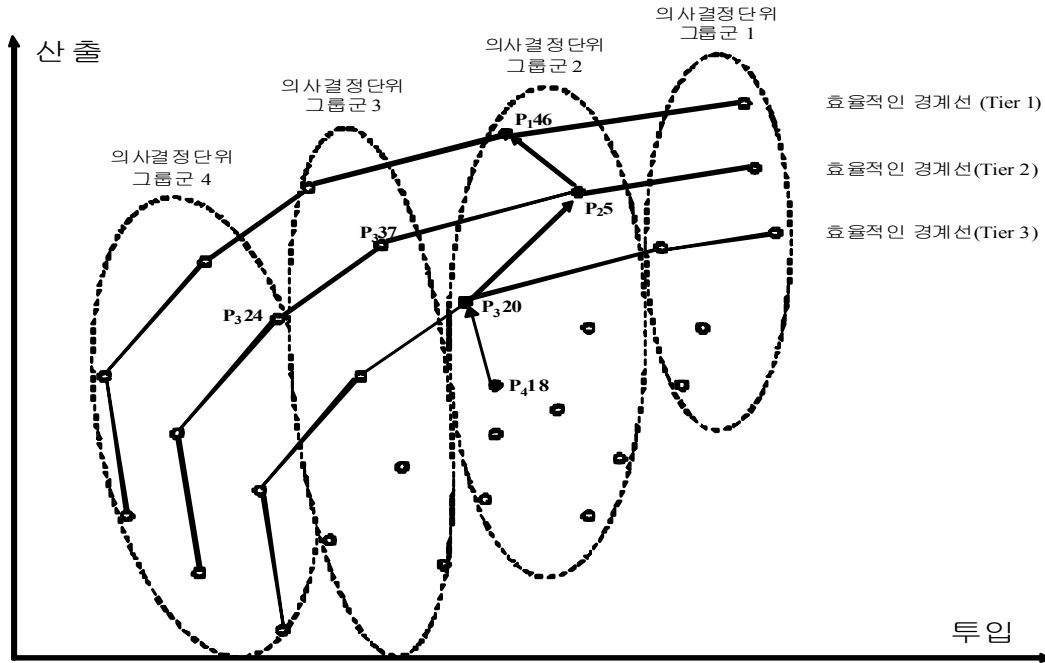


그림 3. Tier 4에 있는 의사결정단위 P418(인천항)의 개선방향

Fig 3. Improvement path for a DMU, P418, on tier4

예를 들어, <그림 3>에서 우리는 P418(인천항)의 개선방향이 P418(인천항) -> P330(텐진항) -> P228(닝보항) -> P133(연운항) 임을 알 수 있다.

IV. 결론

과거 대규모 시설투자를 통한 항만 간의 경쟁중심에서 항만 간의 협력과 항만운영의 효율성이 중시되고 있다.

이에 따라 각국 항만들은 대대적인 항만시설투자를 통한 중심항 개발전략을 추구하는 동시에 항만운영의 효율성 증대를 통한 경쟁력 강화에 노력하고 있다. 이러한 항만의 경쟁우위를 좌우하는 가장 중요한 결정요인 중 하나가 바로 항만의 효율성이다. 따라서 자국

경쟁 항만들 간의 상대적 효율성을 분석함으로써, 항만의 현재 효율성 수준을 정확히 파악하여 이를 개선시킬 수 있는 방안을 제시하는 연구가 이루어져야 한다.

DEA는 효율성 측정결과에 나타난 비효율적인 항만들에 대해서는 투입요소 측면의 과다와 산출요소 측면의 과소를 벤치마킹할 목표항만들과 비교하여 제시함으로써 해당 항만들이 효율성을 개선시킬 수 있는 방법을 제시해 준다. 그러한 DEA가 갖고 있는 한계점은 첫째, DEA는 상대적으로 비효율적인 항만들이 개선해야 할 대상이 한 개 이상의 효율적인 항만들로 구성된 참조집합으로 주어지기 때문에 구체적으로 어떤 항만을 목표로 하여 개선할지 가이드를 제공하지 않는다는 점이다.

둘째, 효율성의 크기에 따라 각각의 비효율적인 의

사결정단위들의 효율성을 개선하기 위한 단계적인 개선 방향을 제공하지 못한다는 점이다.

따라서 본 연구에서는 동북아 지역 총 35개 항만을 대상으로 효율성을 평가하였다. 이를 토대로 Tier Analysis를 통해 인천항만의 상대적인 효율성 수준을 크기별로 파악하고, SOM 기법을 결합하여 목표항만의 선정에서 개선을 위한 단계적인 개선방향을 제시하였다.

본 논문에서는 특정연도의 투입요소와 산출요소를 가지고 상대적 효율성을 비교하고, 효율성에 영향을 미치는 요소를 분석하였다. 상대적 효율성 비교이기 때문에 효율적이라고 측정된 항만도 실제로는 비효율적일 가능성도 있고 개선의 여지도 있을 수 있다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구의 분석이 인천항만의 특징과 효율성을 이해하고 각 지역의 항만을 이용하고 또한 우리나라 항만의 발전방향을 설정할 때 참고가 되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 강상곤, "DEA모형을 이용한 컨테이너항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구", 한국해양대학교 대학원 석사학위논문, 2001.
- [2] 권신혜, "동북아 항만의 효율성 분석에 관한 연구", 부경대 석사학위논문, 2007.
- [3] 박노경, "국내항만투자의 유효성 증증을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구", 한국항만경제학회, 24/2호, pp.209-239, 2008.
- [4] 박노경, "Tier분석을 통한 벤치마킹항만 적출방법", 한국항만경제학회, 제25집 제1호, pp.15-28, 2009.
- [5] 박노경, "컨테이너 터미널의 방사-비방사적 효율성 측정 방법 비교, 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구", 제 24/2호, 한국항만경제학회, pp.17-41, 2010.
- [6] 하명신, "동북아 지역과 미국 주요 컨테이너항만간의 효율성 비교", 한국항만경제학회, 제25/3호, pp.229-250, 2009.
- [7] Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, "Some

Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in DEA, *Management Science*, 30, pp.1078-1092, 1984.

- [8] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E., "Measuring the efficiency of decision making units", *EJOR Research Vol.2*, pp.429-444, 1978.
- [9] Choi, Yong-rok and Ning Zhang, "A Comparative Study on the Efficiency of Container Terminals in the Northeast Asia", *Korea Logistics Review*, Vol. 19, No. 4, pp.73-90, 2009.
- [10] Cullinane, K., "The Productivity and Efficiency of Ports and Terminals: Methods and Applications", *The Handbook of Maritime Economics and Business*, London, 2002.
- [11] Tongzon, J., "Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using DEA", *Transportation Research, Part A*, Vol.35, pp.113-128, 2001.
- [12] Valantine, V. C. and R. Gray, "Competition of Hub Ports: A Comparison between Europe and the Far East", *Korean Association of shipping Studies*, April, pp.161-176, 2002.

저자소개

홍한국(Han-Kuk Hong)



1988년 고려대학교 졸업(경제학사)
 1990년 KAIST 산업공학과(석사)
 2000년 KAIST 경영공학과(박사)
 1990년~1996년 : 삼성경제연구소 선임 연구원
 1997년~1998년 : 삼성화재 과장
 2000년~현재 동의대학교 경영정보학과 교수
 ※ 관심분야 : DEA, 데이터마이닝, CRM, SCM

이창열(ChangYeol Lee)



1985년 고려대 수학과(이학사)
 1991년 고려대 전산학과(석사)
 1997년 파리7대학교 전산학과(박사)
 1997년~1999년 ETRI 선임연구원
 2000년~현재 동의대학교 컴퓨터공학과 교수
 ※ 관심분야 : 메타데이터, ID, RFID