

Supper Efficiency DEA와 Malmquist 생산성 지수를 활용한 한·중 컨테이너터미널의 효율성 비교

정학빈* · 김율성**

An Efficiency Comparison of Container Terminals in Korea and China by Using Super Efficiency-DEA and Malmquist Productivity Index

Zheng, Xue-Bin* · Kim, Yul-Seong**

Abstract

The objective of this study was to select world top 20 major container terminals that belong to Korea and China as comparison units to analyze their efficiency and productivity trend. Super Efficiency Data Envelopment Analysis(SE-DEA) and Malmquist Productivity Index(MPI) models were applied to this study. Compared with previous studies, we narrowed down the scope of the comparison units to terminals and conducted more detailed analysis to present more meaningful implications to the actual operation. The different result from existing studies, SE-DEA analysis implied that the major terminals of Busan New Port showed similar efficiency and productivity with China's terminals. In MPI analysis, the average index of Korean and China's terminals is 1.051 and 1.049. The analysis indicates that the productivity was improved 5.1% and 4.9% annually. From 2012 to 2015, the average terminal TCI index of South Korea and China were 1.032 and 1.0318-the main factor which influences MPI. This means improving productivity mainly rely on investment in new equipment and technology upgrades rather than improve operational efficiency over the past few years. Future management decisions should consider more aggressive marketing to increase the volume and improve operational efficiency to enhance productivity. Further research should apply the overall efficiency of the methodology considering the financial diversification, terminal capacity, service levels, and other factors.

Key words: Container Terminal, Efficiency Evaluation, Supper Efficiency DEA, DEA-BCC, Malmquist Index

▷ 논문접수: 2016. 06. 09. ▷ 심사완료: 2016. 09. 06. ▷ 게재확정: 2016. 09. 12.

* 한국해양대학교 대학원 물류시스템학과 박사과정, 제1저자, jhb1025@kmou.ac.kr

** 한국해양대학교 물류시스템학과 교수, 교신저자, logikys@kmou.ac.kr

I. 서론

항만산업은 대량의 자본투입이 필요하고 국민경제에 중요한 영향을 미치는 핵심 산업인바 항만이 비효율적으로 운영되면 사회적 재화의 낭비를 초래하게 된다. 따라서 효율성을 개선하여 경영수준을 제고하는 것은 항만운영에서 중요한 과제라 할 수 있다.

동북아시아 지역은 세계적으로 대형 컨테이너 항만들이 집중되고 물동량이 가장 많이 창출되는 지역으로 과당경쟁이 벌어지고 있다. 이러한 상황에서 컨테이너터미널의 경쟁력을 제고하려면 터미널의 서비스 수준을 향상하여야 하고 이는 안벽, 선석, 야드, 장비 등 투입 재화를 충분히 활용하여 터미널의 효율성을 개선해야 실현할 수 있다. 한국과 중국의 많은 컨테이너 항만들은 단일 항만관리 주체 하에 여러 컨테이너터미널이 독자적으로 운영하고 있다. 예를 들면 부산항은 부산항만공사의 관리 하에 민간자본 터미널이 운영되고, 상하이항은 상하이항만그룹(SIPG) 관리 하에 자회사들이 독자적으로 터미널을 운영하고 있다. 기존 연구들은 크게 자국 내 항만 및 터미널 효율성 비교 연구와 글로벌 항만 간 효율성 비교 연구로 구분해서 살펴볼 수 있다. 즉 서로 다른 국가를 비교할 경우 항만 내에서 독자적으로 운영되는 컨테이너터미널의 실정을 제대로 반영하지 못하는 한계점을 가지고 있다.

본 연구에서는 한국과 중국의 주요 항만에서 운영하고 있는 컨테이너터미널을 선정하여 자료포락 분석법(Data Envelopment Analysis, 이하 'DEA'라 함) 중 평가단위의 순위를 측정할 수 있는 Super Efficiency DEA(SE-DEA)모델과 Malmquist 생산성 지수모델(MPI)를 사용하여 상대적 효율성 및 생산성 변화추이를 비교·분석하고자 한다. 이를 통해 터미널운영에 존재하는 문제를 찾아내고 효율성 개선 및 생산성 제고에 필요한 시사점을 도출하고

자 한다.

본 연구는 총 5장으로 구성되었다. 제1장은 연구의 배경, 목표, 방법과 구성을 기술하였다. 제2장은 선행연구를 검토하였다. 제3장은 본 연구에서 활용할 방법론을 소개하였다. 제4장은 비교 대상, 투입변수 및 산출변수를 확정하고 실증분석을 진행하였다. 제5장에서는 연구의 결과를 요약하고 결론을 도출하였으며 향후의 연구 과제를 제시하였다.

II. 선행연구 검토

1. 선행연구 고찰

항만효율성에 관한 연구는 1970년대부터 시작되어 확률적 프런티어 접근법(Stochastic Frontier Approach, SFA), 중선형회귀분석, 총요소생산성(Total Factor Productivity, TFP), 등 여러 가지 분석방법을 시도하였고, 최근 연구들은 주로 DEA 방법을 많이 활용하고 있다.

Roll and Hayuth(1993)는 처음으로 DEA-CCR방법을 활용하여 항만효율성 분석을 시도했으며, 이스라엘 20개 항만의 효율성을 평가하였으나 결과보다 이론 정립에 초점을 두었다.

오성동·박노경(2001)은 세계 20개 주요 항만과 동북아시아 8개 주요 항만의 효율성 평가를 통해 항만의 국제경쟁력을 분석하였다. 또한, 송재영·신창훈(2005)은 부산항을 포함한 세계 60대 컨테이너항만의 효율성을 분석하였고, 부산항은 95년, 96년을 제외한 나머지 평가기간에서 비효율적인 항만이라 지적하였다. 마찬가지로 하명신(2009)은 동북아시아와 미국의 35개 항만의 효율성을 측정하였으며, 미국, 일본항만이 비효율적이고 중국, 한국 항만이 상대적으로 효율적이라 하였다.

김민수·황천사(2012)는 한국과 중국의 주요 컨테이너항만을 대상으로 효율성을 분석하였고, 한국

표 1. 선행연구 요약

연구자	평가대상	변수		적용모델
		투입변수	산출변수	
Roll and Hayuth (1993)	20 ports (Israel)	-Labour -Capital -Cargo	-Throughput -Service Level -User Satisfaction -Ship arrival times	DEA-CCR
오성동 · 박노경 (2001)	20 major world ports 8 Northeast ports	-Berth Length -CY Area -CFS Area -No. of QC	-Throughput -Port fee	DEA-CCR DEA-BCC
송재영 · 신창훈 (2005)	60 major world ports	-Berth Length -Total Area -No. of QC	-Throughput	DEA-CCR
하명신 (2009)	35 ports (Northeast Asia, USA)	-No. of Berth -Berth Depth -Total Area -No. of QC	-Throughput	DEA-CCR DEA-BCC
김민수 · 황천사 (2012)	10 ports (Korea, China)	-Berth No. -Berth Length -Total Area -No. of QC	-Throughput	DEA-CCR DEA-BCC
이충배 · 권아림 (2014)	21 Northeast Asia Ports (Korea, China Russia)	-Total Area -No. of QC -No. of Berth -Berth Length -Depth	-Throughput	DEA-CCR DEA-BCC Shift-share Analysis
이탁 · 광규석 · 남기찬 · 안영모 (2015)	16 ports (Northeast Asia)	-No. of Berth -Berth Length -Depth -Total Area No. of QC	-Throughput	DEA-CCR DEA-BCC

보다는 중국의 컨테이너항만의 효율성이 비교적 높게 나타난 것으로 분석되었다.

이충배 · 권아림(2014)은 변이할당기법과 DEA 방법으로 동북아시아 주요 항만의 효율성을 분석하여 항만 간 경쟁력 위치를 비교 · 분석하였다.

이탁 외(2015)는 2012년 기준 동북아시아 주요 컨테이너항만의 효율성을 비교분석 하였으며 한국과 일본항만이 중국항만보다 비효율적이라고 하였다.

선행연구를 요약한 내용은 <표 1>과 같다.

2. 선행연구와의 차별성

기존 항만효율성과 관련한 선행연구들에서는 다음과 같은 몇 가지 한계점을 찾을 수 있다.

첫째, 기존에는 항만을 단위로 효율성 평가가 많이 진행되어 터미널 단위로 운영되고 있는 현실을 제대로 반영하지 못하였다.

둘째, 투입요소와 산출요소의 연관성과 정확성이 다소 떨어지는 경우가 일부 존재한다. 예를 들어 선석 수와 선석길이는 동질의 변수이고 선석

수에 대한 표준이 존재하지 않아 동시에 사용 시 결과의 정확도가 떨어지게 되었다.

셋째, 투입변수와 산출변수를 확보하기 위해 주로 참고하였던 자료인 Containerization International Yearbook 등은 중국 항만 및 터미널의 실제 시설과 장비 수치와 많은 차이가 발생해서 정확한 결과를 산출하기 어렵다.

이에 따라 본 연구는 기존 연구들의 한계점을 개선하여 보다 정확한 연구결과를 도출하고자 하였다.

첫째, 한국과 중국의 항만단위의 비교대상을 컨테이너터미널로 축소하여 기존 연구보다 상세한 터미널운영 효율성을 측정하고자 하였다.

둘째, 동질적인 DMU 선정 및 실제 투입과 산출의 관계를 정확히 반영할 수 있는 요소들만 선택하여 효율성 분석결과의 정확도를 높이고자 하였다.

셋째, 자료수집에는 항만협회에서 발행한 통계자료, 항만 및 항만에 소속되는 각 터미널 운영사의 공식사이트와 발표 자료, 현지방문을 통해 확보한 자료를 종합적으로 참고하여 투입 및 산출요소의 정확성을 높이고자 하였다.

III. 방법론 소개

1. DEA 및 SE-DEA 모델

DEA모델은 다수의 산출요소와 투입 요소간의 관계를 객관적인 방법으로 동시에 고려하여 그 효율성 값을 도출하는 비모수적 방법으로서 현재 효율성평가 작업에 매우 광범위하게 사용되고 있다. DEA 모델은 응용문제의 성격과 주어진 자료의 특성에 따라 여러 가지 종류로 구분될 수 있는바 대표적인 기본모델은 불변규모수익(CRS)의 CCR모델과 가변규모수익(VRS)의 BCC모델이다.

DEA-CCR모델은 A Charnes et al(1978)가 제시

한 모델로 평가대상이 되는 DMU들의 투입물의 가중합계에 대한 산출물의 가중합계의 비율이 1을 초과해서는 안 되며, 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 단순한 제약조건 하에서 DMU의 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중합계의 비율을 최대화시키고자 하는 선형분수계획법이 다. CCR모델의 선형계획식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} & (1) \\ \text{S.T. } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1, \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad j=1,2,\dots,n \\ u_r, v_i &\geq \epsilon, \quad \forall r,j \end{aligned}$$

여기서 h_0 : DMU₀의 효율성, u_r : r번째 산출물에 대한 가중치, v_i : i번째 투입물의 가중치, y_{rj} : DMU j의 r번째 산출물의 양, x_{ij} : DMU j의 i번째 투입물의 양, y_{r0} : 평가대상 DMU 0의 r번째 산출물의 양, x_{i0} : 평가대상 DMU 0의 i번째 투입물의 양, ϵ : non-Archimedean상수($10^{-6} \sim 10^{-5}$), n: DMU의 수, m: 투입물의 수, s:산출물의 수이다.

여유변수(slack variables) s^- 와 s^+ 를 도입하여 쌍대문제로 변형한 후 다음 선형계획모델로 변환할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min } h_0 &= \theta & (2) \\ \text{S.T. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \theta x_{i0}, \quad i=1,2,\dots,m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{r0}, \quad r=1,2,\dots,s \\ s_r^+, s_i^- &\geq 0, \quad \forall i,r,j \end{aligned}$$

위의 수식에서 h_0 의 최적해가 1이고 동시에 $s_r^+ = 0, s_i^- = 0$ 이면 DMU h_0 는 효율적으로 평

가되었고 h_0 의 값이 1보다 작으면 비효율적으로 평가된다.

산출지향성 CCR 효율성 측정모델은 다음과 같은 쌍대변형을 한 선형계획식으로 표시한다. 실제로 CCR모델에서 투입지향성과 산출지향성모델의 결과는 동일하다.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \theta & (3) \\ \text{S.T. } -\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + \sum_{r=1}^s \theta y_{r0} + s_r^+ &= 0, \quad r=1,2,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{i0}, \quad i=1,2,\dots,m \\ s_r^+, s_i^-, \lambda_j &\geq 0, \quad \forall i,r,j \end{aligned}$$

CCR모델은 규모의 수익성(Return to Scale)이 일정하다고 가정하기에 규모의 효율성과 순수 기술적 효율성을 구분하지 못한다는 제한이 존재한다. 생산기술이 규모에 대한 수익가변일 경우 CCR 모델에 의한 추정치는 실제로는 효율적인 DMU임에도 불구하고 비효율적으로 나타날 수 있다. 이를 개선하기 위해 RD Banker et al(1984)는 규모 수익불변 제한을 완화하여 규모수익가변이라는 가정을 적용하고 볼록성 필요조건을 추가한 BCC모델을 제안하였다. BCC모델의 선형계획식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} + u_0 & (4) \\ \text{S.T. } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + u_0 &\leq 0, \quad j=1,2,\dots,n \\ u_r, v_i &\geq \epsilon, \quad \forall r,i \end{aligned}$$

여기에서 u_0 는 조건제약을 받지 않는바 DMU의 규모수익상태의 특징을 반영하는바 $u_0 = 0$ 이면 규모수익불변, $u_0 > 0$ 이면 규모수익체감, $u_k < 0$

이면 규모수익체증이 된다.

위 선형계획문제를 쌍대문제로 변형하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min } h_0 &= \theta & (5) \\ \text{S.T. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \theta x_{i0}, \quad i=1,2,\dots,m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{r0}, \quad r=1,2,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ s_r^+, s_i^- &\geq 0, \quad \forall i,r,j \end{aligned}$$

CCR모델과 비교하였을 때 차이점은 마지막 제약조건식에 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 이 추가된 것이다. 이것은 BCC 모델이 규모에 대한 가변성을 완전히 허용하기 위해서 볼록성 제약인 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 을 상대적인 DEA문제에 추가적으로 포함한 것이다.

산출지향성 BCC모델 다음과 같은 쌍대변형을 거친 선형계획식으로 표시한다.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \theta + \epsilon \left[\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right] & (6) \\ \text{S.T. } \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + \sum_{r=1}^s \theta y_{r0} + s_r^+ &= 0, \quad r=1,2,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{i0}, \quad i=1,2,\dots,m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ s_i^-, s_r^+, \lambda_j &\geq 0, \quad \forall i,r,j \end{aligned}$$

CCR모델에서 효율성으로 평가된 DMU의 값은 모두 1이기 때문에 이들의 효율성 차이를 비교할 수 없다. Anderson and Peterson(1993)이 제안한 SE-DEA모델은 j번째 DMU의 효율성을 평가할 때 해당 DMU의 투입과 산출을 기타 모든 DMU의 투입과 산출의 선형조합으로 대체하는 것을 통해 j번

제 DMU를 배제한다. 이 때 효율적으로 평가된 DMU는 투입을 비례에 따라 향상하면서 효율성을 유지할 수 있다. 투입향상비례는 곧바로 Super Efficiency값이다. 그래서 SE-DEA는 CCR분석에서 효율성 값이 1로 평가된 DMU 사이의 효율성 차이를 구분할 수 있고 평가대상 DMU에 대하여 효과적으로 순위를 매길 수 있다. SE-DEA에서 비효율적으로 평가된 DMU의 효율치는 CCR모델과 같고, 효율적으로 평가된 DMU의 값은 1 이상이다. 즉 효율치가 1.5인 DMU는 같은 비례로 50%의 투입을 향상하더라도 모든 비교대상 DMU 집합에서 여전히 상대적으로 효율적으로 평가될 수 있음을 의미한다. SE-DEA모델은 다음 식으로 표시한다.

$$\text{Min } h_0 = \theta \quad (7)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_0}}^n Z_j x_{ji} + s_i^- = \theta x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_0}}^n Z_j y_{jr} + s_r^+ = y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$Z_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad \forall i, r, j$$

여기에서 Z_j 는 DMU_0 에 상대하여 새로 구성된 유효 DMU 조합 중 j 번째 DMU의 조합비례이고, s_r^+, s_i^- 는 여유변수이다. $h_0 \geq 1$ 이고 동시에 $s_r^+ = 0, s_i^- = 0$ 이면 DMU h_0 은 효율적으로 평가되었고 $h_0 < 1$, 혹은 $s_r^+ \neq 0, s_i^- \neq 0$ 이면 DMU h_0 은 비효율적임을 의미한다.

2. Malmquist 생산성지수

DEA-CCR와 DEA-BCC모델은 특정 시점의 DMU에 한해서만 효율성을 비교할 수 있는 데 비해 MPI방법은 부동한 시점에 거친 패널 데이터를 통해 일정 기간 내에서의 생산성변화추이를 측정할 수 있다. MPI는 DEA원리를 이용하여 거리함수

(Distance Function)의 개념을 도입하여 총 요소생산성의 변화를 측정하는바 투입물과 산출물 사이에 명확한 생산함수식을 가정할 필요가 없다. 즉 DMU의 실제 값에 따라 선형계획방법으로 유효한 DMU를 조합으로 묶어 프런티어를 생성한다. 다음 상대효율성을 추정함으로써 주관적 간섭을 피하고, 분석과정이 단순해서 오차를 줄이는 장점이 있다. MPI추정방법도 분석에 이용되는 거리함수에 따라 투입기준 거리함수 및 산출기준 거리함수로 구분된다(박만희, 2008). 전자는 DEA에서와 동일한 개념으로 일정 수준의 산출량을 생산하는 데 소요되는 투입량을 최소화하는 거리함수를 추정하는 것이고, 후자는 주어진 투입량으로 최대한 생산할 수 있는 산출량의 거리함수를 추정하는 것이다. 본 연구에서는 산출 지향 MPI를 사용하였다.

Fare et al(1994)에 의하면 MPI는 시점 t 에서의 생산기술을 가정한 상태에서 서로 다른 시점, $t, t+1$ 의 투입-산출조합을 통해 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M^t = \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \quad (8)$$

마찬가지로 $t+1$ 시점의 생산기술을 가정한 상태에서 서로 다른 두 시점 $t, t+1$ 의 투입-산출 조합을 통해 MPI를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M^{t+1} = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (9)$$

식에서 $D_0^t(x^t, y^t), D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ 는 각각 t 와 $t+1$ 기간의 효율적 프런티어에서 투입요소, 산출요소 조합에 대한 거리를 나타내고 D_0 은 CRS를 가정한 거리함수를 표현한 것이다. 생산기술에 대한 기준연도 임의 선정의 분체를 피하기

위해 두 MPI 지수의 기하평균을 이용하여 산출지향 생산성변화지수를 정의하면 다음과 같이 주어진다.

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \times \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (10)$$

$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) > 1$ 이면 t기에 비해서 (t+1)기에 생산성이 향상하였다는 것을 의미하고 1보다 작으면 감소하였다는 것을 의미하며 1과 같으면 생산성 변화가 없다는 것을 나타낸다. 수식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \times \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} = TECI \times TCI \quad (11)$$

수식에서 괄호 밖의 수식은 두 시점 (t, t+1)의 거리 함수 비율을 나타낸다. 이를 기술적 효율성 변화지수(TECI: Technical Efficiency Change index)라고 부르며 두 시점의 기술적 효율성 변화를 평가하는 척도이다. 괄호 안의 기하평균은 두 시점 (t, t+1) 동안의 기술변화지수(TCI: Technical Change Index)라고 부르며 두 시점 사이의 생산 기술변화, 즉 효율적인 경계로의 이동이 생산성 변화에 어떻게 기여하는가를 평가하는 척도이다.

기술적 효율성변화지수(TECI)는 다시 순수 효율성변화지수(PECI: Pure Efficiency Change Index)와 규모 효율성변화지수(SECI: Scale Efficiency Change Index)로 구분할 수 있고 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{V_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{V_0^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{V_0^t(x^t, y^t)}{D_0^t(x^t, y^t)} + \frac{V_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \times \left[\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} = PECEI \times SECEI \times TCEI \quad (12)$$

따라서 MPI는 수식 12와 같이 순수 효율성변화지수(PECEI), 규모 효율성변화지수(SECEI), 기술변화지수(TCEI) 세 가지 부분으로 분해하여 추정할 수 있다. 위 수식에서 $V_0^t(x^t, y^t)$ 는 시점 t의 규모수익가변 하에서의 산출거리함수를 나타내고 $\frac{V_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{V_0^t(x^t, y^t)}$ 는 t시점에 대한 (t+1)시점의 순

수 효율성변화를 평가하는 척도이다. $\frac{V_0^t(x^t, y^t)}{D_0^t(x^t, y^t)}$ 는 시점 t에서의 규모수익불변 기술에 대한 규모수익가변 기술의 산출거리함수의 비율을 나타내고 이는 규모 효율성변화지수를 의미한다.

IV. 실증분석

1. 분석대상 및 변수 선정

본 연구의 분석대상은 2015년 기준 세계 20위권에 드는 한·중 컨테이너항만의 주요 터미널 중 터미널운영기간이 5년 이상인 터미널을 대상으로 한국은 부산항, 중국은 상하이, 선전, 닝보, 칭다오, 광저우, 톈진, 다롄, 샤먼 총 9개 항만을 선정하였다. 분석에 필요한 터미널 데이터는 다음 경로를 통해 확보하였다.

- ① 항만공식사이트 및 발표자료
- ② 터미널공식사이트 및 발표자료
- ③ 중국 항만협회에서 발표하는 컨테이너터미널별 월간통계자료

표 2. 비교대상 터미널 요약

국가	Port	Terminal	소계
Korea	Busan	KBCT, PNIT, PNC, HJNC, HPNT	5
China	Shanghai	SSICT, SGICT, SPICT, SIPGZCT, SECT, SMCT, Yidong	7
	Shenzhen	SCT, CCT, YICT	3
	Ningbo	NBSCT, NBCT, Gangji, YDCT, CMICT	5
	Qingdao	QQCT	1
	Guangzhou	GOCT, GNICT	2
	Tianjin	TPCT, FICT, TCT, TACT, TOCT	5
	Dalian	DCT	1
	Xiamen	Guojigangwu	1

- ④ 한국 항만물류협회에서 발표하는 컨테이너 터미널 장비 연간통계자료
- ⑤ 터미널운영담당자에 직접 연락 및 현지 방문 자료
- ⑥ Google Earth 등 프로그램을 통한 터미널 시설 및 장비 확인

자료 확보가 어려운 터미널을 배제하고 최종적으로 선정된 터미널의 개수는 총 30개이며, <표 2>와 같다.

본 연구의 변수 선정은 선행연구를 검토한 기초하에 컨테이너물동량에 가장 직접 영향을 주는 안벽길이(m), 야드면적(m²), 안벽 크레인 수량(Quay Crane, QC) 및 야드 크레인 수량(Transfer Crane, TC)를 투입변수로 선정하였고, 컨테이너물동량을 산출변수로 선정하였다. 일반적으로 안벽길이와 안벽크레인 수량, 야드면적과 야드크레인 수량, 안벽 길이와 야드면적은 각각 정의 상관관계를 이룬다. 변수데이터는 부록에 정리되었다. 분석에 사용된 프로그램은 EMS 1.3(SE-DEA 분석용)과 DEAP 2.1(DEA-BCC, MPI 분석용)이다.

2. SE-DEA 분석

2012년-2015년 평가대상 터미널의 SE-DEA 효율값 및 순위는 <표 3>과 같다. 2012년-2015년 전체 터미널의 연도별 효율값 평균치는 각각 0.825, 0.821, 0.820, 0.864이고 4년 평균치는 0.840이다. 평가기간 내 평균 SE-DEA 효율값이 줄곧 1 이상을 기록한 터미널은 상하이항의 SGICT(Yangshan 3단계), SPICT(Waigaoqiao 1단계), SIPGZCT(Waigaoqiao 2단계), 부산항의 HJNC와 HPNT, 광저우항의 GNICT, 다론헬항의 DCT 총 7개로서 전체 평가대상의 23%를 차지한다. 이들은 전체 평가기간 동안 줄곧 가장 효율적인 상태로 운영되었음을 의미한다. 준거집단 참조횟수를 보면 2015년 기준으로 SGICT 10회, SPICT 6회, SIPGZCT 10회, HPNT 2회, Gangji 7회, GNICT 0회, FICT 7회, DCT 11회이다. 준거집단 참조횟수가 높은 SGICT, SIPGZCT, 등 터미널은 효율성이 낮은 다른 터미널의 효율성 개선에 필요한 참고대상으로 많이 선정되었음을 의미한다. SE-DEA에서 비효율적으로 평가된 터미널은 비효율성을 초래한 원인을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 BCC 모델을 통한 분석을 추가로 진행해서 자세히 살펴봐야 한다.

규모수익 제약조건을 완화한 BCC모델로 효율성

을 분석한 결과는 <표 4>와 같다. 2015년 결과를 기준으로 SE-DEA에서보다 효율적으로 평가된 터미널 개수가 증가 하였고, 전체 터미널의 효율치

평균도 SE-DEA에서보다 높은 0.9를 보여주었다. 한국과 중국 터미널의 평균 효율값은 각각 0.936, 0.893이다. SE-DEA평가에서 효율치가 1보다 작지

표 3. 2012년-2015년 SE-DEA 분석결과

Port	Terminal	2012	2013	2014	2015 (참조횟수)	2012-2015 평균	평균 순위
Shanghai	SSICT	0.956	0.931	0.974	0.971	0.958	9
	SGICT	1.134	1.085	1.052	1,077(10)	1.087	1
	SPICT	1.018	1.058	1.065	1,126(6)	1.067	4
	SIPGZCT	1.055	1.018	1.096	1,076(10)	1.061	5
	SECT	0.838	0.827	0.879	0.885	0.857	15
	SMCT	0.558	0.734	0.815	0.870	0.744	19
	Yidong	0.817	0.839	0.801	0.832	0.822	16
Shenzhen	SCT	0.648	0.570	0.641	0.676	0.634	27
	CCT	0.715	0.680	0.603	0.612	0.652	25
	YICT	0.633	0.604	0.654	0.622	0.628	28
Busan	KBCT	0.796	0.537	0.650	0.597	0.645	26
	PNIT	0.585	0.721	0.655	0.928	0.722	22
	PNC	1.026	0.887	0.888	0.978	0.945	10
	HJNC	1.098	0.957	0.948	0.997	1.000	7
	HPNT	0.937	1.158	1.190	1,045(2)	1.082	2
Ningbo	NBSCT	0.989	0.984	0.935	0.833	0.935	11
	NBCT	0.877	0.752	0.789	0.783	0.800	17
	Gangji	0.850	0.871	0.969	1,016(7)	0.926	12
	YDCT	0.653	0.707	0.761	0.837	0.740	20
	CMICT	0.590	0.603	0.702	0.756	0.663	24
Qingdao	QQCT	0.848	0.852	0.931	0.961	0.898	14
Guangzhou	GOCT	0.754	0.736	0.751	0.742	0.746	18
	GNICT	1.096	1.159	1.066	1,007(0)	1.082	3
Tianjin	TPCT	0.523	0.529	0.535	0.532	0.530	30
	FICT	0.988	0.970	1.003	1,032(7)	0.998	8
	TCT	0.736	0.720	0.739	0.736	0.733	21
	TACT	0.871	0.862	0.944	0.925	0.900	13
	TOCT	0.679	0.674	0.692	0.695	0.685	23
Dalian	DCT	0.864	1.049	1.139	1,113(11)	1.042	6
Xiamen	Guojingangwu	0.630	0.573	0.631	0.647	0.620	29
한국 평균		0.888	0.852	0.866	0.909	0.879	-
중국 평균		0.813	0.815	0.847	0.854	0.832	-
전체 평균		0.825	0.821	0.850	0.864	0.840	-

만 BCC모델에서 1로 평가된 터미널은 상하이항의 SSICT(Yangshan 1,2단계), 부산항의 PNIT, PNC, Ningbo항의 NBCT, 칭다오항의 QQCT, 텐진항의 TACT, TOCT, 총 7개 터미널이다. 이들은 기술적

인 운영수준 면에서는 문제가 없지만 운영규모 적정성 면에서 비효율성이 존재하기 때문에 종합 효율성을 반영하는 SE-DEA분석에서 효율치가 1보다 작게 분석되었다.

표 4. 2015년 기준 각 터미널의 BCC 효율성 및 규모 효율성 분석결과

Port	Terminal	BCC	BCC 순위	Scale Efficiency	
Shanghai	SSICT	1	1	0.971	drs
	SGICT	1	1	1	crs
	SPICT	1	1	1	crs
	SIPGZCT	1	1	1	crs
	SECT	0.926	17	0.955	irs
	SMCT	0.887	19	0.98	drs
	Yidong	0.909	18	0.915	irs
Shenzhen	SCT	0.831	22	0.814	drs
	CCT	0.753	26	0.812	drs
	YICT	0.759	25	0.82	drs
Busan	KBCT	0.683	28	0.875	irs
	PNIT	1	1	0.928	irs
	PNC	1	1	0.978	drs
	HJNC	0.999	16	0.998	drs
	HPNT	1	1	1	crs
Ningbo	NBSCT	0.884	20	0.943	irs
	NBCT	1	1	0.783	irs
	Gangji	1	1	1	crs
	YDCT	0.854	21	0.98	drs
	CMICT	0.792	24	0.954	irs
Qingdao	QQCT	1	1	0.961	drs
Guangzhou	GOCT	0.745	27	0.996	irs
	GNICT	1	1	1	crs
Tianjin	TPCT	0.534	30	0.996	irs
	FICT	1	1	1	crs
	TCT	0.795	23	0.926	irs
	TACT	1	1	0.925	irs
	TOCT	1	1	0.695	irs
Dalian	DCT	1	1	1	crs
Xiamen	Guojigangwu	0.659	29	0.982	irs
한국 평균		0.936	-	0.956	-
중국 평균		0.893	-	0.936	-
전체 평균		0.900	-	0.940	-

각 터미널의 규모의 효율성 분석결과(〈표 4〉 참조), 효율치가 1인 터미널은 SE-DEA분석에서 효율치가 1 이상으로 평가된 터미널과 동일하다. 한국과 중국 터미널의 평균 효율치는 각각 0.956, 0.936이다. 규모의 비효율성이 존재하는 터미널 중 규모수익체감(DRS: Decreasing Return to Scale)현상을 보이는 터미널은 9개이고, 규모수익체증(IRS: Increasing Return to Scale)현상을 보이는 터미널은 13개이다. 규모수익 체감을 나타내는 터미널은 생산규모가 향상함에 따라 의사전달, 의사결정체제가 복잡해지는 등 규모 확장에 따른 비효율성이 발생하는 경우가 존재하는지 여부에 대하여 검토하고 이를 개선하여 터미널 효율성을 제고하여야 한다. 또한, 규모수익체증을 나타내는 터미널은 운영 및 확장 과정에서 분업화, 전문화 등이 제대로 체계를 이루었는지를 검토하여 규모의 효율성을 개선하여야 한다.

SE-DEA 분석에서 평가기간 내 평균 효율성이 1 이상으로 평가된 7개 터미널의 주요 생산성지표 및 제원을 분석한 결과는 〈표 5〉와 같다. 선석 당 처리량을 보면 모든 터미널의 1m 당 처리량이 2,000TEU 이상인 바 이는 350m 선석 당 70만 TEU 이상을 처리한 것으로서 높은 수준에 속한다. 특히 상하이항의 SGICT, SPICT, SIPGZCT와 광저우항의 GNICT는 안벽 1m 당 2,700TEU 이상

을 처리하여 전 세계적에서도 안벽처리량이 가장 많은 터미널에 속한다. 야드면적 당 처리량 부분에서 모든 터미널의 1,000m² 당 처리량은 5,000TEU 이상을 보여주었다. 그 중 상하이항의 SPICT와 부산항의 HJNC, HPNT는 9,000TEU의 높은 야드 처리량을 보여주었는바 선석 당 야드 보유면적이 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 장비보유 상황을 보면 다론허항의 DCT를 제외한 기타 터미널 모두 비교적 많은 안벽크레인과 야드크레인을 보유하고 있음을 알 수 있다.

3. Malmquist 생산성지수 분석

MPI지수 평가결과에서 'effch'는 기술효율성변화(TECI), 'techch'는 기술변화(TCI), 'pech'는 순수효율변화(PECI), 'sech'는 규모효율성변화(SECI), 'tfpch'는 총요소생산성변화 즉 MPI지수를 의미한다. 평가기간 내 MPI지수의 값이 1보다 작으면 생산성이 감소하는 것이고, 1과 같으면 생산성에 변화가 없는 것이며 1보다 크면 생산성이 향상됨을 설명한다.

〈표 6〉은 2012년-2015년 평가대상 터미널의 연도별 평균 MPI지수 및 분해지수 평균치이다. 2012년-2013년 전체 터미널의 MPI 지수는 1.06으로 이는 연간 생산성이 6% 향상함을 의미하고, 2013년

표 5. 2012년-2015년 효율값 1이상 터미널 주요 생산성 지표 및 제원(Berth Length: 350m)

Terminal	Quay Throughput (TEU/m)	Yard Throughput (TEU/1,000m ²)	Yard Area per Berth (m ²)	No. of QC per Berth	No. of TC per Berth
SGICT	2,752	5,047	190,885	4.0	10
SPICT	2,787	9,022	108,111	4.3	16
SIPGZCT	3,164	5,814	190,463	4.6	13
HJNC	2,324	9,032	90,045	3.8	13
HPNT	2,018	9,434	74,870	3.7	12
GNICT	2,804	5,331	184,121	5.3	10
DCT	2,054	6,482	110,915	2.7	8

표 6. 평가대상 터미널의 각 연도별 평균 MPI지수 및 분해지수 평균치

연도	effch(TECI)	techch(TCI)	pech(PECI)	sech(SECI)	tfpch(MPI)
2012-2013	0.996	1.064	0.992	1.006	1.060
2013-2014	1.038	1.032	1.020	1.018	1.071
2014-2015	1.024	1.001	1.011	1.012	1.025
2012-2015	1.017	1.032	1.006	1.011	1.049

-2014년에는 7.1%, 2014년-2015년에는 2.5%, 2012년-2015년 전체 평가기간동안에는 생산성이 평균 연간 4.9% 향상하였음을 의미한다. 2015년 글로벌 컨테이너물동량 증가세 둔화로 인해 2014년-2015년 기간 생산성 증가폭은 기타 연도에 비해 낮게 나타났다.

〈표 7〉은 2012년-2015년 각 터미널 별 MPI 지수 및 분해지수 분석결과이다. 동일 기간 내 한국 터미널의 평균 MPI지수는 1.051로 생산성이 연간 5.1%, 중국 터미널은 1.049로 생산성이 연간 4.9% 향상하였다.

2012년-2015년 사이 MPI지수가 1보다 낮은 터미널은 선전항의 CCT, 부산항의 KBCT, Ningbo항의 NBCT, NBSCT이다. Ningbo항의 NBSCT를 제외한 기타 터미널은 TCI 지수와 PECI지수가 1보다 작고 TECI지수가 1보다 크기 때문에 생산성이 감소하였으며, 그 원인은 주로 생산기술 및 순수 효율성 감소에 있다고 분석되었다. 즉 이들은 산업에서 기술진보를 통해 창출되는 최신 노하우를 실제 생산에 적용할 수 있는 업무능력과 경영능력을 갖춘 경영자와 실무자를 확보하여 터미널의 운영수준개고를 위해 노력해야 한다고 판단된다.

평가기간 내 생산성이 크게 향상된 터미널은 상하이항 SMCT(18.5%), 부산항 PNIT(22.5%), Ningbo항 Gangji(8%), YDCT(13.2%), CMICT(12.2%), 칭다오항 QQCT(7.5%)이고, PNIT를 제외한 기타 터미널의 생산성이 증가한 주요한 원인은 순수 기술 효율성(PECI) 향상에 기인한다.

전체 터미널의 분해된 각 항 평균 변동지수를

보면 TECI지수 1.017, TCI지수 1.032, PECI지수 1.006, SECI지수 1.011로서 기술진보가 가장 높은 3.2%를 기록하여 생산성 향상에 가장 크게 기여하였음을 반영한다. 즉 기간 내 터미널의 생산성은 주로 새로운 장비 투입, 생산프로세스 혁신, 개선된 경영기법 도입 등 기술개발활동을 통해 실현되었다고 볼 수 있다.

V. 결론

1. 연구결과 요약 및 시사점

본 연구에서는 세계 10위권 컨테이너항만 중에서 한국과 중국의 항만들을 선택하여 항만소속의 컨테이너터미널을 단위로 SE-DEA와 MPI 지수법으로 2012년-2015년 사이의 효율성 및 생산성 변화 추이를 분석하였다. 기존연구들과 달리 본 연구에서는 연구대상의 범위를 항만 내 터미널로 좁혀 더욱 세부적인 분석을 진행하여 양국 터미널의 운영 실태를 보다 잘 반영하였다.

한국 터미널은 KBCT를 제외하고 모두 높은 효율성과 생산성을 보여주었다. 김민수·황천사(2012), 이택 외(2015) 등의 연구들은 한국항만이 중국항만보다 효율성이 낮다는 결론을 제시하였지만 터미널 단위로 비교한 본 연구의 분석결과에 따르면 부산 신항 주요 터미널은 중국에 못지않은 효율성 및 생산성을 보여주고 있다. KBCT가 효율성이 낮은 이유는 터미널규모에 비해 물동량이 적은 것으로 분석된다.

표 7. 2012년-2015년 각 터미널의 MPI 지수 및 분해지수

Port	Terminal	effch(TECI)	techch(TCI)	pech(PECI)	sech(SECI)	tfpch(MPI)
Shanghai	SSICT	1.005	1.025	1	1.005	1.03
	SGICT	1	1.01	1	1	1.01
	SPICT	1	1.052	1	1	1.052
	SIPGZCT	1	1.026	1	1	1.026
	SECT	1.018	1.014	1.007	1.011	1.032
	SMCT	1.159	1.022	1.165	0.995	1.185
	Yidong	1.006	1.038	0.982	1.025	1.044
Shenzhen	SCT	1.014	1.033	1.011	1.004	1.047
	CCT	0.949	1.032	0.946	1.004	0.98
	YICT	0.994	1.024	0.952	1.044	1.018
Busan	KBCT	0.909	1.043	0.906	1.003	0.948
	PNIT	1.166	1.05	1	1.166	1.225
	PNC	0.993	1.032	1	0.993	1.025
	HJNC	0.999	1.016	1	0.999	1.015
	HPNT	1.022	1.019	1	1.022	1.042
Ningbo	NBSCT	0.944	1.025	0.96	0.984	0.968
	NBCT	0.963	1.031	1	0.963	0.993
	Gangji	1.056	1.023	1.045	1.01	1.08
	YDCT	1.086	1.042	1.093	0.994	1.132
	CMICT	1.086	1.033	1.07	1.015	1.122
Qingdao	QQCT	1.043	1.031	1	1.043	1.075
Guangzhou	GOCT	0.995	1.025	0.991	1.004	1.02
	GNICT	1	1.014	1	1	1.014
Tianjin	TPCT	1.006	1.042	1.004	1.002	1.048
	FICT	1.004	1.052	1	1.004	1.056
	TCT	1	1.036	0.999	1	1.036
	TACT	1.02	1.018	1	1.02	1.039
	TOCT	1.008	1.043	1	1.008	1.051
Dalian	DCT	1.05	1.062	1.029	1.021	1.115
Xiamen	Guojigangwu	1.009	1.043	1.015	0.994	1.052
한국 평균		1.018	1.032	0.981	1.037	1.051
중국평균		1.017	1.0318	1.011	1.006	1.049
2012년-2015년 평균		1.017	1.032	1.006	1.011	1.049

부산항과 컨테이너항만 순위를 경쟁하고 있는 Ningbo항의 3년간 평균 MPI지수는 1.059로서 연간 효율성이 평균 5.9%로 향상되었음을 의미한다. 이는 Ningbo항이 부산항과의 격차를 점차 줄여오다가

2014년에 부산항을 넘어 세계 5위 컨테이너항만 자리에 오른 원인으로 볼 수 있다. Ningbo항의 경우도 구항인 NBCT와 NBSCT터미널은 MPI지수가 1보다 작아 생산성이 감소되는 추세이고, Ningbo항의

신항인 Gangji, YDCT 및 CNICT터미널의 기간 내 평균 MPI지수가 1.08, 1.132, 1.122로 각각 8%, 13.2% 및 12.2% 제고되어宁波항 전체의 생산성 향상에 큰 역할을 하였다.

2012년-2015년 한·중 양국 터미널의 평균 TCI 지수는 각각 1.032와 1.0318로 모두 터미널 생산성 변화에 중요한 요소로 작용하였다. 따라서 향후 경영의사결정을 함에 있어서 적극적인 시장개척을 통한 물량확보 증가와 운영효율성 제고를 통해 생산성을 개선하여야 한다.

그 외 중국의 상하이항 SIPGZCT와 광저우항의 GNICT터미널 모두 기간 내 시설과 장비 대비 많은 물동량을 처리하여 가장 효율성이 높은 터미널로 평가되었다. 중국 대륙지역 연안항에서 안벽길이 m당 처리량이 가장 높은 터미널에 속하는데도 불구하고 부산 신항의 일부 터미널은 이들과 비슷한 효율성을 보이고 있다. 효율성이 높은 점은 긍정할만한 일이지만 이러한 높은 효율성이 서비스 수준 기타 면에 부정적인 영향을 주는지 여부에 주의를 돌려야 한다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구에는 다음과 같은 한계가 존재한다.

첫째, 효율성 분석방법에 있어서 비모수적인 DEA방법만 선택하고 모수적방법 등 기타 방법들을 활용하지 않아 분석방법이 다소 단일한 문제가 존재한다.

둘째, 자료 수집의 제한으로 실제 비교대상으로 선정된 터미널의 수가 부족하여 분석에서 제외된 터미널도 많이 존재한다. 또한 물동량을 기준으로 한 효율성분석에 그쳐 실제 터미널의 재무상황 및 서비스수준 등을 평가범위에 포함하지 못하여 터미널의 종합적인 효율성을 충분히 반영하지 못하였다.

향후 연구는 재무지표, 노동력자원 등 다양한 변수들을 사용하여 터미널의 종합효율성과 모수적

분석방법도 동시에 활용하여 도출된 결과를 서로 비교하면서 시사점을 도출할 필요가 있다.

참고문헌

- 김민수·황천사(2012), “글로벌 금융위기 이후의 한중 주요 컨테이너항만의 경쟁력 변화 비교 연구”, 『중국과 중국학』, 제16호, 1-34.
- 박만희(2008), “효율성과 생산성 분석”, 한국학술정보.
- 송재영·신창훈(2005), “DEA모형을 이용한 세계 주요 항만의 효율성 평가”, 『한국항해항만학회지』, 제29권 제3호, 195-201.
- 오성동·박노경(2001), “컨테이너항만의 국제경쟁력분석방법: DEA접근-생산효율성분석을 중심으로”, 『항만경제학회지』, 제17집 제1호, 27-51.
- 이충배·권아림(2014), “변이할당기법과 DEA를 활용한 동북아시아 항만 간 경쟁력 비교분석”, 『한국항만경제학회지』, 제30집 제4호, 219-254.
- 이탁·곽규석·남기찬·안영모(2015), “동북아시아 주요 컨테이너항만의 효율성 비교연구”, 『한국항해항만학회지』, 제39권 제1호, 55-60.
- 하명신(2009), “동북아 지역과 미국 주요 컨테이너항만간의 효율성 비교”, 『한국항만경제학회지』, 제25집 제3호, 229-250.
- 한국항만물류협회(2012), (2013), (2014), (2015), 항만물류장비현황.
- A Charnes, WW Cooper & E Rhodes(1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European Journal of Operational Research*, Vol.2 No.6, 429-444.
- Anderson, P·N, C. Peterson(1993), “Procedure for Ranking Efficient Unit in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, Vol.154, 1261-1274.
- China Port Association(2013), (2014), (2015), (2016), “The Statistics of Chinese main port container terminal throughput in December,” *China Ports*, Vol.269-272 No.1.
- Fare Rolf, Grosskopf Shawana, Norris Mary & Zhang Zhongyang(1994), “Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries,” *The American Economic Review*, Vol.84 No.1, 66-83.
- RD Banker, A Charnes & WW Cooper(1984), “Some Models for Estimating Technical and Scale

Inefficiencies in Data Envelopment Analysis,”
Management Science, Vol.30, 1078-1092.

Roll Y. & Hayuth Y.(1993), “Port Performance Comparison applying data envelopment analysis,”
Maritime Police and Management, Vol.20 No.2,
153-161.

Supper Efficiency DEA와 Malmquist 생산성 지수를 활용한 한·중 컨테이너터미널의 효율성 비교

정학빈* · 김율성**

국문요약

본 연구는 세계 20위권 컨테이너항만 중에서 한국과 중국 항만들의 개별 컨테이너터미널을 단위로 SE-DEA와 Malmquist 생산성지수법으로 2012년-2015년 사이의 효율성 및 생산성 변화추이를 분석하고자 하였다. 기존연구들에 비해 본 연구에서는 연구대상의 범위를 항만 내 터미널로 좁혀 더욱 세부적인 분석을 진행하여 실제 운영에 더욱 의미 있는 시사점을 제시하고자 하였다. SE-DEA 분석결과, 기존 연구와 달리 부산항 신항 주요 터미널은 중국 못지않은 효율성 및 생산성을 나타내고 있음을 밝혔다. 또한, Malmquist 생산성지수법 분석결과, 한국터미널의 평균 MPI지수는 1.051로 생산성이 연간 5.1% 향상되었고, 중국 터미널의 평균 MPI지수는 1.049로 생산성이 연간 4.9% 향상되었다. 2012년-2015년 한·중 양국 터미널의 평균 TCI지수는 각각 1.032와 1.0318로 MPI지수 변화에 중요한 요소로 작용하였다. 즉 생산성 제고는 운영효율성 개선보다 장비투입이나 기술개진을 통해 실현하였음을 설명한다. 미래에 경영의사결정을 함에 있어서 적극적인 시장개척을 통한 물량확보 증가와 운영효율성 제고를 통해 생산성을 개선하여야 한다. 향후 연구에서는 방법론의 다양화와 터미널 재무능력, 서비스 수준 등을 고려한 종합적인 효율성 분석이 필요할 것이다.

주제어: 컨테이너터미널, 효율성 Supper Efficiency DEA, DEA-BCC, Malmquist 생산성지수

부 록

표 1. 2012년 투입변수 및 산출변수

Terminal	Berth Length(m)	Yard Area (m ²)	No. of QC	No. of TC	Throughput (TEU)
SSICT	3000	1486000	34	108	7550082
SGICT	2600	1418000	26	82	6600326
SPICT	900	278000	11	42	2151300
SIPGZCT	1984	1080200	26	74	5820932
SECT	1437	920000	16	48	3226145
SMCT	2258	1192000	26	87	3411677
Yidong	1641	611000	13	33	2319279
SCT	4090	1000000	33	105	4516595
CCT	3138	1020000	37	108	5061462
YICT	6390	3730000	74	200	10666759
KBCT	1500	804000	15	34	2372698
PNIT	1200	384000	9	28	1220233
PNC	2000	416000	16	52	3280016
HJNC	1100	283000	12	42	2442636
HPNT	1150	246000	11	38	1988675
NBSCT	1258	700000	18	58	3651221
NBCT	900	400000	11	39	2106810
Gangji	1700	900000	20	60	3959185
YDCT	1710	615000	20	50	2402552
CMICT	1500	800000	14	39	1920547
QQCT	6563	4620000	74	193	13961157
GOCT	2100	2030000	30	64	4230572
GNICT	1820	1080000	25	60	5260801
TPCT	2300	1800000	23	58	2613755
FICT	1202	350000	12	31	2180188
TCT	1223	530000	14	38	2170168
TACT	1100	562000	11	33	2330081
TOCT	1138	450000	10	21	1250955
DCT	1846	585000	14	41	2736422
Guojingangwu	3036	1348000	26	60	3314192

출처: Chinese and Korean Ports' & Terminals' Official web site; 한국항만물류협회, 2012년 항만물류장비현황; China Port Association(2013), "The Statistics of Chinese main port container terminal throughput in December 2012," *China Ports*, Vol.269 No.1, 44-45¹⁾

1) Ningbo, Tianjin, Shanghai, Shenzhen은 2013년-2014년 사이에 직접 방문하여 자료 정확성 확보함; YICT의 안벽길이는 7,885m(2014년 기준)로 공식발표 되어있지만 실제 확인을 거쳐 안벽이 아닌 부분을 제외함; HPNT는 ODCY 30,000m² 추가함; 칭다오항은 물동량집계기준 원인으로 QQCT와 QQCTU 터미널을 하나로 통합하여 정리함; 광저우항 GNICT터미널은 바지선에서 처리되는 물동량이

표 2. 2013년 투입변수 및 산출변수

Terminal	Berth Length(m)	Yard Area (m ²)	No. of QC	No. of TC	Throughput (TEU)
SSICT	3000	1486000	34	108	7611422
SGICT	2600	1418000	26	82	6753337
SPICT	900	278000	11	42	2246028
SIPGZCT	1984	1080200	26	74	6054742
SECT	1437	920000	16	48	3286028
SMCT	2258	1192000	26	87	4633547
Yidong	1641	611000	13	33	2560482
SCT	4090	1000000	33	105	4279464
CCT	3138	1020000	37	108	5135732
YICT	6390	3730000	74	200	10796113
KBCT	1500	804000	15	34	1744861
PNIT	1200	384000	11	30	1747306
PNC	2000	416000	19	57	3299457
HJNC	1100	283000	12	42	2375614
HPNT	1150	246000	11	38	2391889
NBSCT	1258	700000	18	58	3806152
NBCT	900	400000	11	39	1877317
Gangji	1700	900000	20	60	4194930
YDCT	1710	615000	20	50	2806407
CMICT	1500	800000	14	39	2065818
QQCT	6563	4620000	74	193	14981634
GOCT	2100	2030000	30	64	4500721
GNICT	1820	1080000	25	60	5731633
TPCT	2300	1800000	23	58	2851317
FICT	1202	350000	12	31	2300922
TCT	1223	530000	14	38	2300754
TACT	1100	562000	11	33	2400387
TOCT	1138	450000	10	21	1351349
DCT	1846	585000	14	41	3477992
Guojigangwu	3036	1348000	26	60	3286326

출처: Chinese and Korean Ports' & Terminals' Official web site; 한국항만물류협회, 2013년 항만물류장비현황; China Port Association(2014), "The Statistics of Chinese main port container terminal throughput in December 2013", *China Ports*, Vol.270 No.1, 33-34.

표 3. 2014년 투입변수 및 산출변수

Terminal	Berth Length(m)	Yard Area (m ²)	No. of QC	No. of TC	Throughput (TEU)
SSICT	3000	1490000	34	105	8100018
SGICT	2600	1418000	30	72	7101700
SPICT	900	278000	11	42	2373619
SIPGZCT	1985	1080200	26	73	6173682
SECT	1437	920000	16	48	3451595
SMCT	2258	1192000	26	87	5164888
Yidong	1641	608000	14	35	2705579
SCT	4090	1000000	33	105	5065753
CCT	3138	1020000	37	108	4769889
YICT	6390	3730000	74	200	11672798
KBCT	1500	804000	15	34	2190665
PNIT	1200	384000	11	30	1712728
PNC	2000	525000	19	61	3895202
HJNC	1100	283000	12	42	2467741
HPNT	1150	246000	12	38	2552383
NBSCT	1258	700000	18	58	3656287
NBCT	900	400000	11	39	2020014
Gangji	1700	911700	20	60	4700419
YDCT	1710	615000	20	50	3214879
CMICT	1500	800000	14	39	2500916
QQCT	6563	4620000	74	193	16624400
GOCT	2100	2030000	30	64	4650736
GNICT	2053	1080000	31	60	6036557
TPCT	2300	1800000	23	58	3009771
FICT	1202	350000	12	31	2569599
TCT	1223	530000	14	38	2410381
TACT	1100	562000	11	33	2610926
TOCT	1138	450000	10	21	1451073
DCT	1846	585000	14	41	3787813
Guojigangwu	3036	1348000	26	60	3746954

출처: Chinese and Korean Ports' & Terminals' Official web site; 한국항만물류협회, 2014년 항만물류장비현황; China Port Association(2015), "The Statistics of Chinese main port container terminal throughput in December 2014," *China Ports*, Vol.271 No.1, 47-48.

표 4. 2015년 투입변수 및 산출변수

Terminal	Berth Length(m)	Yard Area (m ²)	No. of QC	No. of TC	Throughput (TEU)
SSICT	3000	1490000	34	105	8251088
SGICT	2600	1418000	30	72	7156005
SPICT	900	278000	11	42	2508121
SIPGZCT	1985	1080200	26	73	6280525
SECT	1437	920000	17	48	3702350
SMCT	2258	1192000	26	87	5673781
Yidong	1641	608000	14	35	2808462
SCT	4090	1000000	33	105	5189535
CCT	3138	1020000	37	108	4760131
YICT	6390	4170000	81	222	12165687
KBCT	1500	804000	15	34	2018571
PNIT	1200	384000	11	30	2420860
PNC	2000	525000	20	66	4296220
HJNC	1100	283000	12	42	2555966
HPNT	1150	246000	12	38	2320661
NBSCT	1258	700000	18	58	3316347
NBCT	900	400000	11	39	2061167
Gangji	1700	911700	20	60	5000508
YDCT	1710	615000	20	56	3621627
CMICT	1500	800000	14	39	2709827
QQCT	6563	4620000	74	193	17340000
GOCT	2100	2030000	30	64	4486626
GNICT	2053	1080000	31	60	5757635
TPCT	2300	1800000	23	58	3009882
FICT	1202	350000	12	31	2570236
TCT	1223	530000	14	38	2411240
TACT	1100	562000	11	33	2611365
TOCT	1138	450000	10	21	1451065
DCT	1846	585000	14	41	3792156
Guojigangwu	3036	1348000	26	60	3858621

출처: Chinese and Korean Ports' & Terminals' Official web site; 한국항만물류협회, 2015년 항만물류장비현황; China Port Association(2016), "The Statistics of Chinese main port container terminal throughput in December 2015," *China Ports*, Vol.272 No.1, 43-44²⁾

2) 2015년부터 칭다오항은 터미널 물동량을 발표하지 않아 추정치를 사용함.