

환적화물의 컨테이너 터미널 효율성 분석*

박홍균**

The Data Envelopment Analysis of Container Terminals to Transshipment Cargo

Hong-Gyun Park

목 차

- | | |
|----------------|-----------|
| I. 서 론 | III. 실증분석 |
| II. DEA 이론적 모형 | IV. 결 론 |

Key Words: DEA, CCR, BCC, Container Terminals, Transshipment Throughput

Abstract

This paper focuses measuring the efficiency of container yards on container terminals in Busan (Gasungdae, Shinsundae, Gamman, New Gamman, Uam, Gamchon, PNC) and Gwangyang(GICT, KEC, Dongbu, KIT) using Data Envelopment Analysis(DEA) approach. Container terminals in Busan and Gwangyang play an important role in the region's economic development. The results show that Shinsundae was an efficient DMU during the period of 2007 to 2009, while Gamman, New Gamman and PNC were efficient terminals in 2009. The very inefficient terminals were shown to be GICT, KEC, Dongbu and KIT. GICT(2009), KEC(2009), Dongbu(2008-2009), KIT(2009) on Gwangyang Port were found to be relatively the inefficient terminals in terms of the returns to scale. This study also finds that the efficiency of Shinsundae terminal was so high as to be able to keep its efficiency in spite of the additional increase of the inputs from 2007 to 2009. Gamman terminal was in the decreasing returns to scale in 2009, while the other terminals were in the increasing returns to scale. It means that we are able to improve the efficiency of the Gamman terminal with increasing returns to scale through enlarging the scale.

○ 논문접수: 2010.01.31 ○ 심사완료: 2010.03.02 ○ 게재확정: 2010.03.22

* 이 논문은 2006년도 순천대학교 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

** 순천대학교 경영통상학부 교수 박홍균

I. 서론

오늘날 항만의 운영은 국가경제에 큰 영향을 미치므로 동북아의 각 항만들은 경쟁이 심화되어가고 있어 경쟁력 강화를 위하여 효율적인 전략을 추구한다. 항만의 경쟁력은 효율성 측정을 통해 비교 할 수 있으므로 효율성 제고에 관한 연구의 필요성이 제기되며 다양한 방법으로 컨테이너 터미널의 효율성에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 부산항과 광양항의 컨테이너터미널을 대상으로 효율성을 분석하고 비효율적인 문제를 해결하기 위한 정책적 방안을 제시함으로써 환적물동량에 대한 컨테이너 터미널 효율성 증진의 이론적·실증적 근거를 마련하여 정책적 운영방법을 도출하고자 한다. 효율성 분석은 투입요소를 기준으로 하는 투입 기준 효율성(Input-Oriented Measures)과 산출요소를 기준으로 하는 산출 기준 효율성(Output-Oriented Measures)으로 구분된다. 이러한 효율성 분석은 다양한 DEA(Data Envelopment Analysis)기법들을 이용하여 분석하고 있다. DEA 모형은 성과 및 효율성 분석에 매우 유용한 기법으로 알려져 있다. 다수의 투입물과 산출물을 동시에 고려하여 효율성을 분석할 수 있기 때문에 기존의 생산함수접근법에 비하여 유연성이 있다. 이모형은 유용성이 높아 여러 분야에 매우 다양하게 활용되고 있다.

항만의 컨테이너 터미널의 하역장비들은 고가이며 시설에 많은 투자가 요구되며 터미널의 운용방법은 매우 동일한 조건에서 하역서비스가 제공된다. 따라서 각 항만은 시설을 보다 체계적이며 효과적으로 활용하여 환적물동량처리의 효율성을 높여야할 필요성이 있다.

본 연구는 부산항의 자성대, 신전대, 감만, 신감만, 우암, 감천, PNC와 광양항의 컨테이너 터미널 GICT, KEC, 동부, KIT로 부산항과 광양항의 11개 터미널에 대한 효율성을 분석하여 효율적인 터미널과 비효율적인 터미널로 구분하고자 한다.

본 연구는 제1장 서론, 제2장 DEA의 CCR모형, BCC모형, Super 효율성 모형, 동태적, 정태적 모형, 제3장 기존연구의 검토, 터미널의 환적물동량에 대한 효율성 측정에 대한 실증분석과 증대방안 제시하며 제4장 결론으로 구성되었다.

II. DEA 이론적 모형

1. DEA의 개념

DEA는 사용 목적에 따라 여러 가지 모형이 있으며 대표적인 모형은 CCR과 BCC

모형이다. DEA 모형은 평가대상의 경험적인 투입요소와 산출요소의 자료를 이용하여 평가대상의 효율성을 측정하는 비모수적 접근방법이다. 평가대상이 되는 단위를 의사결정단위(Decision Making Units : DMU)라고 부른다. 이들 모형은 동일한 시점에서 여러 DMU의 상대적 효율성을 측정하는 기법이다. CCR 모형은 규모에 대한 보수 불변(Constant Return to Scale) 상태일 경우 사용되는 모형이며 BCC 모형은 규모에 대한 보수 가변(Variable Return to Scale) 상태일 경우 사용된다.

DEA는 모든 DMU의 상대적 효율성을 수치로 제공하여 효율성이 가장 높은 DMU와 비교하여 비효율성의 상대적 정도를 명확히 제시한다. DEA는 다수의 투입요소와 다수의 산출요소를 동시에 고려할 수 있으며 투입과 산출에 대한 함수적 관계의 가정이 필요하지 않다. DMU는 그룹간 상호 비교가 가능하여 투입과 산출요소들이 각각 다른 측정단위를 가질 수 있는 장점이 있으며 효율적 조직으로써 준거집단을 제시함으로써 경영 및 운영측면에서 준거집단 대상과 집단 간의 차이점을 보여준다. 그리고 각 투입 및 산출요소에서 구체적인 비효율의 정도를 제시하여 효율적인 조직이 되기 위해 달성해야 할 목표량으로 투입 감소분과 산출 증가분에 대한 정보를 얻을 수 있다

투입 및 산출요소의 수가 증가하면 의사결정단위의 수가 증가함으로 비효율적인 의사결정단위들의 판별이 어렵다. 따라서 비효율적인 의사결정단위를 판별하기 위한 투입 및 산출 요소의 적정 수에 대해 의사결정단위의 수는 최소한 투입과 산출 요소의 수를 합한 것보다 3배 이상이어야 한다.

DEA 모형은 선형계획법에 근거한 효율성 측정방법이며 다수의 투입물과 다수의 산출물과의 비율모형(CCR Ratio)으로 연장하여 비선형계획모형으로 나타냈다. 다수의 투입요소를 사용하여 다수의 산출물을 생산하는 DMU의 상대적 효율성은 1978년에 Charnes et., al.¹⁾에 의하여 제시되었다.

이들은 M개의 투입요소 $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T > 0$ 을 사용하여 S개의 산출물 $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T > 0$ 을 생산하는 N개 DMU의 투입·산출자료로부터 DMU의 효율성을 측정하는 수리계획모형이다. DEA 모형은 투입요소와 산출요소 어느 것을 선택하느냐에 따라서 투입지향(input oriented)과 산출지향(output oriented)으로 구별된다. 투입 지향식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & w_k \equiv \mu^T y_k \\ \text{Subject to} \quad & v^T x_k = 1 \cdot \cdot \cdot \cdot [\theta] \end{aligned}$$

1) A. Charnes, W. W. Cooper, and E. L. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2, 1978 , pp.429-444.

$$\begin{aligned}
 v^T x_k &\leq 0 \cdot \cdot \cdot \cdot [\lambda] \\
 -\mu^T &\leq -\epsilon^T \cdot \cdot \cdot \cdot [s^+] \\
 -\mu^T &\leq -\epsilon^T \cdot \cdot \cdot \cdot [s]
 \end{aligned}$$

위 모형의 승수모형으로서 선형계획모형이다.

$$\begin{aligned}
 \text{Minimize} \quad & z_k \equiv \theta - \epsilon^T s^+ - \epsilon^T s \\
 \text{Subject to} \quad & \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j - s^+ = y_k \cdot \cdot \cdot \cdot [\mu] \\
 & \theta x_k - \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j - s = 0 \cdot \cdot \cdot \cdot [v] \\
 & \lambda_j (j = 1, \cdot \cdot \cdot, n), s^+, s \geq 0
 \end{aligned}$$

위의 모형이 포락모형으로 불리는 선형계획모형이다. 일반적으로 가장 많이 활용되는 모형은 Charners, Cooper & Rhodes(1978)²⁾의 CCR모형과 Banker, Charnes & Cooper(1984)³⁾의 BCC모형이다.

2. CCR, BCC, 초효율성 모형

DEA 모형의 기본모형으로 CCR 모든 의사결정 단위들의 각각의 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중 합계의 비율이 1을 초과 할 수 없다. 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 단순한 제약조건하에 평가의 대상이 되는 의사결정단위의 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중합계의 비율을 최대화시키고자 하는 선형분수계획모형(Fractional Linear Programming Model)이다. CCR모형은⁴⁾ 투입량의 가중 합계인 가상 투입량(Virtual Input)의 최소화 또는 산출량의 가중합계인 가상 산출량(virtual output)의 최대화 형태의 선형계획모형으로 재구조화되어 분석된다. 규모에 대한 보수불변이라는 전제에서 모형이 도출되어 규모의 효율성과 순수한 기술적 효율성을 구분하지 못하

2) A. Charnes, W. W. Cooper, and E. L. Rhodes, *op cit.*, pp.429-444.
 3) R. D. Banker, A. Charnes, and W. W. Cooper, "Some Models Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science* 30, 1984, pp.1078-1092.
 4) A. Charnes, W. W. Cooper and E. Rhodes, *ibid.*, pp.429-444.

는 한계를 가지고 있다. 다음은 CCR 모형공식이다.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & E_{jo} = \sum_{r=1}^S u_r y_{rjo} \\ \text{Subject to} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{ijo} = 1 \\ & \sum_{r=1}^S u_r y_{ri} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, j_0, \dots, n \\ & u_r \geq \epsilon > 0, \quad r = 1, \dots, s, \\ & v_i \geq \epsilon > 0, \quad i = 1, \dots, m, \end{aligned}$$

BCC 모형은 CCR모형에서 가정하는 규모의 수익불변을 완화하여 규모에 대한 보수 가변이라는 가정을 적용하므로 볼록성 필요조건을 추가하였다.

다음 BCC모형에서 투입 기준 효율성 모형이다.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & h_0 = \sum_{r=1}^S u_r y_{ro} - \theta_0 \\ \text{Subject to} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \\ & \sum_{r=1}^S u_r y_{ri} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \theta_0 \leq 0 \\ & (\text{모든 } r \text{ \& } i \text{에 대해 } u_r, v_i \geq 0, j = 1, \dots, 0, \dots, z) \end{aligned}$$

산출 기준 효율성모형은

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & h_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} - \theta_0 \\ \text{Subject to} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \\ & - \sum_{r=1}^S u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \theta_0 \geq 0 \\ & (\text{모든 } r \text{ \% } i \text{에 대해 } u_r, v_i \geq 0, j = 1, \dots, 0, \dots, z) \end{aligned}$$

초 효율성모형(Super Efficiency)⁵⁾은 효율적인 DMU를 보다 세부적으로 구분하기 위한 방법으로 제시되었다. 초효율성은 비효율적인 DMU이나 효율적인 DMU 사이에서 측정할 수 있다. 일반적으로 비효율적인 DMU의 경우에는 효율성 측정값은 일반적인 DEA 분석방법 결과와 동일한 수치를 보이며 변화가 없다. 그러나 1 이상의 값을 가진 효율적인 DMU들은 1보다 더 높은 수치를 보이게 된다. 따라서 초효율성의 값이 커지면 커질수록 효율적인 DMU들 사이에서의 순위는 높아지게 된다. 초효율성모형은 비효율적이 되지 않으면서 투입물을 어느 정도로 증대시키는 방법으로 관측치를 효율적인 상태로 유지하기 위한 투입물 또는 산출물에서 극대방사변화를 검토하는 모형이다. 따라서 초효율성은 최고참조기술(The Best-Practice Reference Technology)로 부터 생산단위를 제거하지 않으면서 측정할 수 있다.⁶⁾

3. DEA의 Window 모형

DEA의 CCR, BCC는 횡단면 분석을 사용하여 효율성을 평가하고 있다. CCR, BCC모형은 DMU의 상대적 효율성 여부를 판단할 뿐 시점의 변화에 따른 효율성의 변화를 측정할 수 없다. 따라서 기간의 변화에 따른 효율성의 변화를 측정하기 위하여 동태적 분석방법으로 DEA/Window 분석법을 이용한다.

<표 1> DEA의 Window의 특성

윈도우의 수	분석기간-윈도우 폭+1
각 윈도우에 대한 DMU의 수	DMU의 수×윈도우 폭
전체 DMU의 수	DMU의 수×윈도우 폭×윈도우 수
윈도우 폭	분석기간(k)이 짝수인 경우: $\frac{k+1}{2}$ 분석기간(k)이 홀수인 경우: $\frac{k+1}{2} \pm \frac{1}{2}$

동태적 분석으로 DEA/Window기법을 이용하여 이동평균법의 원리로 DEA 분석을 수행함으로써 동일 DMU는 각 기간에 따라 서로 다른 DMU로 분석되기 때문에 투입물과 산출물의 수에 비해 DMU의 수가 부족할 때 유용하며 안정성과 기간을 분석 할 수

5) L. M. Seiford and J. Zhu., "Infeasibility of Super-Efficiency Data Envelopment Analysis Models", *INFOR*, Vol.37 N0.2, 1999, pp.175-176.

6) Holvad, T., "An Analysis of Efficiency Patterns for A Sample of Norwegian Bus Companies", *Mimeo*, 2001, p.282. (<http://www.trg.dk/td/papers/apers01/K01-tra/Holvad1606.pdf>).

있다. 여기에서 “행”은 윈도우(동태적인 변화를 관찰하는 기간) 내에서 다른 기간의 DMU 점수가 어떻게 변화했는지 보여주므로 전체적 추이를 분석 하고 “열”은 각 윈도우의 효율성 변동 폭으로 안정성을 분석 할 수 있다.

Ⅲ. 실증분석

1. 기존연구 검토

항만 효율성 분석에 관련하여 국내외 논문들이 활발하게 발표되고 있다. 기존연구를 검토하여 보면 각 연구의 변수선택이 대부분의 유사하며 다양한 DEA 모형을 적용하여 항만의 효율성을 분석하고 있으며 각 연구에 사용된 투입요소와 산출요소는 연구자에 따라 상이하다. 항만관련 효율성을 DEA기법으로 측정한 연구로는 Roll and Hyuth(1993)⁷⁾, Thanassoulis(1999)⁸⁾, Tongzon(2005)⁹⁾, Cullinane(2002)¹⁰⁾, Barros(2004)¹¹⁾, Wang et. al.(2006)¹²⁾, Cullinane et. al.(2006)¹³⁾ 류동근(2005)¹⁴⁾, 박병인(2005)¹⁵⁾모수원(2008)¹⁶⁾ 나호수(2008)¹⁷⁾ 등이 있다.

-
- 7) Roll, Y. and Hayuth, T. "Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis(DEA)", *Maritime Policy and Management*, Vol.20, No.2, 1993, pp.153-161.
 - 8) Thanassoulis, E., "Data envelopment analysis and its use in banking", *Interface*, Vol. 29 No. 3, 1999, pp. 1-13.
 - 9) Tongzon, J., Key Success Factors for Transshipment Hubs: The Case of The Port of Singapore, in *World Shipping and Port Development*, edited by T.-W. Lee and K.P.B. Cullinane, 2005, pp.162-180, (Palgrave-Macmillan: Basingstoke)
 - 10) Cullinane, K., "The Productivity and Efficiency of Ports and Terminals : Methods and Applications", *The Handbook of Maritime Economics and Business, London*. LLP, 2002, pp.803-831.
 - 11) Barros, C.P. and Athanassiou, M., "Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal", *Econ. Logistics*, 2004, 6, pp.122-140.
 - 12) Wang, "The Efficiency of European Container Ports: a Cross-Sectional Data Envelopment Analysis", *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 9, No. 1, March 2006, pp.19-31.
 - 13) Cullinane, K.P.B., Song, D.-W. and Wang, T., A Comparison of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency. *J. Prod Anal.*, 2006, 24, pp.73-92.
 - 14) 류동근, "국내 컨테이너 전용 터미널의 효율성 비교 : DEA접근", 「해운물류연구」, 제 47호, 2005, pp. 21-38.
 - 15) 박병인, "DEA 및 시뮬레이션에 의한 컨테이너터미널의 효율성 평가에 관한연구", 「경영과학」, 제19권제2호, 한국경영과학회, 2001.3, pp77-97.
 - 16) 모수원, "국내항만의 효율성결정요소", 「한국항만경제학회지」, 제24권 제4호, 2008, pp349-361.

2. 분석자료와 변수선정

DEA 모형을 분석에 적용하는데 중요한 문제는 투입변수와 산출변수의 선정이다. 효율성 측정결과가 투입변수와 산출변수의 선택에 따라 전체적으로 크게 상이 할 수 있다. DEA 모형에서 변수의 선정에 대한 타당성 검증은 연구자의 자의적 판단에 따른다.

기존의 많은 선행 연구에서 항만의 선택 및 항만의 효율성과 관련된 선정변수를 종합적으로 검토한 결과에 따르면 투입요소로는 항만시설(선석 수, 선석 길이, 항만총면적 등), 하역장비(안벽 크레인 수, 야드 크레인 수), 항만서비스수준, 항만입지, 물동량구성, 항만비용, 항만운영형태, 항만관리주체, 감가상각비, 노동비용, 기타비용, 항만시설임대수입, 예인선 척수, 선박대기시간, 종업원수, 자산장부가치, 시장점유율, 기항 선박척수, 항만수입, 이용자만족점수를 이용하고 있다. 산출물 변수로서는 화물물동량, 정기선사 취항선사 수 등을 이용 할 수 있다.

DMU가 유사성과 동질성이 클수록 상대적 효율성 측정이 유효하다. 본 연구의 DMU 단위는 부산항의 자성대, 신선대, 감만, 신감만, 우암, 감천, PNC와 광양항의 컨테이너 터미널 GICT, KEC, 동부, KIT등으로 11개의 컨테이너 터미널이다. 컨테이너 터미널에서 컨테이너 야드의 작업은 동질성이 매우 높아 규격화된 유형의 컨테이너를 동일한 장비를 이용하여 하역작업을 진행하므로 유사성이 매우 높다. 따라서 효율성 비교 대상으로 매우 적합하다. 11개의 터미널은 유사한 컨테이너 터미널 시설, 하역장비, 종업원의 기술과 능력, 하역시스템, 동일한 하역조건 등을 사용하여 컨테이너화물 하역서비스를 제공하고 있다. 본 연구에서는 컨테이너터미널의 특성을 고려하여 환적화물에 대한 컨테이너 터미널의 효율성을 평가하는 것이다.

선행연구는 컨테이너터미널의 효율성에 관한 연구는 진행되었으나 컨테이너터미널에서 환적화물을 산출요소로 효율성 측정에 관한 연구는 진행된 바가 없다. 그리고 기존연구는 환적화물 하역서비스에서 존재하는 개별 컨테이너 터미널의 효율성 및 생산성에 대한 상세한 정보를 제공하지 못하고 있다. 따라서 환적화물처리에 따른 컨테이너터미널의 생산성 향상을 위한 전략 수립에 필요한 정보를 제공하지 못하는 단점이 있다. 본 연구에서 이러한 선행연구의 한계를 고려하였다. 기존의 DEA모형을 적용한 연구자는 산출요소로서 물동량을 대표적인 변수로 사용하고 있다. 그러나 본 연구는 컨테이너 터미널의 효율성 측정을 위한 산출요소로서 연간 컨테이너 환적화물량으로 처리실적(TEU)을 사용하였다. 투입요소는 모두 4가지 변수인 $CY(m^3)$, 켄트릭크레인(C/C)대수, 트랜스퍼크레인(T/C)대수, 야드트랙터(Y/T)대수를 이용하였다. 우리나라의 부산항과 광양항에서 운영되고 있는 컨테이너 터미널의 환적화물처리에 따른 효율성을 비교 분석함으로써 컨테이너터미널의

17) 나호수, 이우, 이경수, “한국5대 항만의 효율성에 대한 비교연구”, 「한국항만경제학회지」, 제24권 제4호, 2008, pp.25-46.

성과와 효율성 수준을 파악하고 준거 컨테이너터미널의 대상을 파악하고자 한다.

<표 2> DEA 분석에 사용된 변수

투입변수	산출변수
CY(m ³), 켄트릭라인(C/C)대수, 트렌스퍼크라인(T/C)대수, 야드트랙터대수(Y/T)	총 환적처리량

<표 3> DEA모형을 이용한 터미널 효율성 분석 결과

번호	DMU	연도	CCR	BCC	준거집단	규모효율성	규모수익
1	GICT	2007	0.1897	1	7(0.06)	0.1897	IRS
		2008	0.1511	1	7(0.05)	0.1511	IRS
		2009	0.0129	1	6(0.00)	0.0129	IRS
2	KEC	2007	0.4768	1	6(0.13)	0.4768	IRS
		2008	0.6682	1	6(0.19)	0.6682	IRS
		2009	0.0178	0.6562	6(0.01)	0.0272	IRS
3	동부	2007	0.1385	1	7(0.02)	0.1385	IRS
		2008	0.0318	0.8333	7(0.01)	0.0382	IRS
		2009	0.0028	1	6(0.00)	0.0028	IRS
4	KIT	2007	0.2012	1	7(0.02)	0.2012	IRS
		2008	0.1742	1	7(0.02)	0.1742	IRS
		2009	0.0067	1	11(0.00)	0.0067	IRS
5	자성대	2007	0.7983	0.8380	6(0.11),7(0.60)	0.9526	IRS
		2008	0.8489	0.8828	7(0.71)	0.9615	IRS
		2009	0.0686	0.3571	6(0.03) 8(0.07)	0.1922	IRS
6	신선대	2007	1	1	3	1	CRS
		2008	1	1	2	1	CRS
		2009	1	1	7	1	CRS
7	감만	2007	1	1	8	1	CRS
		2008	1	1	8	1	CRS
		2009	0.9029	1	6(0.02) 8(1.89)	0.9029	DRS
8	신감만	2007	0.8118	1	6(0.03) 7(0.30)	0.8118	IRS
		2008	0.9106	1	6(0.03) 7(0.35)	0.9106	IRS
		2009	1	1	4	1	IRS
9	우암	2007	0.5836	1	7(0.17)	0.5836	IRS
		2008	0.6837	1	7(0.20)	0.6837	IRS
		2009	0.7048	1	6(0.11) 8(0.22)	0.7048	IRS
10	감천	2007	0.6671	1	7(0.18)	0.6671	IRS
		2008	0.6465	1	7(0.18)	0.6465	IRS
		2009	0.1118	1	6(0.00) 8(0.27)	0.1118	IRS
11	PNC	2007	0.1623	0.2797	7(0.19)	0.5802	IRS
		2008	0.4722	0.5177	7(0.54)	0.9122	IRS
		2009	1	1	1	1	CRS

본 연구에서는 연구결과의 신뢰성을 높이기 위해 한국컨테이너부두공단에서 공식적으로 발표하는 2007년, 2008년, 2009년 비교 대상 컨테이너 터미널의 항만통계 자료를 활용하였다. 다음으로 연구의 방법은 4개의 투입요소와 1개의 산출요소를 이용한 실증분석을 하기 위해서 사용한 통계소프트웨어는 Scheel(2000)의 EMS(Efficiency Measurement System)와 DEA SOLVER vers1.0을 사용하였다.

3. 정태적 분석과 동태적 분석

1) 컨테이너터미널 분석 결과

부산항과 광양항의 컨테이너터미널을 CCR 모형과 BCC 모형을 이용하여 효율성을 측정하고 결과 규모에 대한 수익이 불변터미널과 규모의 경제를 이룰 수 있는 터미널을 나타내 주고 있다. 따라서 <표3>은 컨테이너 터미널에서 CCR과 BCC모형의 효율성이 100%로 나타난 가장 효율적인 터미널은 신선대이며 2007년, 2008년, 2009년에 3년동안 계속적으로 가장 효율성이 높은 터미널이다. 감만은 2007년, 2008년에 효율성이 높았다. 신감만과 PNC는 2009년에 가장 효율성이 높았다.

규모효율성은 CCR 모형으로 평가된 효율성을 BCC모형으로 평가된 효율성으로 나눈 비율로 측정 되었다. 이 값이 1에 근접할수록 최적 규모에 가까운 것으로 해석할 수 있다. 규모수익불변(CRS)인 터미널은 신선대(2007년, 2008년, 2009년), 감만(2007년, 2008년), PNC(2009년)터미널로 3개의 터미널이 차지하고 있다. 한 터미널 시설 요소의 투입량을 고정시키고 다른 터미널 요소의 투입을 늘렸을 때 환적물동량이 체감하는 규모수익체감(DRS)인 터미널은 감만(2009년)터미널 뿐이다. 규모수익체증(IRS)터미널은 <표3>에서 GICT, KEC, 동부, KIT, 자성대, 신감만, 우암, 감천, PNC(2007년, 2008년)로 보여주고 있다.

CCR 분석에서 자성대(2008년), 감만(2009년), 신감만(2007년, 2008년)터미널은 효율성이 0.8 이상으로 비교적 높게 나타났다. 반면에, GICT(2009년), KEC(2009년), 동부(2008년,2009년), KIT(2009년)터미널은 효율성이 0.1에도 미치지 못해 낮은 효율성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 모두 광양항에 있는 터미널이다.

BCC 모형의 효율성에서는 GICT(2007년, 2008년, 2009) KEC(2007년, 2008년), 동부(2007년), KIT(2007년, 2008년, 2009년), 신선대, 감만, 신감만, 우암, 감천(2007년, 2008년, 2009년), PNC(2009년)터미널이 효율성이 1로 나타나 상대적으로 효율적인 것으로 나타났다. 반면에 KEC(2009년), 동부(2008년), 자성대(2007년, 2008년, 2009년), PNC(2007년, 2008년) 터미널은 1에 미치지 못하는 효율성을 나타냈다.

결국은 신선대, 감만(2007년, 2008년), 신감만(2009년), PNC(2009년)터미널이 규모의 효율성이 1로 나타나 효율적인 것으로 나타났다. 감만터미널(2009년)이 규모수익체감(DRS)인 것으로 나타났으며, 나머지 터미널은 규모수익체증인 것으로 나타났다. 규모 체감인 항만은 운영상의 효율성

을 위한 전략이 필요하며, 규모수익체증인 항만은 규모확대를 통한 효율성 전략을 수립하는 것이 요구된다.

<표 4> CCR 모형 분석에서 과다투입량

CCR(2007)						
NO	DMU	Excess	Excess	Excess	Excess	Shortage
		C/Y	C/C	T/C	Y/T	환적량
1	GICT	73630.38244	0	0.189769027	1.897690269	0
2	KEC	264151.3933	2.27973619	0	3.23351329	0
3	Dongbu	24800.59845	0.460083871	1.038899064	0	0
4	KIT	0	1.321645739	2.211308289	4.22135985	0
5	자성대	94633.19671	0.532245201	0	0	0
6	신선대	0	0	0	0	0
7	감만	0	0	0	0	0
8	신감만	0	0.635362244	0	1.126032515	0
9	우암	35021.03823	0.416917122	0.583683971	0	0
10	감천	9672.422598	0.59563342	0.333554715	0	0
11	PNC	0	0.139121355	5.193863925	13.30927631	0
CCR(2008)						
1	GICT	58641.97807	0	0.201518825	0.302278237	0
2	KEC	370186.1675	3.194860313	0	10.54512718	0
3	Dongbu	3780.726213	0.020047019	0.010220049	0	0
4	KIT	0	1.144486406	1.931544494	4.751135748	0
5	자성대	152744.1003	1.194787117	1.341515359	0	0
6	신선대	0	0	0	0	0
7	감만	0	0	0	0	0
8	신감만	0	0.610652949	0	1.719097824	0
9	우암	38596.04892	0.379882371	0.582486303	0	0
10	감천	6202.377334	0.478948057	0.231491561	0	0
11	PNC	0	0.404817143	1.012042858	10.59271525	0
CCR(2009)						
1	GICT	58641.97807	0.008211088	0.034815015	0	0
2	KEC	370186.1675	0.034439822	0.054378667	0	0
3	Dongbu	0	0.010596045	0	0.007697982	0
4	KIT	0	0.040013451	0.042737434	0.095598562	0
5	자성대	152744.1003	0	0.275097726	0.79503072	0
6	신선대	0	0	0	0	0
7	감만	0	0	5.125281	6.151911441	0
8	신감만	0	0	0	0	0
9	우암	38596.04892	0.275835595	1.775375018	0	0
10	감천	6202.377334	0.059894802	0.140161043	0	0
11	PNC	0	0	0	0	0

2) 투입요소 분석

CCR 모형 분석에서 <표4>는 투입량의 결과로서 각 투입요소에 대한 CCR 모형을 이용하여 계산된 과다투입량을 보여준다. C/Y 면적은 2007년부터 2009년까지 GICT,

KEC, 동부, 2007년부터 2008년까지 자성대, 우암, 감천이 면적비하여 환적물동량이 부족하다. 따라서 C/Y의 면적이 과다한 것으로 나타났다. C/C의 대수는 GICT(2009년), KEC(2007년, 2008년, 2009년), 동부(2007년,2008년,2009년), KIT(2007년,2008년,2009년), 자성대(2007년, 2008년), 신감만(2007년, 2008년), 우암(2007년,2008년,2009년), 감천(2007년, 2008년, 2009년), PNC(2007년, 2008년)가 과다 투입을 보여주고 있다.

<표 5> BCC 모형 분석에서 과다투입량

BCC(2007)						
NO	DMU	Excess C/Y	Excess C/C	Excess T/C	Excess Y/T	Shortage 환적량
1	GICT	394996.05	0	2.99997	14.99985	169442.4079
2	KEC	0	0	0	0	0
3	Dongbu	0	0	0	0	0
4	KIT	0	0.225988358	0	0	0
5	자성대	86502.69619	0	0	0	0
6	신선대	0	0	0	0	0
7	감만	0	0	0	0	0
8	신감만	0	0	0	0	0
9	우암	5.351122146	0	0	0	0
10	감천	0	0	0	0	0
11	PNC	1605.349161	0	10.27224018	26.5756491	0
BCC(2008)						
1	GICT	394996.05	0	2.99997	5.99994	16507.7328
2	KEC	0	0	0	0	0
3	Dongbu	68699.313	0	0	0.66666	224380.6154
4	KIT	0	0	0	0	0
5	자성대	157135.7791	1.087194033	1.964556414	0	0
6	신선대	0	0	0	0	0
7	감만	0	0	0	0	0
8	신감만	0	0	0	0	0
9	우암	0	0	0	0	0
10	감천	0	0	0	0	0
11	PNC	0	0	1.663192278	10.82735796	0
BCC(2009)						
1	GICT	394996.05	0	0	0	522164.8499
2	KEC	349080.2592	0	0.2499975	0	285823.6096
3	Dongbu	0	0	0	0	0
4	KIT	0	0	0	0	0
5	자성대	16285.55143	0	0	2.571402857	2709564.181
6	신선대	0	0	0	0	0
7	감만	0	0	0	0	0
8	신감만	0	0	0	0	0
9	우암	0	0	0	0	0
10	감천	0	0	0	0	0
11	PNC	0	0	0	0	0

T/C의 대수는 GICT(2007년, 2008년), KEC(2009년), 동부(2007년, 2008년), KIT(2007년, 2008년), 자성대(2008년, 2009년), 우암(2007년, 2009년), 감천(2007년, 2008년, 2009년), PNC(2007년, 2008년)이며 투입과다를 보이고 있다. Y/T의 대수는 GICT와 KEC(2007년, 2008년), KIT(2007년, 2009년), 감만(2009년), 신감만(2007년, 2008년)로 환적물동량에 비해 다소 과다하게 투입 된 것 이다.

BCC 모형에서 <표5>는 과다투입량을 분석한 결과를 나타내 준다. C/Y의 면적은 GICT(2007년, 2008년, 2009년), KEC(2009년), 자성대(2007년, 2008년, 2009년)에 과다 투입되었고 C/C의 대수는 자성대(2007년, 2008년), T/C의 대수는 GICT(2007년, 2008년), KEC(2009년), 자성대(2008년), PNC(2008년)에 과다하게 투입된 것으로 나타났다. Y/T의 대수는 GICT(2007년, 2008년), 동부(2008년), 자성대(2008년), PNC(2007년, 2008년)가 각각 년도별 과다투입을 보여주고 있다.

GICT(2007년, 2008년, 2009년), KEC(2009년), 동부(2008년), 자성대(2009년)는 투입요소에 비하여 산출요소인 환적물동량이 부족하다. 광양항의 터미널의 경우에는 북중국의 항만이 지속적으로 개발되어 북중국으로 주요선사의 직기항이 증가함으로 환적물동량이 감소한 것으로 판단된다. 따라서 이에 관한 세부적인 항만운용이 요구된다.

3) 초효율성

본 연구는 초효율성 검증을 통해 CCR모형이나 BCC모형을 적용할 경우 효율적인 DMU들 사이의 순위를 제시하고자 하는데, 이 경우 DMU의 효율성 값이 1 이상의 값을 가질 경우 더 효율적임을 나타낸다.

<표 6> 연도별 초효율성

DMU	2007	2008	2009
GICT	0.189769027	0.151139119	0.01297352
KEC	0.476807569	0.668206079	0.017899645
Dongbu	0.138519875	0.031839383	0.002898064
KIT	0.202156727	0.174279371	0.006770287
자성대	0.798367801	0.848927688	0.068646201
신선대	1.091880637	1.242368499	1.554463621
감만부두	1.404443605	1.212141169	0.902940027
신감만부두	0.811836267	0.910694146	1.78210309
우암부두	0.583683971	0.683788268	0.704874368
감천	0.162308248	0.646579876	0.111835042
PNC	0.162308248	0.472286667	1.072008557

연도별 초효율성이 어떻게 변화하였는가를 <표6>에서 보여주고 있다. 신선대 터미널

은 2007년부터 2009년까지 현재의 투입요소의 조합을 최소 1.5배 이상 늘려도 100%의 효율성을 유지할 수 있는 것으로 나타났다. GICT, 동부, KIT, 자성대, 감만터미널, 감천터미널은 2008년과 2009년에 초효율성의 값이 지속적으로 작아지고 있음을 알 수 있다. 이것은 효율성을 100% 유지하기 위해서 투입요소를 거의 늘일 여유가 없게 된 것을 의미한다.

4) 동태적 효율성 분석

GICT, KEC, 동부, KIT, 자성대, 신선대, 감만, 신감만, 우암, 감천, PNC등 11개 터미널의 환적화물에 대한 컨테이너터미널의 동태적 효율성을 분석하기 위하여 DEA/Window 모형으로 CCR 효율성을 측정하였는데, 전체 기간은 2007년에서 2009년까지 3년이며, 윈도우 폭은 3으로 설정하였고, 윈도우의 수는 3개이다. 그 분석결과가 <표7>에 제시되어 있다.

<표 7> CCR 효율성 창 분석결과¹⁸⁾

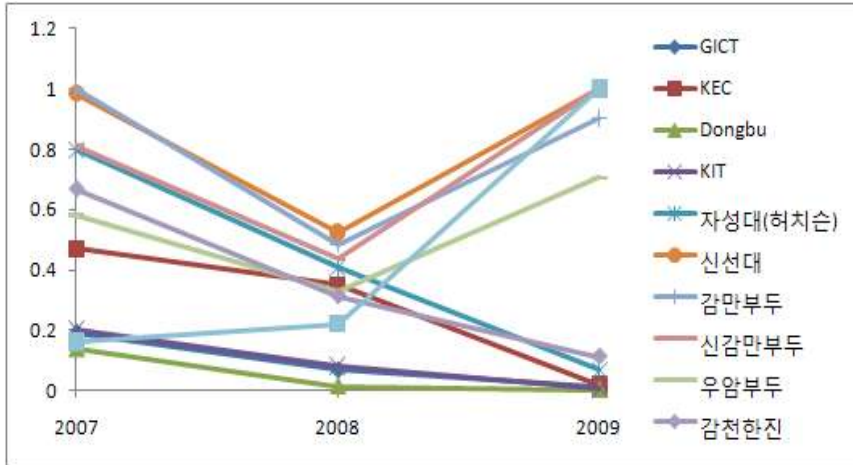
DMU	평균	표준편차	LDP
GICT	0.08546475	0.090036383	0.182176
KEC	0.29718632	0.3243362	0.650306
Dongbu	0.04293395	0.064938338	0.136935
KIT	0.09264246	0.098891794	0.194486
자성대	0.41947832	0.41832524	0.750659
신선대	0.75865527	0.473338729	0.951283
감만부두	0.71834945	0.435975348	0.931984
신감만부두	0.67116525	0.419139138	0.943643
우암부두	0.48590506	0.302957017	0.666891
감천	0.35091825	0.319968773	0.625881
PNC	0.40119542	0.429113925	0.968516

먼저 표준편차를 살펴보면 표준편차의 값이 적을수록 각 윈도우의 효율성이 안정적임을 알 수 있다. 분석결과 표준편차가 0.064로 가장 작은 값을 나타낸 동부터미널이 가장 안정적이며, 반면에 0.4733으로 가장 큰 값을 나타낸 신선대가 각 윈도우의 효율

18) 각 터미널의 윈도우별 3년간 효율성을 평균한 것. LDP(Largest Difference Between Scores Across the Entire Period)는 전체 분석기간 중 효율성 값의 최대값과 최소값의 차이

성이 가장 불안정적인 것으로 나타났다.

<그림 1> 각 터미널별의 연도별 동태적 효율성 변화추이



LDY 값은 분석연도가 짧아 의미가 없으며 LDP로 보았을 때 동부터미널이 최근 3년간 효율성의 변화가 가장 작았고 PNC의 경우가 효율성의 변화가 가장 큰 것으로 나타났다.

연도별 동태적 효율성 변화추이를 살펴보면 <그림1>에서 자성대는 계속 상승하고 있으며 GICT, KEC, KIT 동부, 감천은 계속 하향세를 보이고 있다. 우암부두, 신감만부두, 신선대는 하락하다 2008년도에 상승하는 모습이며, 동부, 감천은 연평균 효율성이 0.26으로 가장 저조한 모습을 보여주고 있다.

IV. 결 론

본 연구는 다수의 투입 및 산출 변수를 통해 상대적인 효율성을 파악할 수 있는 DEA 모형 중에서 CCR 모형과 BCC 모형을 이용하여 부산과 광양항의 GICT, KEC, 동부, KIT, 자성대, 신선대, 감만, 신감만, 우암, 감천, PNC터미널의 각11개의 컨테이너 터미널의 효율성을 비교·분석하였으며 이미 분석된 CCR 모형으로 평가된 효율성을 BCC 모형으로 평가된 효율성으로 나눈 비율로 규모의 효율성을 분석하였다.

DEA 모형으로 분석한 결과는 신선대(2007년, 2008년, 2009년), 감만(2007년, 2008년), 신감만(2009년), PNC(2009년)는 규모의 효율성이 1로 나타나 효율적인 것으로 나타났다. 반면에 광양항에서 운영되고 있는 터미널로 GICT(2009년), KEC(2009년), 동부(2008

년, 2009년), KIT(2009년)터미널은 효율성이 0.1에도 미치지 못해 매우 낮은 효율성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 광양항의 발전에 비하여 북중국의 항만이 지속적으로 개발되어 북중국으로 주요선사의 직기항이 증가함으로 인해 광양항의 환적물동량이 감소한 것으로 판단된다. 선사는 환적항을 이용하는데 컨테이너처리비용이 중요시되는 요인이므로 효율적인 컨테이너터미널에서 컨테이너야드 운용이 필요하다고 할 수 있다.

규모수익체감(DRS)인 터미널은 감만(2009년)인 것으로 나타났으며, 나머지 터미널은 규모수익체증인 것으로 나타났다. 규모 체감인 터미널은 운영상의 효율성을 위한 전략이 필요하며, 규모수익체증인 터미널은 규모 확대를 통한 효율성 전략을 수립하는 것이 요구된다.

초효율성 분석에서 신선대 터미널은 현재의 투입요소의 조합을 최소 1.5배 이상 늘려도 100%의 효율성을 유지할 수 있는 것으로 나타났다.

연도별 동태적 효율성 변화추이를 보면 자성대는 계속 상승하고 있으며 GICT, KEC, KIT 동부, 감천은 계속 하락추세를 보이고 있다. 우암부두, 신감만부두, 신선대는 하락에서 2008년도에 상승하는 모습이며, 동부, 감천은 연평균 효율성이 0.26으로 가장 저조한 모습을 보여주고 있다.

본 연구의 한계점은 첫째, 다양한 투입요소와 산출요소를 제시하여 여러 가지 모형에 대한 실증분석을 할 수 없었다. 둘째, 컨테이너 야드에서 부산항은 컨테이너를 5단 적재, 광양항은 4단 적재하고 있으므로 총면적을 변수로 선정하는 것 보다 야드의 능력(Capability)을 변수로 선정하는 것이 효율성의 정확한 측정이 될 것 이다.

참 고 문 헌

1. 나호수 · 이우 · 이경수, “한국5대 항만의 효율성에 대한 비교연구”, 「한국항만경제학회지」, 제24권 제4호, 2008, pp.25-46.
2. 이장원 · 김형기 · 김성호, “한 · 중 · 일 3국의 항만 경쟁력 비교 연구”, 「국제지역연구」, 제11권 제4호, 2008, pp.347-360.
3. 박병인, “DEA 및 시뮬레이션에 의한 컨테이너터미널의 효율성 평가에 관한연구”, 「경영과학 제 19권제2호」, 한국경영과학회, 2001.3, pp.77-97.
4. 모수원, “국내항만의 효율성결정요소”, 「한국항만경제학회지」, 제24권 제4호, 2008, pp.349-361.
5. 류동근, “국내 컨테이너 전용 터미널의 효율성 비교 : DEA접근”, 「해운물류연구」, 제 47호, 2005, pp.21-38.
6. A. Charnes, W. W. Cooper, and E. L. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2, 1978 , pp.429-444.
7. Athanasios Ballis, John Golias., “Comparative Evaluation of Existing and Innovative Rail-Road Freight Transport Terminals” *Transportation Research Part A* 36., 2002, pp.593-611.
8. Barros, C.P. and Athanassiou, M., “Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal”, *Econ. Logistics*, 2004, 6, pp.122-140.
9. Cullinane, K., “The Productivity and Efficiency of Ports and Terminals : Methods and Applications”, *The Handbook of Maritime Economics and Business*, London: LLP, 2002, pp.803-831.
10. Cullinane, K.P.B., Song, D.-W. and Wang, T., “A Comparison of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency”, *J. Prod. Anal*, 2006, 24, pp.73-92.
11. Cullinane, K.P.B., and Wang, T., A “The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis”, *Transportation Research Part A* 40, 2006, pp.354-374.
12. Holvad, T., An Analysis of Efficiency Patterns for A Sample of Norwegian Bus Companies, Mimeo, 2001, p.282. (<http://www.trg.dk/td/papers/apers01/K01-tra/Holvad 606.pdf>)
13. L. M. Seiford and J. Zhu, “Infeasibility of Super-Efficiency Data Envelopment Analysis Models”, *INFOR*, Vol.37 N0.2, 1999, pp.175-176.
14. Thanassoulis, E., "Data envelopment analysis and its use in banking", *Interface*, Vol. 29 No. 3, 1999, pp.1-13.
15. Tone, K., "A Slack Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operation Research*, 103, 2001, pp.498-509.
16. Tongzon, J., Key Success Factors for Transshipment Hubs: The Case of the Port of Singapore, in *World Shipping and Port Development*, edited by T.-W. Lee and K.P.B. ullinane, 2005, pp.162-180, (Palgrave-Macmillan: Basingstoke)
17. R. D. Banker, A. Charnes, and W. W. Cooper, "Some Models Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, 30, 1984, pp.1078~1092.
18. Roll, Y. and Hayuth, T., "Port Performance Comparison Applying Data Envelopment

- Analysis", *Maritime Policy and Management* Vol.20, No.2, 1993, pp.153-161.
19. Wang, "The Efficiency of European Container Ports: A Cross-Sectional Data Envelopment Analysis", *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 9, No. 1, March 2006, pp.19-31.

<요 약>

환적화물의 컨테이너터미널 효율성 분석

박 홍 균

터미널의 운영은 국가와 지역경제에 영향을 미친다. 부산항과 광양항의 11개 터미널로 GICT, KEC, 동부, KIT, 자성대, 신선대, 감만, 신감만, 우암, 감천, PNC 효율성 분석을 위하여 다양한 DEA(Data Envelopment Analysis)기법들을 이용하여 분석하였다.

신선대, 감만(2007년, 2008년), 신감만(2009년), PNC(2009년)터미널이 규모의 효율성이 1로 나타나 효율적인 것으로 나타났다. 특히, 신감만과 PNC는 2009년에 가장효율성이 높았다. 광양항의 GICT(2009), KEC(2009), 동부(2008-2009), KIT(2009)터미널은 낮은 효율성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 감만터미널(2009년)이 규모수익체감(DRS)인 것으로 나타났으며 나머지 터미널은 규모 수익체증(IRS)인 것으로 나타났다. 규모 체감인 항만은 운영상의 효율성을 위한 전략이 필요하며, 규모수익체증인 항만은 규모확대를 통한 효율성 전략을 수립하는 것이 요구된다.

신선대 터미널은 2007년과 2009년 까지 현재의 투입요소합을 최소 1.5배 이상 늘려도 100%의 효율성을 유지 할 수 있는 것으로 나타났다. 연도별 동태적 효율성 변화추이는 자성대는 계속 상승하고 있다.

□ 주제어 : 효율성, 컨테이너터미널, 환적물동량