

# 확률프론티어분석을 통한 국내컨테이너 터미널의 효율성 측정방법 소고\*

박노경\*\*

## A Brief Efficiency Measurement Way for the Korean Container Terminals Using Stochastic Frontier Analysis

Ro-Kyung Park

### 목 차

- I. 서론
- II. 기존연구에 대한 검토
- III. 확률프론티어분석을 통한 국내컨테이너 터미널의 효율성 측정방법
  - 1. 확률프론티어분석에 대한 이론적 접근
- IV. 결론

Key Words: 확률프론티어분석, 컨테이너터미널, 효율성, DEA, SFA

### Abstract

The purpose of this paper is to measure the efficiency of Korean container terminals by using SFA(Stochastic Frontier Analysis). Inputs[Number of Employee, Quay Length, Container Terminal Area, Number of Gantry Crane], and output[TEU] are used for 3 years(2002,2003, and 2004) for 8 Korean container terminals by applying both SFA and DEA models. Empirical main results are as follows: First, Null hypothesis that technical inefficiency is not existed is rejected and in the translog model, the estimate is significant. Second, time-series models show the significant results. Third, average technical efficiency of Korean container terminals are 73.49% in Cobb-Douglas model, and 79.04% in translog model. Fourth, to

▷ 논문접수: 2010.10.27    ▷ 심사완료: 2010.11.28    ▷ 게재확정: 2010.12.09

\* 본 논문작성을 함에 있어서 유금록(2001)의 확률프론티어분석 모형에 대한 화일을 제공해 주시고, 내용전재를 허용해 주신 군산대학교 유금록교수님께 진심으로 감사를 드립니다. "이 논문은 2010학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음".

\*\* 조선대학교 경상대학 무역학과 교수, [nkpark@chosun.ac.kr](mailto:nkpark@chosun.ac.kr), (062) 230-6821

enhance the technical efficiency, Korean container terminals should increase the handling amount of TEUs. Fifth, both SFA and DEA models have the high Spearman ranking of correlation coefficients(84.45%).

The main policy implication based on the findings of this study is that the manager of port investment and management of Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs in Korea should introduce the SFA with DEA models for measuring the efficiency of Korean ports and terminals.

## I. 서 론

항만의 효율성을 측정하기 위해서 그동안 많이 이용된 비모수적인 방법에는 DEA(Data Envelopment Analysis: 자료포괄분석)측정방법이 있다. DEA측정방법은 1978년에 처음으로 Charnes, Cooper, and Rhodes (1978, CCR모형이라 칭함)에 소개되었으며, 그 후에 Banker, Charnes, and Cooper(1984, BCC모형이라 칭함)에 의해서 가변규모수확(variable returns to scale, VRS라 칭함)하의 효율성 측정모형으로 발전되었으며, 그 이후로 위의 두 가지 모형을 기본으로 하여 제약조건식 등을 변형시킨 모형들이 항만효율성 측정에 많이 사용되어 오고 있다. 즉, 위와 같은 정상적인 DEA모형은 효율성을 측정함에 있어서 일반적으로 용인되는 투입요소와 산출요소들을 이용하였으며, 효율성 측정결과 나타난 비효율적인 항만들에 대해서는 투입요소 측면의 과다와 산출요소측면의 과소를 벤치마킹항만(참조집합항만)들과 비교하여 제시함으로써 해당 항만들이 효율성을 개선시킬 수 있는 방법을 보여주었다.<sup>1)</sup>

그러나 항만의 효율성을 측정함에 있어서 그러한 DEA방법이 갖고 있는 한계점은 투입요소와 산출요소간의 함수관계를 사전에 설정할 필요가 없어 모수를 추정하지 않아도 되기 때문에, 오차항의 변동 중에서 오차변동은 고려되지 않고, 모든 변동이 비효율성에 의한 것이라고 간주되었다는 점이다. 상대적으로 모수적인 접근방법[SFA(Stochastic Frontier Approach, 확률프론티어접근, 이하 SFA라 칭함), TFA(Thick Frontier Approach), DFA(Distribution Frontier Approach)]은 비용함수의 오차항에 비효율성이 포함되어 있으며, 이때, 비효율성은 오차항에서 오차변동(random fluctuation)을 제거함으로써 추정할 수 있다.<sup>2)</sup>

1) 박노경, "Negative DEA를 이용한 국내항만의 운영위험평가 측정방법," 『한국항만경제학회지』 제25권 제2호, 한국항만경제학회, 2009, p.58의 내용을 수정하여 전재함.

2) 아래 논문들을 참고하였음. Cullinane, K., Wang, T.F., and Song, D.W.(2006), "The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis," *Transportation Research Part A*, Vol.40, p.358, 12째줄. 여규현·이영수, "국제항공운송회사의 비용효율성 연구: 국제비교를 중심으로," 『한국항공운항학회지』 제15권 제4호, 한국항공운항학회, 2007, p.109.

요컨대, 그 동안 항만의 효율성을 측정한 연구들에 있어서 간과되어 온 사실은 첫째, 항만의 비효율성에 대해서 비효율성과 오차변동으로 나누어서 측정하지 못했으며, 둘째, 그러한 측정방법이 기존의 DEA에 의한 측정결과와 어떠한 차이를 갖고 있으며, 셋째, 그러한 측정방법에 의한 실증분석결과가 항만운영관리자들에게 어떤 정책적인 의미를 함의하는지에 대해서는 국내에서는 어떠한 연구에서도 다루지 못했다는 점이다.

따라서 본 논문의 연구 목적은 기존의 전통적인 DEA측정방법에 의한 항만의 효율성 측정방법을 확장시키기 위해서 Aigner et al.(1977), Meeusen and van den Broeck(1977)에 의해서 제안된 SFA방법을 이용하여, 국내컨테이너 터미널의 비효율성을 측정하고 해석함으로써 정책적인 함의를 제시하고자 하는데 있다.

본 논문의 연구범위는, 국내와 외국에서 선행된 항만분야의 SFA분석과 관련된 선행 연구들을 간략하게 검토한다. 또한 국내 컨테이너터미널 8곳의 3년간(2002년, 2003년, 2004년)자료를 이용하고, 4개의 투입물[종업원수(명), 부두길이(m), 부지면적(평방m), 갠트리크레인 대수(대)]과 1개의 산출물[년간 컨테이너 처리실적(TEU)]을 이용하여 SFA 및 DEA측정방법을 보여주고, 양자를 간략하게 비교하는 것으로 한정한다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서 II장에서는 SFA와 관련된 기존연구들을 간략하게 검토하며, III장에서는 SFA모형을 제시함과 함께, 그러한 모형을 통해서 국내항만의 비효율성을 측정하는 방법을 8개의 국내컨테이너터미널들을 대상으로 적용하여 그 과정과 측정결과 나타난 결과를 보여 주며, 어떤 요소가 컨테이너터미널의 효율성과 관련이 있는지를 회귀분석을 통해서 밝혀낸다. 또한 DEA에 의한 효율성 수치의 순위와 SFA에 의한 효율성 수치의 순위사이에 어느정도의 상관관계가 있는지를 검증한다. IV장에서는 요약과 함께 결론이 제시된다.

## II. 기존연구에 대한 검토

### 1. DEA와 관련된 기존연구에 대한 간략한 검토<sup>3)</sup>

항만의 효율성을 DEA기법으로 측정한 시도는 Roll and Hayuth(1993), Tongzong(2001), Valentine and Gray(2002), Cullinane, Song, and Gray(2002), Barros and Athanassiou(2004), Wang, Cullinane and Song(2005)에 의해서 행해졌다. 국내에서는 Han, C.H.(2002), 박노경(2003a; 국내 항만투자의 가치사슬 효율성을 측정), 박노경(2003b;항만투자의 유효성을 검증), 박노경(2008, 국내항만투자의 유효성을 3가지 모형

3) 박노경(2009b), 전제논문, p.59.

으로 측정), Park, R.K.(2006; 광양항의 규모효율성 추세를 분석), Park, R.K.(2008; 국내 컨테이너터미널의 효율성을 부트스트랩방법으로 검증), 박노경(2004, 슬랙변수모형에 의한 효율성 측정방법을 보여 줌)이 발표하였다.4)

## 2. SFA를 이용한 항만관련 기존연구에 대한 간략한 검토

컨테이너항만 또는 터미널의 효율성을 SFA모형을 이용하여 측정한 기존연구와 관련된 간단한 내용은 <표 1>에 요약하여 제시하였다.

<표 1> 항만연구에 SFA모형을 이용한 기존연구

| 연구자                      | SFA를 이용한 목적   | 이용한 자료   | 적용한 생산함수      | 투입물  | 산출물           |
|--------------------------|---|--|---------------|--|---------------|
| Liu(1995)                | 공공항만이 민간항만보다 원천적으로 비효율적이라는 가설을 검증하기 위함.                     | 1983년부터 1990년까지 28개의 상업적으로 중요한 영국항만  | 트랜스로그         | 노동, 자본   | 총수익           |
| Notteboom et al.(2000)   | 유럽컨테이너항만들의 생산효율성을 평가하기 위함.                                  | 함부르크에서 르 하브르까지, 그리고 서지중해지역에 위치한 컨테이너터미널, 아시아지역에서 4개의 선도적인 컨테이너항만을 포함한 36개항만들의 1994년 자료 | 베이지안 확률프론티어모형 | 터미널부두길이, 터미널면적, 트리크레인수, 크레인당 노동자 평균숫자, 터미널다양화거리의 중앙집중도자수 | 컨테이너처리량 (TEU) |
| Coto-Millan et al.(2000) | 27개 스페인 항만의 경제적 효율성을 추정하기 위함.                               | 1985년에서 89년까지 스페인 27개항만들의 총 135개의 패널자료   | 콥-다글러스 트랜스로그  | 총비용  | 노동, 자본, 중간소비재 |
| Cullinane and Song(2003) | 한국의 컨테이너터미널의 생산효율성을 증대시키기 위한 한국의 항만민영화정책이 성공적이었는지를 측정하기 위함. | 영국과 한국의 5개의 컨테이너터미널. 총65개의 관측치를 이용함.   | 콥-다글러스        | 노동, 자본   | 총수익(부동산판매 제외) |
| Cullinane et al.(2002)   | 아시아 주요컨테이너항만의 행정적, 소유구                                      | 1989년에서 1998년까지 10년동안 아시아에서 15개 컨테이너항만 또는  | 콥-다글러스        | 터미널부두길이, 터미널면적, 화물처리량                                    | 년간 컨테이너화물처리량  |

4) 박노경(2009a),p.17의 내용을 전재함. 기존연구의 자세한 내용은 해당논문을 참조요망. Banker, Charnes and Cooper (1984), Charnes, Cooper and Rhodes (1978).

|                          |                                       |  |                     |  |                 |
|--------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|--|-----------------|
|                          | 조를 분석하기 위함                            | 터미널. Yantian은 1993년에서 1996년까지임. 총 146개의 관측치.                       |                     | 리기기의 숫자                                | (TEU)           |
| Cullinane et al.(2006)   | DEA와 SFA분석을 비교하기 위함                   | 2001년도 30위에 랭크된 세계적인 컨테이너항만 및 터미널 총 57개.                           | 선형모형, 콥-다글러스        | 터미널길이, 터미널면적, 부두갠트리수, 야드갠트리수, 스트래들운반기수 | 컨테이너 처리량 (TEU)  |
| Cullinane and Song(2006) | 유럽컨테이너항만의 기술효율성을 측정하기 위함              | 2002년도 74개의 유럽컨테이너항만   | 콥-다글러스              | 터미널부두길이, 터미널면적, 화물처리기기숫자               | 컨테이너 화물처리량(TEU) |
| Lin and Tseng(2005)      | 국제적인 컨테이너항만의 효율성을 DEA와 SFA분석을 통해서 살펴봄 | 27개의 국제적인 컨테이너항만들을 대상으로 1999년부터 2002년까지의 자료를 사용함. 총108개의 관측치를 이용함. | 선형모형, 콥-다글러스, 트랜스로그 | 갠트릭크레인숫자, 컨테이너부두길이, 컨테이너면적, 하역기기       | 컨테이너 화물처리량(TEU) |

<자료: Wang, Cullinane and Song(2005), p.70의 내용에 저자가 새롭게 내용을 추가함>

### III. 확률프론티어분석을 통한 국내컨테이너터미널의 효율성 측정방법

#### 1. 확률프론티어분석에 대한 이론적 접근

##### 1) SFA와 DEA의 비교<sup>5)</sup>

SFA와 DEA기법이 Farrell(1957)에 의해서 독창적으로 개발된 효율성 개념에서 처음으로 소개되었지만, 계량경제학적인 측면이나, 수리계획적 방법 측면에서 여러 가지로 차이가 있다. DEA는 비모수적 접근이며, 다수의 투입/산출물에 대한 정보가 있는 결정적인 산업(Deterministic Industry)의 효율성 측정에 적합하다. DEA는 원래 비영리기관인 학교, 병원, 대학, 법원, 공공부문, 농업 등에 적용되었지만, 최근에는 영리기관에도

5) L.C. Lin and L.A. Tseng,"Application of DEA and SFA on the Measuring of Operating Efficiencies for 27 International Container Ports," *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5,2005, pp.597-598.

적용이 활발하게 이루어지고 있다. 반면에 SFA는 모수적 접근법으로써, 투입/산출물 정보에 대한 확률적인 산업(Stochastic Industry)의 효율성 측정에 적합하다. SFA는 통상적인 회귀모형의 생산함수와 오차항목의 분해형태를 가정하는데, 이러한 오차항목의 분해는 다음과 같은 두 가지로 형태로 구성된다. 첫째는 대칭적이며, 기상상태, 행운, 기계고장 등 기업의 통제를 벗어나는 일련의 사건과 같은 통계적인 잡음을 통제한다는 것이며, 둘째는 기업의 기술적인 비효율성을 나타낸다는 것이다. 이와 같은 특징을 가진 SFA분석방법은 영리기관의 성과를 측정하는데 주로 활용되어 왔다.

<표 2> SFA와 DEA의 비교

| 특성/구분  | SFA  | DEA  |
|--------|--|--|
| 일치성    | DEA와 SFA는 효율성프론티어분석이며, 그러한 프론티어를 결정하고 비효율성을 측정한다는 점에서는 유사성을 갖고 있다.   |  |
| 특성     | 모수적 측정방법   | 비모수적 측정방법  |
| 효율성 측정 | 기술적 효율성, 규모탄력성, 규모효율성, 배분효율성, 기술변화와 총요소생산성 변화  | 기술적 효율성, 규모탄력성, 규모효율성, 배분효율성, 컨제스컨 효율성, 기술변화와 총요소생산성 변화  |
| 장점     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 모든 기업들이 사전적으로 효율적일 필요는 없다.</li> <li>2. 무작위확률변수인 기업이 통제불가능한 날씨, 행운, 기계고장, 기타 사건과 같은 통계적인 잡음을 적출하고, 에러를 측정할 수 있음.</li> <li>3. 가격정보는 필요없음.</li> <li>4. 가설검증을 할 수 있음.</li> <li>5. 기업의 평균기술효율성보다는 최선의 기술효율성을 측정하기 위한 목적.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 모든 기업들이 사전적으로 효율적일 필요는 없다.</li> <li>2. 다중 투입물과 다중 산출물의 효율성 측정을 할 수 있음.</li> <li>3. 가격정보는 필요없음.</li> <li>4. 함수형태와 분포형태에 대한 가정이 필요없음.</li> <li>5. 표본크기가 작을지라도, 상대적인 효율성을 비교할 수 있음.</li> <li>6. CCR와 BCC모형은 단위불변성을 갖음.</li> </ol> |
| 단점     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 사전적으로 함수형태와 분포형태를 가정할 필요가 있음.</li> <li>2. 자유도의 부족을 필하기 위해서 표본이 충분할 필요가 있음.</li> <li>3. 가정하고 있는 분포형태는 효율성 수치를 평가하는데 민감함.</li> </ol>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 측정에러와 같은 통계적 잡음을 조화시킬 필요없음.</li> <li>2. 가설검증을 할 수 없음.</li> <li>3. 새로 추가한 DMU가 이상치인 경우, 다른 DMU의 효율성에 영향을 미칠 수 있음.</li> </ol>  |
| 적용     | 영리기관의 성과측정에 적용됨  | 비영리기관이나 회사의 지점들의 성과측정에 적용됨.  |

<자료: Lin and Tseng(2005), p.598>

2) 확률생산프론티어함수<sup>6)</sup>

Aigner 외(1977)와 Meeusen & van den Broeck(1977)은  $n$ 개 기업의 표본자료를 사용하여 비음의 무작위변수  $u_i$ 에 무작위오차  $v_i$ 가 추가되는 확률생산변경함수(stochastic production frontier function)를 제안하였는데, 이것을 공공부문의 의사결정단위 또는 조직단위의 기술적 효율성을 측정하기 위한 모형으로 전환하면 <식 1>과 같다.

$$\ln(y_i) = x_i\beta + v_i - u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{<식 1>}$$

단,  $\ln(y_i)$  : 의사결정단위  $i$ 의 산출물의 대수값(logarithm).

$x_i$  :  $(m+1)$ 행벡터로서 첫 번째 원소는 1이고 나머지 원소는 의사결정단위  $i$ 에 의해 사용된  $m$ 개 투입물의 대수값.

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m)'$  : 추정되어야 할 미지의 모수의  $(m+1)$ 열벡터.

$v_i$  :  $u_i$ 와 독립적으로 정규분포,  $N(0, \sigma_v^2)$ 를 갖는 무작위오차.

$u_i$  : 포함된 표본내 의사결정단위들의 생산에 있어서 기술적 비효율성과 관련된 비음의(non-negative) 무작위변수

무작위오차  $v_i$ 는 생산함수에 구체화되지 않은 투입변수들의 결합효과들과 함께 측정 오차와 기타 무작위요인들을 포함한다. Aigner 외(1977)는  $v_i$ s(이하  $s$ 는 복수형임)가  $u_i$ s와 독립적으로 평균이 0이고 일정한 분산  $\sigma_v^2$ 을 가진 독립적이고 균등하게 분포되는(independently and identically distributed: i.i.d.) 정규 무작위변수들이라고 가정하였다. 여기서  $u_i$ s는 독립적이고 균등하게 분포되는 반정규(half-normal) 또는 지수(exponential) 무작위변수로 가정하였다.

의사결정단위  $i$ 의 기술적 효율성(technical efficiency)은 투입물벡터  $x_i$ 가 주어진 경우 변경함수에 의해 정의된 잠재적 산출량에 대한 의사결정단위  $i$ 의 관찰된 산출량의 비율로 정의할 수 있다.

$$TE_i = \frac{y_i}{\exp(x_i\beta + v_i)} = \frac{\exp(x_i\beta + v_i - u_i)}{\exp(x_i\beta + v_i)} = \exp(-u_i) \quad \text{<식 2>}$$

이 지표는 산출지향적인 Farrell의 기술적 효율성지표이며 0과 1사이의 값을 갖는다.

6) (2)항과 (3)항의 내용은, 유금록, "공공부문의 효율성 평가를 위한 모수적 변경추정법," 한국사회와 행정연구, 제12권 제2호, 서울행정학회, 2001, pp.102-104의 내용을 전재함.

### 3) 확률비용프론티어함수

비용최소화와 같은 행태적 목적을 반영하거나, 다수의 산출물(multiple outputs)을 고려하거나, 기술적 효율성과 배분적 효율성을 동시에 예측하기 위해서는 생산기술의 쌍대형태(dual forms)인 비용함수(cost function)를 사용할 필요가 있다.

투입물 수준이 고정되어 있고 경영자들이 일정한 투입량 아래에서 산출량을 최대화한다고 가정하거나 경영자들이 실제이윤보다는 기대이윤(expected profit)을 최대화하기 위하여 투입 및 산출물의 수준을 선정한다고 가정하는 경우에는 생산함수를 사용할 필요가 있지만, 경영자들이 비용최소화의 목적을 갖고 있다고 가정하는 것이 보다 더 적절하다면 <식 3>과 같은 형태의 확률비용변경비용함수를 추정하는 것이 보다 더 적절하다.

$$\ln(C_i) = C(y_i, w_i; \beta) + v_i + u_i \quad , i = 1, 2, \dots, n \quad \text{<식 3>}$$

단,  $\ln(C_i)$  : 의사결정단위  $i$ 의 관찰된 생산비용의 대수값.

$C(.)$  : 적합한 함수형태

$y_i$  : 산출량.

$w_i$  : 투입물가격의 ( $m \times 1$ )벡터 .

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m)'$  : 추정되어야 할 미지의 모수의 ( $m+1$ ) 열벡터.

$v_i$  :  $u_i$ 와 독립적으로 정규분포,  $N(0, \sigma_v^2)$ 를 갖는 무작위오차.

$u_i$  : 비효율성의 비효율성효과(cost inefficiency effect)

비효율성효과  $u_i$ 는 반정규분포(half-normal distribution) 또는 절단정규분포(truncated-normal distribution)를 갖는 것으로 가정되는데, 생산변경의 경우처럼 감하지 않고 비용변경에 있어서는 더 해진다 것을 유념할 필요가 있다. 이것은 비용함수는 최소비용을 나타내는 반면 생산함수는 최대산출량을 나타내기 때문이다.

$u_i$ 는 의사결정단위  $i$ 의 비용효율성(cost efficiency:  $CE_i$ ) 또는 총 경제적 효율성(overall economic efficiency:  $EE_i$ )에 관한 정보를 제공한다. 이것은 관찰된 비용에 대한 최소비용변경의 비율로 계산되며 식 (4)와 같이 표시할 수 있다(Kumbhakar & Lovell, 2000).



$$CE_i = \frac{C(y_i, p_i; \beta) \exp(v_i)}{C_i} = \exp(-u_i) \quad <식 4>$$

이 지표는 0과 1사이의 값을 가지며 확률변경생산함수에서  $TE_i$ 에 대하여 설명한 것과 비슷하게 측정할 수 있다.

총 비용효율성( $EE_i$ )을 추정된 비용함수에 의해 함축된 생산함수가 명백히 도출할 수 있다면 기술적 효율성과 배분적 효율성(allocative efficiency:  $AE$ )으로 분해할 수 있다.<sup>7)</sup> 이와 같이 도출된 생산변경과 비교하여 기술적 효율성을 계산할 수 있으며  $AE = EE/TE$ 라는 식을 사용하여 배분적 효율성을 추정할 수 있다.

## 2. 확률프론티어분석의 추정방법<sup>8)</sup>

### 1) 최대우도추정

Aigner 외(1977)는 식 (1)에 의해 정의된 모형에 대한 대수우도함수(log-likelihood function)를 도출했는데, 식 (1)에서  $u_i$ s를 독립적이고 균등한 분포를 하는  $N(0, \sigma_u^2)$ 으로 가정되는  $v_i$ s와는 독립적으로  $N(0, \sigma_v^2)$ 의 무작위변수로서 독립적이고 균등한 분포를 갖고 0에서 절단된 값으로 가정한다. Aigner 외(1977)는 우도함수를 두 개의 분산모수,  $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ 와  $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$ 로 표시하였는데, Battese & Corra(1977)는 모수  $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma^2$ 을 사용해야 한다고 제안하였다. 왜냐하면  $\gamma$ 는 0과 1사이의 값을 갖는 데 비해  $\lambda$ 는 비율의 모든 값이 될 수 있으며,<sup>9)</sup>  $\gamma$ 모수화는  $\gamma$ 의 모수공간(parameter space)이 반복적 최대화 알고리즘에 대한 적당한 초기값에 대해 탐색하기 때문에 최대우도추정치(maximum-likelihood estimates)를 구하는 데 있어서 이점을 지니고 있기 때문이다(Coelli, 1995). Battese & Corra(1977)는 우도비함수가 이러한 모수화에 의해 식 (5)와 같다는 것을 보여주었다.

7) Cobb-Douglas함수를 사용하면 가능하다.

8) 유금록(2001), 전계논문, pp.104-107의 내용을 전재함.

9)  $\gamma$  값이 0인 경우는 변경으로부터의 편차가 전부 잡음(noise)인 데 비해 1인 경우는 모든 편차가 기술적 비효율성에 기인한다는 것을 의미한다. 하지만  $u_i$ 의 분산이  $\sigma_u^2$ 이 아니라  $[(\pi - 2)/\pi]\sigma_u^2$ 과 같기 때문에 총분산에 대한 비효율성 효과의 상대적 비중( $\gamma^*$ )은  $\gamma^* = \gamma / [\gamma + (1 - \gamma)\pi / (\pi - 2)]$ 과 같다.

$$\ln(L) = -\frac{n}{2} \ln(\pi/2) - \frac{n}{2} \log(\sigma_s^2) + \sum_{i=1}^n \ln[1 - \Phi(z_i)] - \frac{1}{2\sigma_s^2} + \sum_{i=1}^n (\ln y_i - x_i \beta)^2$$

<식 5>

$$\text{단, } z_i = \frac{(\ln y_i - x_i \beta)}{\sigma_s} \sqrt{\frac{\gamma}{(1-\gamma)}}$$

$\Phi(\cdot)$  : 표준정규무작위변수의 누적분포함수(cumulative distribution function)..

$\beta$ 와  $\sigma^2$ ,  $\gamma$ 의 최대우도추정치를 <식 5>에서 정의된 대수우도함수의 최대값을 찾음으로써 구할 수 있다. 최대우도추정량은 일치적이고 점근적으로 효율적이다(Aigner 외, 1977: 28).

Coelli(1996)는 이 모형의 모수들에 대한 최대우도추정치를 구하는 데 다음과 같은 3단계 추정절차를 사용하였다.

첫 번째 단계는  $\beta$ 와  $\sigma^2$ 의 통상최소자승(OLS) 추정량을 계산하는 것이다. 이것들은 절편  $\beta_0$ 와  $\sigma^2$ 를 제외하고는 <식 1>에 있는 모수들의 불편추정량이다.

두 번째 단계에서 우도함수를 0과 1사이에서 존재하는 다수의  $\gamma$ 값에 대해 평가한다. 이들 계산과정에서  $\beta_0$ 와  $\sigma^2$ 의 통상최소자승추정치는  $\hat{\beta}_0 = \hat{\beta}_{0(OLS)} + \sqrt{(2\hat{\gamma}\hat{\sigma}^2)/\pi}$ 와  $\sigma^2 = \sigma_{OLS}^2[\pi(T-n)]/[T(\pi - 2\hat{\gamma})]$ 로 조정된다. 나머지  $\beta$ 모수에 대해서는 통상최소자승 추정치가 그대로 사용된다.

마지막 단계는 우도함수가 전역적 최대값(global maximum)을 달성할 때 최대우도추정치를 구하는 Davidon-Fletcher-Powell(DFP)의 반복적 최대화 루틴에서 두 번째 단계로부터 구한 최적추정치(즉, 최대의 대수우도값에 해당하는 추정치)를 초기값으로 사용한다.

최대우도추정량의 표준오차는 DFP루틴의 최종 반복단계에서 추정된 방향행렬(direction matrix)의 대각원소의 제곱근을 구함으로써 계산된다. 최종 반복단계에 대한 방향행렬은 일반적으로 DFP루틴이 불과 2-3번의 반복 후에 종료되지 않으면 대수우도함수의 헤시안(Hessian)의 역수에 대한 근사치이다.

이와 같은 최대우도추정은 고정효과모형(fixed effects model)이나 확률효과모형(random effects model)이 갖고 있지 않는 분포상의 정보를 활용하기 때문에 이들 방법들보다 모수추정치를 더 효율적으로 추정한다(Kumbhakar & Lovell, 2000).

## 2) 의사결정단위의 평균 기술적 효율성의 추정

Aigner 외(1977)는 모든 기업들의 평균 기술적 효율성의 추정량으로  $[1 - E(u)]$ 을 제시하였다. 그러나, Lee & Tyler(1978)는  $u_i$ s가 앞에서 가정된 바와 같이 독립적이고 균등한 분포를 하는 반정규 무작위변수들이라면 <식 6>으로 구할 수 있다고 보았다.

$$E[\exp(-u)] = 2[1 - \Phi(\sigma\sqrt{\gamma})]\exp(\gamma\sigma^2/2) \quad \text{<식 6>}$$

$[1 - E(u)]$ 보다 <식 6>을 사용하는 것이 더 낫다. 왜냐하면  $[1 - u]$ 는  $\exp(-u)$ 의 멱급수확장(power series expansion)에서 첫째 항만을 포함하고 있기 때문이다 (Kumbhakar & Lovell, 2000). 뿐만 아니라  $[1 - E(u)]$ 와는 달리  $E[\exp(-u)]$ 는 기술적 효율성의 정의와도 부합한다. 여기서 평균 기술적 효율성에 대한 최대우도추정량은 <식 6>에 있는 해당 모수들을 최대우도추정량으로 대체함으로써 구할 수 있다.

표본의사결정단위들의 의사결정단위별 기술적 효율성을 추정할 수 있기 때문에 평균 기술적 효율성에 대한 추정량은 표본의사결정단위들의 의사결정단위별 기술적 효율성에 대한 추정치의 산술평균이다. 하지만 산술평균은 표본의사결정단위들이 상이한 규모로 운영되거나 의사결정단위들의 모집단으로부터 무작위표본으로 구해지지 않을 때 최적추정량이 아닐 수도 있다.

### 3) 의사결정단위별 기술적 효율성의 추정

의사결정단위  $i$ 의 기술적 효율성은  $TE_i = \exp(-u_i)$ 로 정의되는데, 이것은 관찰할 수 없는 기술적 비효율성효과  $u_i$ 를 포함하고 있다. 확률변경모형 <식 1>에서 모수벡터  $\beta$ 의 실제값이 알려져 있다 하더라도 차이인  $\varepsilon_i = v_i - u_i$ 만이 관찰될 수 있을 뿐이다.  $u_i$ 의 최적추정량은  $v_i - u_i$ 의 값이 주어질 경우  $u_i$ 의 조건부 기대값이다. 이러한 결과는 Jondrow 외(1982)에 의해 최초로 인식되고 확률변경모형에 적용되었다. 이들은 <식 7>과 같은 결과를 도출하였다.<sup>10)</sup>

$$E[u_i | \varepsilon_i] = -\gamma\varepsilon_i + \sigma_A \left[ \frac{\Phi(\gamma\varepsilon_i/\sigma_A)}{1 - \Phi(\gamma\varepsilon_i/\sigma_A)} \right] \quad \text{<식 7>}$$

$$\text{단, } \sigma_A = \sqrt{\gamma(1-\gamma)\sigma_s^2}$$

$$\varepsilon_i = \ln(y_i) - x_i\beta.$$

$u_i$ 의 실제추정량은 <식 7>의 미지의 모수들을 최대우도추정량으로 대체함으로써 구한다. Jondrow 외(1982)는 의사결정단위  $i$ 의 기술적 효율성을  $1 - E(u_i | \varepsilon_i)$ 를 사용하여 추정할 수 있다는 것을 제시하였다.<sup>11)</sup> 한편, Battese & Coelli(1988)는  $u_i$ 를 <식

10) 식 (7)은  $\gamma$ 로 표시된 반면 Jondrow 외(1982)에서의 식은 모수  $\lambda$ 로 표시되어 있다.

11) 이러한 추정량에 대한 근거는  $1 - u_i$ 가 무한급수,  $\exp(-u_i) = 1 - u_i$

7>과 관련된 추정치로 대체함으로써 기술적 효율성  $\exp(-u_j)$ 의 최적예측량을 <식 8>을 사용하여 구할 수 있다는 것을 보여주었다.

$$E[\exp(-u_j) | \varepsilon_j] = \frac{1 - \Phi(\sigma_A + \gamma\varepsilon_j/\sigma_A)}{1 - \Phi(\gamma\varepsilon_j/\sigma_A)} \exp(\gamma\varepsilon_j + \sigma_A^2/2) \quad \text{<식 8>}$$

이 추정량은  $\exp(-u_j)$ 에서  $u_j$ 를 예측하기 위하여 <식 7>을 사용하는 것과는 상이한 값을 제공한다. 이것은 무작위변수의 비선형함수의 기대값이 무작위변수의 기대값의 함수와 동일하지 않다는 일반적 결과의 특수한 경우이다.

## 2. 확률프론티어분석을 통한 국내 컨테이너터미널의 효율성 측정

### 1) 분석대상, 대상기간, 투입-산출요소, 대상 항만 수

분석대상은 국내 컨테이너터미널 8개를 대상으로 하였으며, 대상연도는 3년(2002년, 2003년, 2004년<sup>12)</sup>)으로 하였다. 왜냐하면 본 논문은 확률프론티어분석방법을 이용하여 국내컨테이너 터미널의 효율성을 측정하는 방법을 보여 주는 것으로 연구의 범위를 한정하였기 때문이다. 실증분석은 확률프론티어모형으로 분석하였으며, 비교를 위해서 투입지향 DEA모형으로 측정하였다. 각 변수의 단위는 다음과 같다. 투입요소는 종업원수(명), 부두길이(m), 컨테이너야드면적(평방m), 갠트리크레인 대수(대)로 하였으며, 산출요소는 연간 컨테이너 처리실적(TEU)으로 하였다.

---

+  $u_j^2/2 - u_j^3/3! - \dots$ 에 대한 제1차 개략치(first-order approximation)라는 것이다.

12) 환경의 급변성을 고려해 보았을 때, 최근의 다년도를 분석하는 것이 기술적으로나 규명적인 측면에서 타당한 결론을 도출해 내는데 적합할 것으로 판단됨. 그러나 컨테이너터미널들의 관련 자료를 구하는 것이 어려워서 류동근(2005,p.28)의 자료를 이용하였음.

<표 2> 확률프론티어분석에 사용된 원 자료

| 컨테이너터미널            | 투입-산출변수 | 종업원수<br>(명) | 부두길이<br>(m) | 컨테이너<br>야드면적<br>(평방미터) | 갠트리크레인대수<br>(대) | TEUs    |
|--------------------|---------|-------------|-------------|------------------------|-----------------|---------|
| 1. 허치슨2004         |         | 759         | 1474        | 647                    | 13              | 1820628 |
| 2. 신선대2004         |         | 672         | 1200        | 1039                   | 12              | 1982306 |
| 3. 감만2004          |         | 674         | 1400        | 731                    | 14              | 2716088 |
| 4. 신감만2004         |         | 332         | 826         | 308                    | 7               | 972786  |
| 5. 우암2004          |         | 225         | 500         | 184                    | 5               | 548021  |
| 6. 감천2004          |         | 186         | 600         | 148                    | 4               | 547766  |
| 7. 광양페이즈 1 (2004)  |         | 428         | 1400        | 840                    | 9               | 1019007 |
| 8. 광양페이즈 2 (2004)  |         | 240         | 1150        | 533                    | 6               | 296564  |
| 9. 허치슨2003         |         | 747         | 1447        | 647                    | 12              | 1584429 |
| 10. 신선대2003        |         | 690         | 1200        | 1039                   | 11              | 1786112 |
| 11. 감만 2003        |         | 706         | 1400        | 731                    | 14              | 2546391 |
| 12. 신감만2003        |         | 324         | 826         | 308                    | 7               | 745544  |
| 13. 우암2003         |         | 210         | 500         | 184                    | 4               | 533286  |
| 14. 감천2003         |         | 186         | 600         | 148                    | 4               | 512240  |
| 15. 광양페이즈 1 (2003) |         | 428         | 1400        | 840                    | 9               | 1003139 |
| 16. 광양페이즈 2 (2003) |         | 240         | 1150        | 533                    | 6               | 181703  |
| 17. 허치슨 2002       |         | 648         | 1447        | 647                    | 14              | 1534586 |
| 18. 신선대2002        |         | 661         | 1200        | 1039                   | 11              | 1528285 |
| 19. 감만 2002        |         | 706         | 1400        | 731                    | 12              | 2261484 |
| 20. 신감만2002        |         | 324         | 826         | 308                    | 7               | 481182  |
| 21. 우암2002         |         | 210         | 500         | 184                    | 4               | 502450  |
| 22. 감천2002         |         | 186         | 600         | 148                    | 4               | 505959  |
| 23. 광양페이즈 1 (2002) |         | 428         | 1400        | 840                    | 8               | 1003169 |
| 24. 광양페이즈 2 (2002) |         | 240         | 1150        | 533                    | 6               | 77173   |

[자료: 한국컨테이너부두공단(<http://www.kca.or.kr>) 및 류동근(2005,p.28)에서 수집함]

**2) DEA(투입지향, 규모수확불변)모형에 의한 효율성 측정**

<표 2>에는 정상 DEA(투입지향 CCR, VRS)모형에 의한 국내항만 24개의 컨테이너 터미널에 대한 효율성을 측정한 결과를 보여 주고 있다.

<표 3>에서 보면 CCR모형의 효율성 수치를 보면 감만2004, 감천2004, 우암2003, 감천2003, 우암2002 터미널들이 효율성이 1인 효율적인 터미널들로 나타났다. 그러나 효율성 수치가 모두 1이어서 순위를 정할 수 없어서 수퍼효율성 측정방법<sup>13)</sup>을 통하여 효

13) 이 방법은 효율적인 프론티어로 평가된 DMU를 제거하고 효율성을 평가해 가는 방법으로 제거된 DMU의 효율성은 다음 단계에서는 효율성 수치가 더욱 커지는 수퍼효율성을 나타낸다. 따라서 효율성이 1인 DMU들의 순위를 밝혀 낼 수 있는 방법이다. 자세한 설명은 박노경

율성수치를 구하였더니, 감만2004(1.1948), 감천2004(1.0771), 우암2003(1.0461), 감천 2003(1.0165), 우암2002(1.0028)로 나타났다. 규모효율성은 허치슨2004, 감만2003 터미널 들이 채감하고 있다. 투입물여유분과 산출물여유분이 효율적인 터미널을 측정 한 후에도 개별터미널에 따라서 비효율적인 요인이 여전히 남아 있음을 알 수 있다.

<표 3> DEA분석에 의한 효율성 측정결과

| 항만 \ 구분            | CCR효율성 수치(순위) | 참조항만 및 잠재가격                | 규모 효율성 |
|--------------------|---------------|----------------------------|--------|
| 1. 허치슨2004         | 0.7681(14)    | 3.0.570, 6.0.333, 13.0.167 | 채감     |
| 2. 신선대2004         | 0.9289(10)    | 3.0.700, 13.0.268,         | 채증     |
| 3. 감만2004          | 1.0(1)        | 3.1.0                      | 불변     |
| 4. 신감만2004         | 0.9068(11)    | 3.0.241, 6.0.161, 13.0.430 | 채증     |
| 5. 우암2004          | 0.9935(6)     | 3.0.019, 6.0.057, 13.0.872 | 채증     |
| 6. 감천2004          | 1.0(1)        | 6.1.0                      | 불변     |
| 7. 광양페이즈 1 (2004)  | 0.6463(19)    | 3.0.327, 13.0.267          | 채증     |
| 8. 광양페이즈 2 (2004)  | 0.5325(21)    | 3.0.118, 13.0.230          | 채증     |
| 9. 허치슨2003         | 0.7294(17)    | 3.0.491, 13.0.468          | 채증     |
| 10. 신선대2003        | 0.8661(13)    | 3.0.607, 13.0.256          | 채증     |
| 11. 감만 2003        | 0.9542(8)     | 3.0.917, 13.0.104          | 채감     |
| 12. 신감만2003        | 0.7200(18)    | 3.0.170, 6.0.008, 13.0.522 | 채증     |
| 13. 우암2003         | 1.0(1)        | 13.1.0                     | 불변     |
| 14. 감천2003         | 1.0(1)        | 14.1.0                     | 불변     |
| 15. 광양페이즈 1 (2003) | 0.7503(15)    | 3.0.434, 13.0.135          | 채증     |
| 16. 광양페이즈 2 (2003) | 0.2686(23)    | 3.0.018, 13.0.249          | 채증     |
| 17. 허치슨 2002       | 0.6457(20)    | 3.0.468, 6.0.372, 13.0.112 | 채증     |
| 18. 신선대2002        | 0.7419(16)    | 3.0.518, 13.0.227          | 채증     |
| 19. 감만 2002        | 0.9931(7)     | 3.0.792, 13.0.208          | 채증     |
| 20. 신감만2002        | 0.4725(22)    | 3.0.088, 6.0.060, 13.0.395 | 채증     |
| 21. 우암2002         | 1.0(1)        | 21.1.0                     | 불변     |
| 22. 감천2002         | 0.9383(9)     | 6.0.713, 14.0.225          | 채증     |
| 23. 광양페이즈 1 (2002) | 0.8988(12)    | 3.0.418, 13.0.333          | 채증     |
| 24. 광양페이즈 2 (2002) | 0.1732(24)    | 13.0.198,                  | 채증     |

<자료: 박노경(2007), p.28>

(2003-a), pp.278-284를 참조요망.

### 3) 확률프론티어분석을 통한 국내컨테이너터미널의 효율성 측정방법

국내컨테이너터미널의 기술적 효율성을 측정하기 위한 초월대수생산함수(translog production function)는 임의적 생산함수에 대한 자연대수형태의 2차 Taylor시리즈의 근사치로 나타낼 수 있다. 초월대수생산변경함수모형(translog production frontier function model)은 <식 9>와 같이 표시할 수 있다.

$$\ln TEU_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Emp_t + \beta_2 \ln BtLt_t + \beta_3 \ln ConY_t + \beta_4 \ln C/C_t + v_t - u_t \quad \text{<식 9>}$$

여기서  $Q_t$ 는  $t$ 연도에서의 컨테이너화물처리량(TEU)을,  $Emp_t$ 는  $t$ 연도에서의 항만종업원수,  $BtLt_t$ 는  $t$ 연도에서의 부두길이,  $ConY_t$ 는  $t$ 연도의 컨테이너 야드,  $C/C_t$ 는  $t$ 연도의 컨테이너갠트리 크레인수를 각각 의미한다. 그리고  $v_t$ 는 독립적이고 등분산의 분포를 하는 것으로 가정되고  $u_t$ 와는 관계없이 평균이 0이고 분산이  $\sigma_v^2$ 인  $N(0, \sigma_v^2)$ 분포를 갖는 통계적 잡음을 나타내는 무작위 양측오차항이며,  $u_t$ 는 기술적 비효율성을 나타내는 요소로서 독립적이고 등분산의 분포를 하는 것으로 가정되는 비음의 무작위 단측오차항이다.

<표 4>에는 횡단면 패널자료를 사용하여 확률프론티어분석을 통한 국내컨테이너터미널의 최대우도추정 분석결과를 보여 주고 있다.

반정규분포를 갖는 기술적 비효율성모형이라는 대립가설( $H_1: \gamma > 0$ )에 대하여 반정규분포를 갖는 기술적 비효율성효과가 존재하지 않는다는 귀무가설( $H_0: \gamma = 0$ )을 검증하기 위한 일반우도비검정통계량(generalized likelihood-ratio test statistic)이 12.73으로 이 값은 유의수준 5%에서 자유도 6을 가진 혼합카이제곱분포(mixed chi-square distribution)의 임계치 11.911보다 크므로 유의미하다.<sup>14)</sup> 따라서 반정규분포를 갖는 기술적 비효율성효과가 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각하고 반정규분포를 갖는 기술적 비효율성효과가 존재한다는 대립가설을 채택할 수 있다. 이것은 기술적 비효율성효과를 고려하지 않는 전통적인 평균반응함수(average response function)가 자료를 적절히 표현하지 못한다는 것을 의미한다.<sup>15)</sup> 트랜스로그모형에서는 검정통계량이 19.12로 이 값은 유의수준 0.5%에서 자유도 6을 가진 혼합카이제곱분포의 임계치 16.074보다 크므로 유의미하다. 시계열자료를 이용한 분석에서는 콤팩트로그모형에서는 일반우도비검정통계량이 33.83으로 이 값은 유의수준 0.1%에서 자유도 6을 가진 혼합카이제곱분포의 임계치 21.666보다 크므로 유의미하다. 트랜스로그모형에서는 일반우도비검정통

14) 등호 및 부등호 제약(equality and inequality restrictions)을 공동으로 검정하기 위한 혼합카이제곱분포의 임계치(critical value)에 대해서는 Kodde & Palm(1986: 1246)의 <표 1>을 참조하기 바람.

15) 유금록(2001), 전제논문, p.109.

계량이 36.183으로 이 값은 유의수준 0.1%에서 자유도 6을 가진 혼합카이제곱분포의 임계치 21.666보다 크므로 유의미하다.

우리나라의 컨테이너터미널의 기술적 효율성을 살펴보면 콤팩터클러스모형에서는 평균 73.49%, 트랜스로그모형에서는 2002년 71.28%, 2003년 79.59%, 2004년 86.25%였으며, 평균은 79.04%를 나타냈다. 따라서 국내 컨테이너터미널의 기술적 효율성은 약간 높은 수준임을 알 수 있다. 즉, 한국컨테이너터미널들은 생산요소를 생산변경(production frontier)에 어느정도 근접한 생산량을 산출하도록 약간 높은 효율적으로 투입함으로써 컨테이너터미널을 관리운영하는 과정에서 비효율적인 요소가 어느 정도 존재하지만, 규모에 대한 수익체증(increasing returns to scale)을 나타내고 있다는 것을 시사하고 있다. 이러한 현상 때문에  $\gamma$ 값도 추정치는 콤팩터클러스모형(0.7186), 트랜스로그모형(0.9123)으로 나타났지만, 10% 유의수준에서 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타나고 있다. 이것은 국내 컨테이너터미널들에 대한 지속적인 투자가 이루어짐으로써 컨테이너화물처리량이 급속하게 증가하고 있음을 의미한다.<sup>16)</sup>

<표 4> 확률프론티어분석을 통한 최대우도추정[Cross-sectional Panel Data]

|                | SFA콤팩터클러스 모형(Half-normal) | SFA트랜스로그 모형(Truncated-normal) |
|----------------|---------------------------|-------------------------------|
|                | 추정치                       | 추정치                           |
| $\beta_0$      | 0.70472                   | 0.69923                       |
| $X1 = Bt Lt_t$ | 0.21868                   | 0.15574                       |
| $X2 = Emp_t$   | -0.40666                  | 0.76319                       |
| $X3 = Con Y_t$ | -0.46328                  | -0.58411                      |
| $X4 = C/ C_t$  | -0.17977                  | 0.37126                       |
| $\sigma^2$     | 0.26089                   | 0.53599                       |
| $\gamma$       | 0.99999                   | 0.99999                       |
| $u_i$          |                           | -0.56287                      |
| 로그우도함수         | -0.31748                  | 0.23217                       |
| LR수치           | 0.12727**                 | 0.19123***                    |

주: \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ .

16) 그러나 측정결과에 의하면, 횡단면자료와 시계열자료에서 SFA콤팩터클러스모형과 SFA트랜스로그모형 파라미터 모두가 유의하지 못하여 이 파라미터를 근거로한 비효율성의 측정치 역시 신뢰하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 그러나 위와 같은 결과는 본 논문에서 사용하고 있는 자료가 24개의 터미널과 4개의 투입요소와 1개의 산출요소로 구성되어 있어서 자료의 안정성과 모델구성에서 취약점을 가지고 있기 때문에 발생한 현상으로 사료된다. 그러나, 서론에서 저자가 명시한 바와 같이, 본 논문은 DEA와 SFA의 측정방법을 소개하고 접목시키는 것에 연구의 목적을 두었다. 따라서, 심사자들이 지적하고 있는 사항들에 대한 보다 심도 있는 연구는 차후연구에서 다루고자 한다.



<표 4-1> 확률프론티어분석을 통한 기술적 효율성[Cross-sectional Panel Data]

|                       | SFA콥더글러스 모형<br>(Half-normal) | SFA트랜스로그 모형<br>(Truncated-normal) |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------------|
|                       | 기술적 효율성수치                    | 기술적 효율성 수치                        |
| 1. 허치슨2004            | 0.49219                      | 0.53009                           |
| 2. 신선대2004            | 0.78966                      | 0.96277                           |
| 3. 감만2004             | 0.99979                      | 0.99800                           |
| 4. 신감만2004            | 0.80403                      | 0.87525                           |
| 5. 우암2004             | 0.64113                      | 0.78749                           |
| 6. 감천2004             | 0.90887                      | 0.99884                           |
| 7. 광양페이즈 1<br>(2004)  | 0.99743                      | 0.97052                           |
| 8. 광양페이즈 2<br>(2004)  | 0.71258                      | 0.62697                           |
| 9. 허치슨2003            | 0.43392                      | 0.48787                           |
| 10. 신선대2003           | 0.66112                      | 0.85983                           |
| 11. 감만 2003           | 0.84691                      | 0.87044                           |
| 12. 신감만2003           | 0.64997                      | 0.69676                           |
| 13. 우암2003            | 0.69697                      | 0.92694                           |
| 14. 감천2003            | 0.84992                      | 0.93406                           |
| 15. 광양페이즈<br>1 (2003) | 0.98190                      | 0.95540                           |
| 16.광양페이즈 2<br>(2003)  | 0.43807                      | 0.38544                           |
| 17.허치슨 2002           | 0.58965                      | 0.55683                           |
| 18. 신선대2002           | 0.62138                      | 0.78659                           |
| 19. 감만 2002           | 0.73160                      | 0.81858                           |
| 20. 신감만2002           | 0.41950                      | 0.44970                           |
| 21. 우암2002            | 0.65667                      | 0.87334                           |
| 22. 감천2002            | 0.83950                      | 0.92261                           |
| 23.광양페이즈 1<br>(2002)  | 0.96136                      | 0.99814                           |
| 24.광양페이즈 2<br>(2002)  | 0.18606                      | 0.16371                           |
| 평균효율성                 | 0.70459                      | 0.76817                           |

주: \*\*\* $p < 0.001$ .

<표 5-1> 확률프론티어분석을 통한 기술적 효율성[Time Series Data]

|                       | SFA콥더글러스 모형<br>(Half-normal)<br>기술적 효율성수치 | SFA트랜스로그 모형<br>(Truncated-normal)<br>기술적 효율성 수치 |
|-----------------------|---|---|
|                       | 1. 허치슨2004                                | 0.58296   |
| 2. 신선대2004            | 0.78293                                   | 0.95727   |
| 3. 감만2004             | 0.85678                                   | 0.97997   |
| 4. 신감만2004            | 0.67777                                   | 0.78620   |
| 5. 우암2004             | 0.76993                                   | 0.95238   |
| 6. 감천2004             | 0.87547                                   | 0.97093   |
| 7. 광양페이즈 1<br>(2004)  | 0.89921                                   | 0.95875   |
| 8. 광양페이즈 2<br>(2004)  | 0.43373                                   | 0.48450                      0.86245            |
| 9. 허치슨2003            |   | 0.70155   |
| 10. 신선대2003           |   | 0.92954   |
| 11. 감만 2003           |   | 0.96670   |
| 12. 신감만2003           |   | 0.66777   |
| 13. 우암2003            |   | 0.92161   |
| 14. 감천2003            |   | 0.95185   |
| 15. 광양페이즈<br>1 (2003) |   | 0.93195   |
| 16. 광양페이즈 2<br>(2003) |   | 0.29602                      0.79587            |
| 17. 허치슨 2002          |   | 0.55187   |
| 18. 신선대2002           |   | 0.88528   |
| 19. 감만 2002           |   | 0.94505   |
| 20. 신감만2002           |   | 0.50796   |
| 21. 우암2002            |   | 0.87268   |
| 22. 감천2002            |   | 0.92099   |
| 23. 광양페이즈 1<br>(2002) |   | 0.88910   |
| 24. 광양페이즈 2<br>(2002) |   | 0.12943                      0.71280            |
| 평균                    | 0.73485                                   | 0.79037   |

4) 회귀분석을 통한 비효율의 원인 추정방법

국내 컨테이너터미널의 비효율성의 원인을 밝혀내기 위해서 회귀분석을 실시하였다. 종속변수는 <표5-1>의 SFA트랜스로그모형의 효율성 수치를 이용하였으며, 독립변수는 산출변수인 TEU와 투입변수 4개를 모두 이용하였다. 회귀분석결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 비효율성의 원인을 파악하기 위한 회귀분석결과 [SFA트랜스로그 모형]

| 모형요약     |           |       |         |           |               |
|----------|-----------|-------|---------|-----------|---------------|
| 모형       | R         | R제곱   | 수정된 R제곱 | 추정값의 표준오차 | Durbin-Watson |
|          | 0.831     | 0.691 | 0.606   | 0.14733   | 2.020         |
| 분산분석     |           |       |         |           |               |
|          | 제곱합       | 자유도   | 평균제곱    | F         | 유의확률          |
| 선형회귀잔차   | 0.875     | 5     | 0.175   | 8.065     | 0.000         |
| 잔차       | 0.391     | 18    | 0.022   |           |               |
| 합계       | 1.266     | 23    |         |           |               |
| 계수       |           |       |         |           |               |
| 모형       | 비표준화계수    |       | 표준화 계수  | t         | 유의확률          |
|          | B         | 표준오차  | 베타      |           |               |
| 상수       | 1.047     | 0.104 |         | 10.029    | 0.000         |
| 종업원수     | 2.632E-04 | 0.001 | 0.246   | 0.426     | 0.675         |
| 부두길이     | -1.3E-04  | 0.000 | -0.207  | -0.573    | 0.574         |
| 컨테이너야드면적 | 2.095E-04 | 0.000 | 0.274   | 1.012     | 0.325         |
| 겐트리크레인수  | -0.111    | 0.045 | -1.715  | -2.450    | 0.025         |
| TEU      | 5.388E-07 | 0.000 | 1.759   | 4.559     | 0.000         |

위의 <표 6>을 통해서 우리나라 컨테이너터미널의 기술적 효율성에 가장 큰 영향을 미치고 있는 변수는 컨테이너 화물처리량(TEU)로 나타났다. 따라서 국내 컨테이너터미널들이 기술적인 효율성을 높이기 위해서는 컨테이너 화물처리량을 높이는 방법을 모색해야만 하는 것이 필요한 것으로 나타났다.<sup>17)</sup> 그러나 <표 6>의 회귀분석을 통한 비효율성의 원인분석은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 즉, 좌측변수가 효율성의 수치를 사용하고 우측변수는 종업원수, 부두길이, 컨테이너야드면적, 겐트리크레인수, TEU 등을 사용하고 있으나, 이 우측변수는 효율성을 측정하는 모형에서 이미 사용된 변수로서 이미 확인된 원인변수를 비효율성의 원인변수로 잡는 것은 모순적이다. 따라서 이 비효율성의 부분은 이미 확인된 변수 이외의 요인 즉 조직의 혁신이라든지 새로운 기술의 도입이라든지 정책의 변화라든지, 항만의 특수한 여건이라든지 등의 비효율성의 원인이라고 보여 지는 새로운 변수를 찾아 회귀분석을 하는 것이 타당할 것이다.<sup>18)</sup>

17) 시계열자료를 이용한 트랜스로그모형에서도 유사한 결과를 얻었다. 즉, 컨테이너화물처리량의 표준화베타계수 값이 2.046으로 가장 컸으며, 유의확률도 매우 높은(0.000) 것으로 나타났다.  
 18) DEA와 SFA를 동시에 사용하여 효율성을 측정하고 그 결과를 비교한 기존 연구들에서 논의된 바에 의하면, 종속변수(이 연구에서는 SFA translog model의 효율성 값)가 truncated or censored 되어 있을 경우 일반회귀분석(OLS)은 불일치·편의 추정치(inconsistent and biased

### 5) DEA와 SFA의 기술효율성의 순위상관분석

<표 3>의 DEA 효율성 수치에 의한 순위와 <표 5-1>의 트랜스로그 SFA의 기술효율성 수치에 의한 순위에 대해서 상관관계를 분석한 결과 Pearson 상관계수(0.689) Kendall의 tau(0.529), Spearman의 rho(0.689)로 나타났다. 따라서 켄달의 tau값을 중심으로 보았을 때는 부합율<sup>19)</sup>은  $0.7645[(1+0.529)/2]$ , 스피어만의 rho값을 중심으로 보았을 때는 부합율이 0.8445로 나타났으므로, 양자 간에 높은 순위상관이 있는 것으로 나타났다.

## IV. 결 론

본 논문에서는, 국내와 외국에서 선행된 항만분야의 SFA분석과 관련된 선행연구들을 간략하게 검토하였으며, 또한 국내 컨테이너터미널 8곳의 3년간(2002년, 2003년, 2004년) 자료를 이용하고, 4개의 투입물[종업원수(명), 부두길이(m), 부지면적(평방m), 갠트리 크레인 대수(대)]과 1개의 산출물[년간 컨테이너 처리실적(TEU)]을 이용하여 SFA 및 DEA 측정방법으로 실증분석하는 방법을 보여주었으며, 양자의 차이점을 간략하게 제시하였다.

주요한 실증분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 반정규분포를 갖는 기술적 비효율성효과가 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각하고 반정규분포를 갖는 기술적 비효율성효과가 존재한다는 대립가설을 채택할 수 있다. 이것은 기술적 비효율성효과를 고려하지 않는 전통적인 평균반응함수(average response function)가 자료를 적절히 표현하지 못한다는 것을 의미한다. 트랜스로그모형에서는 검정통계량이 19.12로 이 값은 유의수준 0.5%에서 자유도 6을 가진 혼합카이제곱분포의 임계치 16.074보다 크므로 유의미하다. 둘째, 시계열자료를 이용한 분석에서는 콤퍼글러스모형과 트랜스로그모형에서 모두 유의미한 결과를 보였다. 셋째, 우리나라의 컨테이너터미널의 기술적 효율성을 살펴보면 콤퍼글러스모형에서는 평균 73.49%, 트랜스로그모형에서 평균은 79.04%를 나타냈다. 따라서 국내 컨테이너터미널의 기술적 효율성은 약간 높은 수준임을 알 수 있다. 즉, 한국컨테이너터미널들은 생산요소를 생산변경(production frontier)에 어느정도 근접한 생산량을

---

estimates)를 발생시킨다고 보고되고 있다. 실제로 <표 6>을 보면 (비)표준화계수에 이상치가 있음을 볼 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해소하기 위해서는 기존 연구들에서 제안하듯이 Tobit analysis 등을 사용하여 분석하는 것이 타당하다고 판단된다.

19) 부합적(符合的), concordant)이라는 것은 두 관측 중에서 한 변량 값이 큰 관측이 다른 변량 값도 큰 경우이며, 비부합적이라는 것은 한 변량 값이 큰 관측이 다른 변량 값은 작은 경우이다. 자세한 것은 허명희, 『SPSS를 활용한 통계적 방법론』, SPSS아카데미, 2002, pp.18-21을 참조요망.

산출하도록 약간 높은 효율적으로 투입함으로써 컨테이너터미널을 관리운영하는 과정에서 비효율적인 요소가 어느 정도 존재하지만, 규모에 대한 수익체증(increasing returns to scale)을 나타내고 있다는 것을 시사하고 있다. 이러한 현상 때문에  $\gamma$ 값도 추정치는 콤팩트글러스모형(0.7186), 트랜스로그모형(0.9123)으로 나타났지만, 10% 유의수준에서 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타나고 있다. 이것은 국내 컨테이너터미널들에 대한 지속적인 투자가 이루어짐으로써 컨테이너화물처리량이 급속하게 증가하고 있음을 의미한다. 넷째, 국내 컨테이너터미널들이 기술적인 효율성을 높이기 위해서는 컨테이너화물처리량을 높여야만 되는 것으로 나타났다.

본 연구의 정책적인 함의는 다음과 같다.<sup>20)</sup> 즉, 첫째, 항만운영에 관여하는 정책입안자들은 본 연구에서 사용한 SFA모형에 의해서 보다 정확한 효율성을 측정하여 도입하는 것이 필요하다. 둘째, 기술적 효율성을 높이기 위해서 컨테이너터미널에 보다 많은 컨테이너화물을 유치하는 것이 필요함으로 그런 부문에 컨테이너 터미널에 대한 투자가 필요하다.<sup>21)</sup>

본 연구의 한계점은 첫째, 분석에 사용된 자료의 특성 때문에 실증분석결과가 만족할 만하게 유의한 결과를 얻지 못했다. 따라서 신뢰도가 높은 파라미터( $t$ 값이 유의한 파라미터)의 추정을 위한 노력이 필요하다. 둘째, 분석결과에 신뢰성을 확보하기 위해서는 컨테이너 터미널의 상황에 적합한 투입요소와 산출요소의 선정 과정에 대한 논리적인 설명이 필요하고, 또한 분석결과에 대한 단순 제시보다는 보다 의미 있는 해석과 비판적 논의가 충분히 다루어질 필요가 있다는 점이다. 차후연구에서는 그러한 한계점을 극복하고자 한다.

20) 본 추정결과에 의한 정책적인 함의는 추정결과에 신뢰성 부족으로 신뢰도가 높은 파라미터( $t$ 값이 유의한 파라미터)의 추정을 위해서 보다 많은 표본과 투입 및 산출요소, 개별 터미널들의 자체적인 운영현황에서 발생하는 문제점과 관련된 변수들을 도입하여 측정하는 후속연구가 필요하다고 사료된다. 또한 추정결과는 신뢰도가 높은 파라미터( $t$ 값이 유의한 파라미터)의 추정이 있을 경우 의미가 있을 것으로 보인다.

## <참 고 문 헌>

1. 류동근, " 국내 컨테이너 전용터미널의 효율성 비교:DEA 접근 ," 『해운물류연구』 제47호, 한국해운물류학회, 2005, pp.21-38.
2. 박노경, "Tier분석을 통한 벤치마킹항만 적출방법," 『한국항만경제학회지』 제25집 제1호, 한국항만경제학회, 2009a, pp.15-28.
3. 박노경, "Negative DEA를 이용한 국내항만의 운영위험평가 측정방법," 『한국항만경제학회지』 제25집 제2호, 한국항만경제학회, 2009b, pp.57-72.
4. 박노경, "국내항만투자의 유효성 검증을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구," 『한국항만경제학회지』 제24집 제2호, 한국항만경제학회, 2008, pp.209-239.
5. 박노경, " 슬랙변수모형을 이용한 효율성 측정방법: 은행산업 적용소고," 『대한경영학회지』, 제45호, 대한경영학회, 2004, pp.1823-1847.
6. 박노경, "국내항만투자의 유효성 검증을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구," 『한국항만경제학회지』 제24집 제2호, 한국항만경제학회, 2008, pp.209-239.
7. 박노경, "컨테이너 터미널의 방사-비방사적 효율성 측정방법 비교," 『모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구』 제24집 제2호, 한국항만경제학회, 2007, pp.17-41.
8. 박노경, "국내항만투자의 가치사슬 효율성 측정," 『무역학회지』 제28권 제3호, 한국무역학회, 2003a, pp.181-204.
9. 박노경, "항만투자의 유효성 측정방법: Congestion 모형접근," 『한국항만경제학회지』 제19집 제2호, 한국항만경제학회, 2003b pp.33-53.
10. 여규현 · 이영수, "국제항공운송회사의 비용효율성 연구: 국제비교를 중심으로," 『한국항공운항학회지』 제15권 제4호, 한국항공운항학회, 2007, pp.108-116.
11. 유금록, " 공공부문의 효율성 평가를 위한 모수적 변경추정법," 『한국사회와 행정연구』 제12권 제2호, 서울행정학회, 2001 pp.99-115.
12. 국토해양부(구 해양수산부), 『해양수산통계연보』, 국토해양부(구 해양수산부), 2005.
13. 한국컨테이너부두공단, <http://www.kca.or.kr>
14. 허명희, 『SPSS를 활용한 통계적 방법론』, SPSS아카데미, 2002.
15. Adler, N., L. Friedman, and Z. Sinuani-Stern, " Review of Ranking Methods in the Data Envelopment Analysis Context," European Journal of Operational Research, Vol.140, 2002, pp.249-265.
16. Aigner, D. J., C. A. K. Lovell, & P. Schmidt. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Models. Journal of Econometrics, 6: 21-37.
17. Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," Management Sciences, Vol. 30, 1984, pp. 1078-1092.
18. Barros, C.P., M. Athanassiou, " Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal," Maritime Economics & Logistics, Vol. 6, 2004, pp. 122-140.
19. Battese, G. E. (1992). "Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics," Agricultural Economics, 7: 185-208.
20. Battese, G. E. (1998). "A Stochastic Frontier Model for the Analysis of the Effects of Quality of Irrigation Water on Crop Yields," CEPA Working Papers. No. 9/98. University of New England, Australia.

21. Battese, G. E. & S. S. Broca, "Functional Forms of Stochastic Frontier Production Functions and Models for Technical Inefficiency Effects: A Comparative Study for Wheat Farmers in Pakistan," *Journal of Productivity Analysis*, Vol.8, 1996, pp. 395-414.
22. Battese, G. E. & T. J. Coelli, "Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies With a Generalised Frontier Production Function and Panel Data," *Journal of Econometrics*, Vol.38, 1988, pp.387-399.
23. Battese, G. E. & T. J. Coelli, "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India," *Journal of Productivity Analysis*, Vol.3, 1992, pp. 153-169.
24. Battese, G. E. & T. J. Coelli, "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data," *Empirical Economics*, Vol.20, 1995, pp.325-332.
25. Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, 1978, pp. 429-444.
26. Coelli, T. J., "Estimators and Hypothesis Tests for a Stochastic Frontier Function: A Monte Carlo Analysis," *Journal of Productivity Analysis*, Vol.6, 1995, pp.247-268.
27. Coelli, T. J., A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Frontier Production Function Estimation. CEPA Working Paper 96/07. Department of Econometrics, University of New England, Armidale, Australia. 1996.
28. Coelli, T., D. S. P. Rao, & G. E. Battese, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.
29. Coto-Millan, P., Banos-Pino, J. and Rodriguez-Alvarez, A., "Economic Efficiency in Spanish Ports: Some Empirical Evidence," *Maritime Policy and Management*, Vol. 27, No. 2, 2000, pp.169-174.
30. Cullinane, K., and D.W. Song, "Estimating the Relative Efficiency of European Container Ports: A Stochastic Frontier Analysis," *Research in Transportation Economics*, Vol. 16, 2006, pp.85-115.
31. Cullinane, K., and D.W. Song, "A Stochastic Frontier Model of the Productive Efficiency of Korean Container Terminals," *Applied Economics*, Vol. 35, No.3, 2003, pp.251-267.
32. 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*, Vol. 36, No.8, 2002, pp.743-762.
33. Cullinane, K., T.F. Wang, D.W. Song, and P. Ji, "The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis," *Transportation Research Part A*, Vol. 40, 2006, pp.354-374.
34. Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120(3): 253-290.
35. Han, C.H., "An Empirical Study on the Determinants for 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.
36. Kodde, D.A., and F.C. Palm, "Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions," *Econometrica*, Vol.54, No.5, 1986, pp.1243-1248.

37. Kumbhakar, S. C. & C. A. K. Lovell., *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
38. Lin, L.C., and L.A. Tseng, "Application of DEA and SFA on the Measuring of Operating Efficiencies for 27 International Container Ports," *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5,2005, pp.597-598.
39. Liu, Z., "The Comparative Performance of Public and Private Enterprises," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 29, No. 3, 1995, pp.263-274.
40. Meeusen, W. & J. van den Broeck. (1977). *Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error*. *International Economic Reviews*, 18: 435-444.
41. Notteboom, T., Coeck, C. and van den Broeck, J., "Measuring and Explaining the Relative Efficiency of Container Terminals by Means of Bayesian Stochastic Frontier Models," *International Journal of Maritime Economics*, Vol. 2, No. 2, 2000, pp.83-106.
42. Park, R.K., "A Trend Analysis on Scale Efficiency of the Port of Gwangyang: 1994-2004," *Journal of Korea Port Economic Association*, Vol.22, No.3, 2006, pp.59-78.
43. Park, R.K., "A Verification of Korean Containerport Efficiency Using the Bootstrap Approach," *Journal of Korea Trade*, Vol.12, No.2, 2008, pp.1-30.
44. Park, R.K. and P. De, "An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaports," *Maritime Economics and Logistics*, Vol.6, 2004, pp.54-69.
45. 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.
46. Sharma, M. J. and S.J. Yu, "Performance Based Stratification and Clustering for Benchmarking of Container Terminals," *Expert Systems with Application*, Vol. 36, 2009, pp.5016-5022.
47. Tongzon, J.(2001), "Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis," *Transportation Research, Part A*, Vol. 35, pp.113-128.
48. 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.
49. Wang, T.F., K. Cullinane, and D.W. Song, *Container Port Production and Economic Efficiency*, Palgrave Macmillan, 2005.



< 요약 >

## 확률프론티어분석을 통한 국내컨테이너 터미널의 효율성 측정방법

박 노 경

본 논문에서는, 국내와 외국에서 선행된 항만분야의 SFA분석과 관련된 선행연구들을 간략하게 검토하였으며, 또한 국내 컨테이너터미널 8곳의 3년간(2002년, 2003년, 2004년)자료를 이용하고, 4개의 투입물[종업원수(명), 부두길이(m), 부지면적(평방m), 갠트릭레인 대수(대)]과 1개의 산출물[년간 컨테이너 처리실적(TEU)]을 이용하여 SFA 및 DEA측정방법으로 실증분석하는 방법을 보여주었으며, 양자의 효율성 순위를 스피어만의 상관분석을 통해 검증하여 보았다.

주요한 실증분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 반정규분포를 갖는 기술적 비효율성효과가 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각하고 반정규분포를 갖는 기술적 비효율성효과가 존재한다는 대립가설을 채택함으로써 전통적인 평균반응함수(average response function)가 자료를 적절히 표현하지 못한다는 것을 검증하였다. 트랜스로그모형에서는 검정통계량이 19.12로 이 값은 유의수준 0.5%에서 자유도 6을 가진 혼합카이제곱분포의 임계치 16.074보다 크므로 유의미하다. 둘째, 시계열자료를 이용한 분석에서는 콤팩트로그모형과 트랜스로그모형에서 모두 유의미한 결과를 보였다. 셋째, 우리나라의 컨테이너터미널의 기술적 효율성을 살펴보면 콤팩트로그모형에서는 평균 73.49%, 트랜스로그모형에서 평균은 79.04%를 나타냈다. 따라서 국내 컨테이너터미널의 기술적 효율성은 약간 높은 수준임을 알 수 있다. 즉, 한국컨테이너터미널들은 생산요소를 생산변경(production frontier)에 어느정도 근접한 생산량을 산출하도록 약간 높은 효율적으로 투입함으로써 컨테이너터미널을 관리운영하는 과정에서 비효율적인 요소가 어느정도 존재하지만, 규모에 대한 수익체증(increasing returns to scale)을 나타내고 있다는 것을 시사하고 있다. 넷째, 국내 컨테이너터미널들이 기술적인 효율성을 높이기 위해서는 컨테이너 화물처리량을 높여야만 되는 것으로 나타났다. 다섯째, DEA효율성수치에 의한 순위와 SFA효율성 수치에 의한 순위상관분석에서는 높은(84.45%) 순위상관이 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 정책적인 함의는 항만운영에 관여하는 정책입안가들은 본 연구에서 사용한 SFA모형을 항만의 기술적인 효율성 측정에 도입하는 한편, 기술적인 효율성을 높이기 위해서 컨테이너화물의 처리량(TEU)을 높이는 방법을 도입해야만 한다.

□ 주제어: 국내항만, 확률프론티어분석, 효율성, SFA, DEA