

정보화 수준을 고려한 컨테이너터미널의 효율성 평가

최봉환* · 신재영** · 양윤옥*** · 신창훈†

*한국허치슨터미널주식회사, **†한국해양대학교 물류시스템공학과, ***한국해양대학교 물류시스템공학과 대학원

Efficiency Measurement of Container Terminals with DEA using an Input Variable of Information Level

Jae-Young Shin* · Bong-Hwan Choi** · Yun-Ok Yang*** · ChangHoon Shin†

*Hutchison Korea Terminals, Busan 601-050, Korea

**†Department of Logistics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 오늘날의 전반적인 산업분야에서는 정보기술을 바탕으로 운영되고, 이에 대한 투자가 증가되고 있다. 물류산업에서도 물류정보망의 중요성이 커지고, 효율적으로 운영하기 위한 정보화 투자가 증가되고 있다. 효율성에 관한 기존연구에서는 설비와 같은 고정자산만을 고려한 효율성 분석으로 이루어져, 정보화 수준이 효율성에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡하다. 본 연구는 컨테이너 터미널 효율적 운영을 위하여 정보화 수준을 고려한 효율성 분석의 중요성을 제시하고, DEA와 Bootstrap를 이용하여 정보화 수준과 관련된 상대적 효율성을 측정하였다.

핵심용어 : 컨테이너터미널, DEA, 정보화 수준, 효율성분석, 부트스트랩

Abstract : Today, overall industry has been operated on the basis of information technology and has increased the investment on it. In the logistics industry, the integrated material handling information network has become important more and more and the investment on the informatization has been increased to operate efficiently. In the previous literature, most of the measures for the efficiency of container terminals were the variables such as fixed assets of equipments. There has not been any research effort toward examining the effect of informatization level on the efficiency. This work describes the importance on the efficiency evaluation considering the informatization level to in a container terminal and the relative efficiency level is measured using data envelopment analysis and bootstrap.

Key words : Container Terminal, Informatization Level, Efficiency analysis, DEA, Bootstrap

1. 서 론

현대 사회는 IT의 급격한 발전으로 정보화에 대한 수요가 증가하고 있다. 공공분야 뿐만 아니라 모든 영역의 산업에서도 정보가 중요한 경제적 자원으로 활용되고 있다. 기업의 경우 전반적인 활동과정에서 정보기술을 활용하는 비중이 늘고 있으며, 경쟁력 및 잠재적 성장력을 실현시키고 기업의 생산성을 향상시키기 위하여 정보기술은 필수적으로 이용되어 왔다.

컨테이너터미널에서는 컨테이너의 이송을 원활하게 운영하기 위하여 이에 필요한 정보를 제공한다. 전산화된 시스템의 구축 및 운영은 컨테이너터미널에서 작업하는데 매우 중요한 역할을 한다. 또한 내부적으로 컨테이너터미널은 게이트, 장치장작업, 본선 적·양하등의 작업을 효율적으로 수행하기 위하여 정보화 기술을 사용하고 있다. 기본적으로 컨테이너터미널에서 전자자료 교환을 바탕으로 운영되어지기 때문에 정보시스템의 중요성

을 강조하고 있다. 기존연구에서 정보화는 항만의 생산성을 향상시키고 경쟁력을 강화하기 위한 하나의 요소로 연구되어져 왔다. 물류에서 정보화는 정보화의 일반적인 개념에 해운·항만 물류부문의 특성을 적용하여 효율적인 물류정보망을 구축하는 것으로 해석할 수 있다.

정보화(Informatization)란 정보기술(Information Technology)을 활용하는 모든 활동이며 특정 주체가 IT의 구축과 활용을 통하여 원하는 목적을 달성하는 과정과 방법을 말한다. 정보화에 대한 규모나 범위가 확대되고 있어 계획, 조직, 평가와 관리의 필요성을 제기한다. 컨테이너터미널의 운영과정 중 정보화에 투입 예산과 영향력이 증대되고 있어 효율적으로 운영되고 있는지 정보화 수준의 분석과 평가가 이루어져야 한다. 임(2007)은 정보화 수준이란 정보기술 자체 및 정보기술을 활용한 활동이 정보화 주체에 미치는 긍정적 영향의 정도를 의미한다. 이러한 정보화 수준을 측정하여 평가하는 활동은 기업이 보

* 대표저자(정회원) : 최봉환, itcbh@hktl.com 051)630-8251

** 정회원, shinjy@hhu.ac.kr 051)410-4335

*** 정회원, twu04@nate.com 051)410-4930

† 교신저자 : 신창훈(정회원), chshin@hhu.ac.kr 051)410-4930

유한 정보기술 및 정보화를 관리하는데 필수적이다. 하지만, 실질적인 정보화수준 평가는 어려우며, 기업 생산성의 한 단위로 측정되는 기본적인 틀을 제공하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이는 투자에 대한 정보시스템성과의 효율성을 평가하고 있으나, 한 단위별로 정보기반시스템에 대하여 평가하는 방법으로 정보화 수준 평가지표를 찾아내기는 어려운 실정이다. 이로써, 컨테이너터미널에 적용할 수 있는 정보화 투자에 대한 타당성과 효과적인 측정방안에 관한 모색이 필요하다. 본 연구에서는 국내 컨테이너터미널의 정보화 수준을 높이기 위한 효율적인 평가시스템의 구축을 도모하고 실질적인 관점에서 평가체계의 개발에 대한 제안을 연구목적으로 두고 있다. 최근 몇 년간 컨테이너터미널의 실질적인 정보화 요인에 관한 데이터를 바탕으로 실증분석을 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 정보화와 성과에 관한 연구

정보화를 통한 기업성과에 미치는 영향에 대한 이론적 고찰로 Bharadwaj et al.(1999)이 IT투자는 기업의 단기적인 성과보다는 장기적 경영성과를 향상시키며, 기업의 무형가치를 높이는 데 효과와 이러한 IT투자의 수익성 효과를 제대로 파악하기 위하여 수익성 지표로 활용하여야 한다. Rai et al.(1996)은 정보화의 기업 효율성 개선이 기업 경영프로세스 품질, 정보화 전략과 관련된 연계성 등에 의하여 의존한다고 주장하였다.

황 등(2005)은 정보화 활용지표가 기업의 성과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 정보화 수준은 실제로 정보화 투자를 얼마만큼 했는지도 중요하지만, 이미 투자된 자원을 얼마나 효율적으로 활용하는가에 더 큰 비중을 두고 있기 때문에 정보화 활용수준이 기업의 성과에 영향을 미친다고 하였다. 유(2007)는 중소기업의 정보화 방향과 목표를 효과적으로 설정하기 위해서 정보화 수준에 대한 과학적이고 공신력 있는 평가가 필수적이다. 이를 통해 국내 중소기업으로 하여금 정보화에 대한 인식 전환의 필요성을 제시하였다. 정보시스템에 대한 지속적인 투자와 관리에 대한 동기를 유발시키기 위해서 중소기업이 처해 있는 상황에 대한 객관적인 지표의 필요성을 제시하였다.

2.2 정보화 수준 평가

기존문헌들에는 정보시스템 범위에서 평가에 대한 연구들이 이루어져 있어 정보화 수준을 측정할 수 있는 실질적인 평가요인에 대한 분석이 필요하다.

이(2000)는 정보화 사업의 재정규모가 상대적으로 크고 그 파급효과 또한 지대한 상황에서 정보화 평가는 필수적이 되고 있고 평가결과의 활용이 부진하면서 평가방법에 대한 문제를 제시하였다.

한국전산원(1999)은 국가, 지방자치단체와 기업의 정보화 수준에 객관적인 평가를 위해 국내 정보화 수준의 평가사례를 이용하여 정보화 수준 평가 모형을 제시하였다. i) 국가 정보화

지표로 정보설비지표, 정보이용지표, 정보화지원지표는 정보통신의 구성요소를 중심으로 구성요소의 기반과 활용을 직접적으로 측정하여 정보화 수준을 평가하는데 대표적인 요인으로 제시하였다. ii) 지방자치단체의 정보화 수준 측정은 정보지원기반과 정보화 투자, 정보화 인력과 설비의 확충, 정보이용과 조직으로 평가하였다. iii) 기업 정보화 수준 측정은 정보화목표수준, 정보설비수준, 정보화지원수준, 정보서비스 및 이용수준으로 평가요인을 제시하였다.

중소기업기술정보진흥원(2006)은 중소기업의 정보화 수준 평가부문을 정보화 전략수립, 정보화 추진환경, 정보화 구축현황, 정보화 활용수준, 정보화 효과수준의 5개 부분으로 구성하였다. 5개의 평가부문을 평가 목적의 명료성, 평가영역/항목의 합목적성, 항목간의 독립성, 측정용이성, 설문해석의 객관성/일관성, 측정가능성, 비교가능성 등을 고려하여 16개 평가항목으로 분류하여 총 56개 세부 평가항목을 작성하였다.

기업정보화지원센터(2002)은 정보화수준평가의 평가항목은 정보화목표, 정보화설비, 정보화환경, 정보화응용, 정보화활용의 6개 부분으로 구성되어 있으며, 이를 보다 세분화하면 13개 하위 평가영역에 대해서 평가를 실시하였다. 평가시스템(EIII Korea)은 기업정보화지원센터에서 개발·보완해 온 기업정보화수준평가시스템을 사용하였다. 정보화 수준 평가방법론(EIII : Evaluation Indices of Industrial Informatization)은 기업의 IT와 관련된 자원의 보유, 관리, 활용수준을 종합하여 기업정보화수준을 측정하기 위한 평가체계 및 절차, 양식, 도구를 정의한 방법론으로 정보화 수준을 과학적으로 기업의 정보화를 파악하는 종합적인 평가 도구시스템이다.

임 등(2006)은 기업의 전략과 성과지표를 프로세스 기반으로 연계하여 정보화 수준을 분석하기 위해서 KPI 기반의 정보화수준진단 방법(이하 IT-KPI 방법론)을 제시하였다. 임(2007)은 기업정보화 방법론 정보화 수준 평가 영역 프레임워크로 정보화용량, 정보화역량, 업무역량, 경영성과인 4가지 요소로 구성하였다.

Hartman et al.(1999)은 성공적인 기업에는 공통적으로 4가지 기본적인 요인을 가지고 있다. 4가지 영역으로는 리더쉽, 통제, 역량, 기술적인 면을 강조하였다. DeLone, et al.(1992)은 정보시스템에 관한 평가항목으로 시스템 및 정보 품질에서 활용, 사용자만족, 개인과 조직에 영향에 관한 평가항목으로 제시하였다. 기존 IS 성과모형에서 수정, 보완하여 새로운 IS 성과모형을 제시하여 서비스의 질을 추가하였다.

물류산업에서의 정보화 수준에 관한 연구로는 류 등(2008)은 항만의 정보화 수준을 파악하기 위한 기준을 수립하고, 정보화 수준 평가지수를 개발하고자 하였다. 정보화의 목표 수준, 설비 수준, 환경수준, 지원수준, 응용수준과 활용수준을 평가항목의 상대적 가중치를 이용한 지수산정법에 적용하였다. 이(2007)는 컨테이너터미널의 정보보호수준을 평가체계를 구축하고 지수 산출을 위해 AHP법을 기초로 하여 산출방법을 도입하였다. 평가영역으로 관리적 보안수준, 물리적 보안수준, 시스템 보안수준으로 3단계 과정을 거쳐 최종적으로 3가지 큰 범주와 그에

따른 10가지 세부평가항목을 구성하여 분석지표를 제시하였다. 정보통신정책연구원(2006)은 공공부문의 물류정보화 성과평가 모델을 수립하고자 하였다. 물류정보화 성과평가 모델을 도출하기 위해 KISDI에서 개발한 성과평가 모델과 최근 공공부문의 정보화 성과 평가에 적용되고 있는 pBSC모델을 비교 검토하여 최적의 공공부문 물류 정보화 성과평가 모델을 도출하였다.

2.3 효율성 분석

항만간 또는 터미널간 경쟁이 심화되면서 생산성 및 효율성 향상은 경쟁력 확보를 하는데 기본적인 요건이 되고 있다. Roll & Hayuth(1993)은 DEA 기법을 적용하여 20개 항구를 대상으로 산출요소 4개와 투입요소 3개를 이용하여 효율성 분석, Martinez-Budria et al.(1999)은 1993년부터 1997년까지 26개의 스페인 항만을 대상으로 상대적인 효율성을 검토하였다. 송재영(2005)은 1995년부터 2001년까지 세계 주요 53개 항만을 대상으로 분석하였다. 다음은 기존문헌에서 연구된 투입변수와 산출변수에 대하여 보여준다.

Table 1 Literature studies of Efficiency

연구자	투입 변수	산출 변수	측정 대상
Roll and Hayuth (1993)	노동비, 자본비, 시설과 화물특성	컨테이너 처리량, 서비스 수준, 이용자 만족도, 선박 기항수	이스라엘 (20개항만)
Martinez-Budria et al. (1999)	노동비, 감각상각비, 기타비용	총처리량	스페인 (26개항만)
Tongzon (2001)	선석수, 크레인수, 예인선수, 터미널면적크기, 대기시간, 하역자수	총처리량, 선박 작업물	호주 (16개항만)
Barros (2003)	자본금, 인원수	선박수, 화물처리량, 화물종류별 처리량, 컨테이너처리수, 총처리량, 순수익	포르투갈 (5개항만)
Park and De (2004)	접안능력, 하역능력	처리량, 선박기항수, 수익성, 고객만족도	국내 (11개항만)
Cullinane et al. (2004)	터미널면적, 안벽길이, 하역장비수, 인원수	처리량(TEU)	전세계 (25개항만)
Cullinane et al. (2006)	터미널길이, 터미널면적, 하역장비수	처리량(TEU)	전세계 (25개항만)
Rios and Maçada (2006)	크레인수, 안벽수, 인원수, 터미널면적, 야드장비	처리량(TEU) 시간당 처리량	북아메리칸 (23개터미널)
Barros (2006)	인원수, 투자비, 운영비	화물종류별 처리량, 선박수, 여객수, 컨테이너수, 총수익	이탈리아 (24개항만)
송재영 (2005)	야드면적, 하역장비수, 전산화, 야드계획	컨테이너처리량, 선석점유율	국내 (53개항만)
류동근 (2005)	인원수, 부두길이, 부지면적, 크레인수	처리량(TEU), 연간 선석점유율, 컨테이너 내장 화물톤수	국내 (24개터미널)
박노경와 박길영 (2007)	접안능력, 하역능력	수출화물처리량, 수입화물처리량, 선박입출항척수	국내 (26개항만)

3. 평가방법

3.1 DEA 모형

효율성은 생산조직을 평가하는데 투입과 산출간의 비율로 최소의 비용으로 최대의 효용을 창출하여 효율성 극대화를 할 수 있다. DEA는 Farrell(1957)에 의하여 기술효율성을 측정하기 위해 분석단위가 되는 의사결정단위(Decision Making Unit : DMU)를 효율적인 집합과 비교하여 상대적 효율성 차이를 측정하기 위한 선형계획기법을 제시하였다. 즉, 효율적 DMU들이 경험적으로 형성하는 효율성 프론티어를 통해 각 DMU의 상대적 효율성을 측정할 수 있다. DEA는 2차 자료를 통해 수집된 투입 및 산출 자료를 선형계획모형에 의한 지수로 계산한다.

컨테이너터미널에서 처리하는 투입량에 대하여 산출을 극대화하여야 한다. Charnes et al.(1978)은 하나의 산출물만을 측정하는 Farrell의 모형을 보다 일반화하여, 비영리적 의사결정단위를 대상으로 복수의 투입물과 복수의 산출물을 사용함으로써 상대적 효율성을 측정할 수 있도록 하였다. 이 방법은 복잡한 생산구조에서 유사한 투입변수와 산출변수를 갖는 단위끼리 비교하여 상대적인 능률성을 측정해주고 임의적 가중치를 정할 필요가 없으며, 자료를 분석할 때 투입과 산출의 원래단위를 그대로 사용이 가능하다는 점이다.

CCR 모형은 DMU별로 투입 및 산출 데이터가 주어진 상태에서 각 DMU의 효율성을 최대화할 수 있도록 투입 및 산출에 대한 가중치를 계산하는 최적화 모형이며 n 개의 DMU에 대한 투입 및 산출요소들의 가중치를 계산하기 위해서는 n 개의 CCR모형이 필요하며 n 개의 최적해를 구해야 한다.

DMU_k의 효율성 E_k 가 가질 수 있는 가장 큰 값은 1이며 $E_k=1$ 이면 DMU_k가 효율적인 상태로 해석하고 $E_k < 1$ 이면 DMU_k가 비효율적인 상태에 있는 것으로 해석할 수 있다. 복수의 최적해를 갖는 비율모형을 다음과 같이 일반적인 선형계획모형의 형태로 변환할 수 있으며, 이를 CCR 승수모형이라 하고 식(1)와 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } E_k = \sum_{r=1}^s y_{kr} u_r \\
 & \text{Subject to} \\
 & \sum_{i=1}^m x_{ki} v_i = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s y_{jr} u_r - \sum_{i=1}^m x_{ji} v_i \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \\
 & -v_i \leq -\epsilon, i = 1, 2, \dots, m \\
 & -u_r \leq -\epsilon, r = 1, 2, \dots, s
 \end{aligned} \tag{1}$$

- E_k : k 번째 DMU의 효율성
- s : 산출요소의 수
- m : 투입요소의 수
- y_{kr} : k 번째 DMU의 r 번째 산출요소의 양

- x_{ki} : k 번째 DMU의 i 번째 투입요소의 양
- u_{kr} : k 번째 DMU의 r 번째 산출요소 가중치
- v_{ki} : k 번째 DMU의 i 번째 투입요소 가중치
- ϵ : 매우 작은 양의 실수

선형계획모형의 분석시간은 제약조건의 수에 크게 의존한다. 따라서 이 경우 동일한 해를 제공하는 쌍대모형(dual)의 분석을 통하여 분석시간을 줄이고, 효율성 참조집합(비효율적인 단위의 참조대상의 집합)에 대한 분석한다. 이를 CCR 포락모형이라고 하고 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } \theta - \epsilon \cdot \sum_{i=1}^m s_i^- - \epsilon \cdot \sum_{r=1}^s s_r^+ \\
 & \text{Subject to} \\
 & x_{ki}\theta - \sum_{j=1}^n x_{ji}\lambda_j - s_i^- = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n y_{jr}\lambda_j - s_r^+ = y_{kr}, \quad r = 1, 2, \dots, s \\
 & \text{and} \\
 & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 & s_i^- \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & s_r^+ \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \\
 & \theta : \text{제약없음}
 \end{aligned} \tag{2}$$

- λ_j : 의사결정단위 j 의 참조목표인 효율적 단위
- θ : 의사결정단위 j 의 효율성
- s_i^- : 투입요소와 관련된 제약조건의 여유변수(slack variables)
- s_r^+ : 산출요소와 관련된 제약조건의 여유변수(slack variables)

위 모형의 최적해를 λ_j^* ($j = 1, 2, \dots, n$), s_i^{*-} ($i = 1, 2, \dots, m$), s_r^{*+} ($r = 1, 2, \dots, s$), θ^* 라고 하자. 최적해가 다음과 같은 조건을 만족하면 DMU_k는 효율적 DMU로 평가된다. $\theta^* = 1$, $s_i^{*-} = 0$ ($i = 1, 2, \dots, m$), $s_r^{*+} = 0$ ($r = 1, 2, \dots, s$)의 조건을 만족하지 못하면 DMU_k는 비효율적인 DMU로 평가된다.

DEA에 의한 평가 결과는 비효율적으로 판명된 DMU의 효율성 개선을 위한 참조집합을 제공하므로 이상적 투입 및 산출구조를 도출하여 해당 조직의 비효율적인 원인을 분석하고 개선 방향을 모색할 수 있다. 또한, 효율적인 DMU를 제시하고 비효율적인 DMU와 비효율정도에 관한 정보를 제공하여 참조집합(reference set)에 따른 효율성을 개선할 수 있는 방법도 알려준다. 비효율적인 DMU의 참조집합(reference set)으로 되는 DMU는 평가대상 DMU와 투입 및 산출구조가 비교적 유사한 집단으로 구성된다. 참조집합 분석의 목표는 비효율적인 DMU가 효율성 프론티어 상으로 이동하기 위해 투입 및 산출구조를 어떻게 변화시켜야 하는가에 대한 정보를 제공하는 것이다. 본 연구에서는 투입방향의 CCR모형을 통해서 비효율적인 DMU들

의 참조집합(reference set)을 제시하고 각 참조집합의 투입 및 산출구조와 비교하여 비효율성 정도와 잠재개선가능성(Potential improvement)를 제공한다.

즉, 효율성 점수는 투입요소 집합을 산출요소 집합으로 변화하는 터미널의 능력을 나타낸다. 본 연구에서는 제각기 다른 단위로 투입과 산출요소를 측정된 자료이기 때문에 임의적 가중치를 사용하지 않고 측정된 그대로 모형에 포함시킬 수 있다.

3.2 부트스트랩(bootstrap)

DEA 분석기법의 단점은 의사결정단위의 수가 적으면 적을수록 각 의사결정단위의 효율성을 차별화 시키지 못할 수 있어 확률적 변동성을 고려할 수 없다. 본 연구에서는 비모수적 추론 방법인 부트스트랩(bootstrap)을 DEA의 효율성 추정에 사용한다. 이 방법은 하나의 수집된 표본으로 경험적 분포가 모집단의 분포를 적절히 반영하고 있다면 의사결정단위의 수가 적을 지라도 효율성 추정치에 대한 신뢰구간을 제공할 수 있다. 이러한 분석결과는 의사결정자에게 보다 신뢰할 수 있는 효율성 추정치 정보를 통계적으로 제공할 수 있다는 것이다. 부트스트랩 기법은 작은 표본의 문제를 해결하고 통계적으로 신뢰할 수 있는 효율성 추론 결과를 제공한다. 자료의 확률적 변동성 문제를 총체적으로 해결할 수 있는 기법이다.

부트스트랩은 하나의 표본에 의해 정의된 경험적 분포를 단순히 재표집하는 것이다. 재표집의 크기는 모두 원래 표본의 크기인 n 이다. 즉, $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 을 표본의 실현 값이라 하고, \hat{F}_n 가 표본의 경험적 분포함수를 나타낸다. \hat{F}_n 는 각각의 점 x_i 에서 질량 n^{-1} 을 갖는 이산형 누적분포함수이고, $\hat{F}_n(x)$ 는 $F(x)$ 의 추정량이다. 부트스트랩표본은 확률표본으로 \hat{F}_n 에서 추출한 $\mathbf{x}' = (x_1', x_2', \dots, x_n')$ 라고 할 수 있다. $E(x_i^*) = \bar{x}$ 이고 $V(x_i^*) = n^{-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 이다. 이러한 표본에서 추출한 재표집은 처음에는 의미가 없는 것처럼 보인다. 그러나 표집의 변동성에 대한 유일한 정보는 표본 안에 있으며 표본을 재표집함으로써 이 변동성을 추정한다.

부트스트랩 신뢰구간을 구하는 알고리즘은 다음과 같다. $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 을 $\theta \in \Omega$ 에 대해 누적확률분포 $F(x; \theta)$ 에서 추출한 확률표본의 실현값이라고 하자. $\hat{\theta}$ 를 θ 의 점추정량이라 하고, 정수 B 는 부트스트랩 반복의 수, 즉 재표집의 수라고 하자.

1. $j = 1$ 이라 한다.
2. $j \leq B$ 이면 단계 (2)~(5)를 시행한다.
3. \mathbf{x}_j^* 을 표본 \mathbf{x} 에서 추출한 크기 n 인 확률표본이라 한다. 즉, 관측값 \mathbf{x}_j^* 는 x_1, x_2, \dots, x_n 으로부터 복원하여 무작위로 추출된다.
4. $\hat{\theta}_j^* = \hat{\theta}(\mathbf{x}_j^*)$ 라 한다.
5. j 를 $j+1$ 로 바꾼다.
6. $\hat{\theta}_{(1)}^* \leq \hat{\theta}_{(2)}^* \leq \dots \leq \hat{\theta}_{(B)}^*$ 를 $\hat{\theta}_1^* \leq \hat{\theta}_2^* \leq \dots \leq \hat{\theta}_B^*$ 의 순서화된 값이라 하고, $m = [(\alpha/2)B]$ 라고 하자. 여기서 $[\cdot]$ 는 가장 큰 정수

함수를 나타낸다. 구간을 만든다.

$$(\hat{\theta}_{(m)}^*, \widehat{\theta}_{(B+1-m)}^*)$$

즉, $\hat{\theta}_1^* \leq \hat{\theta}_2^* \leq \dots \leq \hat{\theta}_B^*$ 의 분포를 $\frac{\alpha}{2}100\%$ 와 $(1 - \frac{\alpha}{2})100\%$ 백분위수를 구한다. 여기서 구한 구간은 θ 에 대한 백분위수 부트스트랩(percentile bootstrap) 신뢰구간이라고 한다.

4. 실증분석

4.1 변수선정

본 연구에서는 우리나라의 컨테이너터미널을 대상으로 하였으며, 투입 및 산출변수가 완전한 데이터를 확보한 8개 컨테이너터미널을 측정하였다. 선행연구 고찰을 바탕으로 선정된 6개의 투입요소와 2개의 산출요소를 모두 포함한 연구모형을 설정하였다. 데이터 수집은 산출변수와 투입변수 중 시설 관련 데이터는 부산항만공사에서 공고한 객관적인 자료로 수집하였고 투입변수 중 정보화 관련 데이터는 각 컨테이너터미널사의 전산부 담당자와 e-mail과 전화로 데이터를 수집하였다. 컨테이너터미널 효율성을 분석하기 위하여 연구의 시간적 범위는 2005년부터 2007년까지 자료를 바탕으로 분석하였다. 평가대상 분석 자료에 대하여 DEA 효율치와 부트스트랩 분석은 Limdep 9.0 프로그램을 사용하였으며 기타 통계분석은 Frontier analyst 4.0 프로그램을 사용하였다.

Table 2 The variable of input and output

구 분		변 수 명		측정단위
산 출	y_1	생산량		GBP
	y_2	물동량		TEU
투 입	x_1	시 설	안벽길이	m
	x_2		야드면적	m ²
	x_3		크레인수	기
	x_4	정보화 수준	투 자 비	천원
	x_5		운 영 비	천원
	x_6		인 건 비	천원

본 연구에서 효율성을 분석하기 위하여 변수로 투입변수는 시설과 정보화 수준으로 나누었고, 산출변수는 물동량과 생산량으로 선정하였다. 시설변수로 안벽길이, 야드면적, 크레인수를 사용하였고 정보화 수준변수로는 투자비, 운영비, 인건비를 선정하였다. 산출변수인 생산량은 컨테이너터미널 생산성 지표로 시간당 총 선석생산성(Gross Berth Productivity : GBP)가 일반적이다. GBP는 작업 모선에 투입하는 시간당 하역크레인의 컨테이너처리수로서 터미널의 규모에 따라 차이가 있을 수 있는 지표로 변동성을 없애고 동일한 생산성 지표로 활용할 수

있다. 투입변수인 정보화 수준의 변수는 각 컨테이너터미널의 재무적·회계적 데이터를 사용하였다. 투자비는 투자된 해당시기에 영향이 크지 않아 3년 단위의 감가상각비로 측정된 자료를 바탕으로 분석하였다. 운영비는 운영시스템에 관련되는 비용으로 한국전산원(1999)이 개발한 응용시스템, Help Desk, 시스템관리 및 하드웨어 운영비용 모델 분석을 제시하였다. 본 연구에서는 응용시스템 운영비용 모델 분석을 이용하여 산출방법은 식(3)과 같다.

$$\text{표준비용} = 550 + 0.10 \times \text{운영프로그램본수} + 38 \times \text{응용시스템수} - 0.06 \times \text{입력모듈 및 화면수} - 0.12 \times \text{출력모듈 및 장표수} - 0.03 \times \text{테이블수} + 0.52 \times \text{배치프로그램수} \quad (3)$$

4.2 효율성 분석

본 연구는 DEA모형을 이용하여 컨테이너터미널의 효율성을 평가하고자 8개의 컨테이너터미널 2005년, 2006년, 2007년 투입 및 산출자료를 바탕으로 24개 DMU를 분석하였다. 다음은 투입 및 산출요소의 기술통계량은 다음과 같다.

Table 3 Descriptive statistics of the selected input and output variables

구 분	최대값	최소값	평 균	표준편차
안벽길이	2,300	500	1,134	560
야드면적	672,000	153,000	349,625	200,968
크레인수	46	18	31	9
투자비	2,600,000	22,269	28,000	76,049
운영비	850,000	28,000	257,060	254,907
인건비	372,259	76,049	225,378	115,065
물동량	2,399,160	71,874	1,000,088	781,855
생산량	103.1	36.9	73.0	18.7

투입변수인 안벽길이, 야드면적, 크레인수는 컨테이너터미널 간에 차이를 보이고 있다. 정보화수준에 관한 변수들은 최대값, 최소값, 평균, 표준편차로 보아 컨테이너터미널 간에 큰 차이를 보이고 있다. 산출변수인 물동량, 생산량도 컨테이너터미널 간에 상당한 차이를 보이고 있다.

Charnes et al.(1978)에 의해 개발된 CCR모형으로 분석한 결과이다. CCR모형에 의해 DMU 24개를 분석한 결과, 그 값이 0에서 1사이의 값을 나타내고 1이면 가장 효율적임을 나타낸다. 투입요소를 기존모형에 관한 효율성 분석과 정보화 수준을 고려한 연구모형에 관한 효율성 분석을 제시하였다. 연구결과는 기존모형 효율성 분석과 정보화 수준 변수를 고려하여 효율성 분석은 차이점을 보이는 것으로 나타났다. 다음은 투입변수를 시설변수만 고려한 기존모형에 관하여 효율성 분석한 결과이다. 효율적인 DMU은 2006년도 dmu4.2와 dmu5.2, 2007년도 dmu2.3, dmu5.3, dmu8.3으로 나타났다.

Table 4 DEA-CCR analysis for container terminals efficiency (input : facility variables)

2005년			2006년			2007년		
DMU	효율성 점수	순위	DMU	효율성 점수	순위	DMU	효율성 점수	순위
dmu1.1	0.9525	10	dmu1.2	0.9525	11	dmu1.3	0.9412	13
dmu2.1	0.8408	15	dmu2.2	0.8953	14	dmu2.3	1.0000	1
dmu3.1	0.8008	16	dmu3.2	0.7927	17	dmu3.3	0.7361	19
dmu4.1	0.9738	8	dmu4.2	1.0000	1	dmu4.3	0.9770	7
dmu5.1	0.9541	9	dmu5.2	1.0000	1	dmu5.3	1.0000	1
dmu6.1	0.7808	18	dmu6.2	0.6676	22	dmu6.3	0.6880	21
dmu7.1	0.6489	23	dmu7.2	0.6343	24	dmu7.3	0.7265	20
dmu8.1	0.9796	6	dmu8.2	0.9487	12	dmu8.3	1.0000	1

* dmu2은 2번째 컨테이너 터미널로 dmu2.3은 2007년 2번째 컨테이너 터미널로 해석가능

다음은 기존모형에 정보화 수준을 고려한 효율성 분석한 결과이다. 효율성 분석에서 정보화 수준 변수를 투입하였을 때와 기존의 효율성 점수에서 차이가 있음을 볼 수 있다. 효율적인 DMU는 dmu1.1, dmu4.1, dmu5.1, dmu8.1, dmu1.2, dmu4.2, dmu5.2, dmu8.2, dmu1.3, dmu2.3, dmu4.3, dmu5.3, dmu8.3으로 나타났다. 투입변수로 시설만 보았을 경우와 정보화 수준을 함께 고려하였을 경우 대부분 DMU의 효율성 점수가 높아지는 것을 볼 수 있다. dmu2, dmu3, dmu6, dmu7이 비효율적으로 운영되는 것으로 나타났으며, dmu7은 매우 낮은 효율성으로 나타났다. 또한 연도별 DEA 분석결과를 보면 연도가 증가할수록 효율적으로 운영하고 있다.

Table 5 DEA-CCR analysis for container terminals efficiency (input : facility variables + Informatization level)

2005년			2006년			2007년		
DMU	효율성 점수	순위	DMU	효율성 점수	순위	DMU	효율성 점수	순위
dmu1.1	1.0000	1	dmu1.2	1.0000	1	dmu1.3	1.0000	1
dmu2.1	0.8407	15	dmu2.2	0.8953	14	dmu2.3	1.0000	1
dmu3.1	0.8112	16	dmu3.2	0.8025	17	dmu3.3	0.7380	19
dmu4.1	1.0000	1	dmu4.2	1.0000	1	dmu4.3	1.0000	1
dmu5.1	1.0000	1	dmu5.2	1.0000	1	dmu5.3	1.0000	1
dmu6.1	0.7808	18	dmu6.2	0.6676	22	dmu6.3	0.6880	21
dmu7.1	0.6488	23	dmu7.2	0.6343	24	dmu7.3	0.7264	20
dmu8.1	1.0000	1	dmu8.2	1.0000	1	dmu8.3	1.0000	1

다음은 비효율성의 원인을 분석하기 위해 참조집합과 개선가능성을 제시하였다. 투입요소의 과대투입과 산출요소의 부족이 발생하는 경우 효율성은 1보다 작으며, 비효율적인 DMU는 비효율성 평가를 위한 참조집합을 갖게 되며 투입과 산출요소에 대해 각각 $\sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j, \sum_{j=1}^n y_{rj}\lambda_j$ 의 효율성 목표치를 설정할 수 있

다. 이는 비효율성 정도를 알려주고 투입 및 산출요소의 상세한 분석을 통해 효율성 향상을 위한 방안을 제시해준다. 각각의 비효율적인 DMU에 대해 참조집합이 되는 DMU들을 살펴보면, 상대적으로 dmu4.2가 대표적인 참조단위로 나타났다. 또한 비효율적인 DMU에 대한 참조집합과 비교를 살펴보면 dmu7.2는 비교대상이 되는 dmu4.2에 비해 비효율적이고 그 정도가 효율적 DMU의 63.43%에 불과한 것으로 나타났다.

Table 6 Reference comparison of inefficiency container terminals

DMU	참 조 단 위
dmu2.1	dmu4.2, dmu5.2, dmu2.3
dmu3.1	dmu4.2, dmu5.2, dmu1.3, dmu2.3, dmu8.3
dmu6.1	dmu4.2
dmu7.1	dmu4.2
dmu2.2	dmu4.2, dmu5.2, dmu2.3
dmu3.2	dmu4.2, dmu5.2, dmu1.3, dmu2.3, dmu8.3
dmu6.2	dmu4.2
dmu7.2	dmu4.2
dmu3.3	dmu4.2, dmu5.2, dmu2.3, dmu8.3
dmu6.3	dmu4.2
dmu7.3	dmu4.2

다음으로는 컨테이너터미널의 효율적인 관리를 위한 최적규모에 대하여 투입 및 산출요소의 목표값과 비효율적인 컨테이너터미널의 슬랙(Slacks)값을 통해 각 컨테이너터미널의 비효율성 정도를 나타냈다. 이는 개별 DMU의 비효율성 수준은 어느 정도인지를 나타낸다. CCR모형에 의한 분석결과 나타난 개선정도가 (+)값을 나타내는 경우는 각 투입 및 산출요소에 대해 각 컨테이너터미널이 이를 증가시켜야 함을 의미한다. (-)값을 나타내는 경우는 각 컨테이너터미널이 각각투입 및 산출요소를 감소시켜야 함을 의미한다. 비효율적 DMU을 실제 측정 변수값과 효율선상의 값을 비교하여 보여준다. 다음은 비효율적 컨테이너터미널의 개선가능성을 나타냈다.

CCR 분석결과 대표적으로 2007년을 보면 비효율적인 DMU로 나타난 dmu3.3, dmu6.3과 dmu7.3의 개선가능성을 나타냈다. 예로 dmu6.3은 효율성 값이 0.6880로 투입과 산출 구조가 동일하게 되어 있는 것으로 여겨지는 DMU인 dmu4.2와 비교하여 투입요소가 모두 비효율적으로 나타나 자원의 과대투입의 운용으로 68% 효율성을 나타낸다. 30%~80%의 자원을 낭비하는 것으로 나타났다. 따라서 효율적으로 운영하기 위해서는 투입 변수의 조정이 필요할 것이다. 이는, 참조집합의 DMU를 참조하여 효율적인 DMU을 위한 상세한 개선방안을 얻을 수 있는 것이다.

Table 7 Potential improvement of inefficiency container terminals

DMU	개선 가능성	투 입 변 수						산 출 변 수	
		안벽 길이	야드 면적	크레 인수	투자비	운영비	인건비	물동량	생산량
dmu 3.3	측정 변수값	500	156,100	18	385,667	140,000	211,753	531,036	36.9
	목표값	369	109,033	14	284,650	94,181	138,265	531,036	36.9
	개선 정도	-0.261	-0.301	-0.261	-0.261	-0.327	-0.347	0.000	0.000
dmu 6.3	측정 변수값	1,400	500,000	24	29,833	131,857	103,321	71,874	60.8
	목표값	412	99,072	17	16,242	40,455	46,817	390,087	60.8
	개선 정도	-0.705	-0.801	-0.312	-0.455	-0.693	-0.546	4.427	0.000
dmu 7.3	측정 변수값	2,300	518,000	28	118,965	282,590	133,299	393,576	74.9
	목표값	508	122,048	21	20,008	49,837	57,675	480,551	74.9
	개선 정도	-0.778	-0.764	-0.273	-0.831	-0.823	-0.567	0.221	0.000

4.3 부트스트랩(bootstrap)

다음은 각 컨테이너터미널의 투입 및 산출요소 벡터 및 기준 CCR모형을 이용한 DEA 효율성 측정치에 부트스트랩 방법을 적용하였다. 1,000개의 표본을 추출한 후, 다시 각 표본에 대한 DEA 효율성을 측정하고 DEA 효율성 측정치의 편의를 조정된 값들이다. 1,000개의 부트스트랩 효율성 지수들의 표준편차와 하한값과 상한값을 나타냈다. 부트스트랩 DEA모형을 사용하여 부트스트랩 효율성 추정치와 90%신뢰구간을 구하였다.

편의의 최대치는 dmu2.1로 0.0406이고 대부분 0.0000으로 편의가 매우 작은 것을 알 수 있다. dmu2.1 경우 DEA 효율성 결과로 편의가 조정된 효율성 측정치에 비하여 4%정도 과대보고하고 있는 것으로 나타나고 있다. 실증분포로는 90%(부트스트랩 백분위수) 신뢰구간을 구하면 (0.7045, 0.8553)의 구간에 포함된다는 것을 의미한다.

제시된 모형에서 이용된 변수에 따라서 DMU의 상대적 효율성이 달라졌다. 그래서 부트스트랩을 이용한 효율성에 대하여 로짓분석을 실시하였다. 모형검증에서 ρ^2 값을 보면 0.6162으로 모델의 적합도가 만족스러운 결과로 나타났다. 로짓모델의 MLE 추정결과 대체적으로 산출 및 투입변수는 부트스트랩 편의가 조정된 효율성에 5%의 유의수준에서 통계적으로 유의미한 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 하지만 인건비에 관한 산출변수는 유의하지 않는 것으로 나타났다. 독립변수의 계수에 대한 개별적인 검정으로 시설변수 중 크레인수를 늘리고, 안벽길이와 야드면적을 줄일 필요가 있는 것으로 나타났다. 즉, 야드면적과 안벽길이는 생산성에 100%를 활용하지 못하는 것으로 볼 수 있다. 실질적으로 효율적인 운영을 위하여 안벽길이와 야드면적을 보다 활용해야 하며 크레인수를 늘리는 것으로 볼 수 있다. 또한, 정보화 수준에 관한 변수 중 투자비와 운영비를 줄일 필요가 있는 것으로 나타났다. 개선가능성에서 살펴본 바와 같이 투자비와 운영비에 대한 자원의 과대투입에 대하여 일치하는 결과이다. 초반에 자동화 설비에 따른 투자를 하고 시간이 지남에 따라 효율성에 미치는 영향이 달라질 수 있음을

볼 수 있다. 이는 정보화 운영에 대하여 효율적인 운영비 확충이 필요한 것으로 볼 수 있다.

Table 8 Efficiency score and confidence interval of bootstrap

DMU	효율성	편의	조정된 효율성	표준 편차	5% 신뢰 구간	95% 신뢰 구간
dmu1.1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu2.1	0.8408	0.0406	0.8002	0.0580	0.7045	0.8959
dmu3.1	0.8112	0.0203	0.7909	0.0138	0.7681	0.8136
dmu4.1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu5.1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu6.1	0.7808	0.0275	0.7533	0.0347	0.6960	0.8105
dmu7.1	0.6489	0.0079	0.6410	0.0096	0.6251	0.6568
dmu8.1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu1.2	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu2.2	0.8953	0.0335	0.8619	0.0361	0.8023	0.9214
dmu3.2	0.8025	0.0270	0.7755	0.0189	0.7443	0.8066
dmu4.2	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu5.2	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu6.2	0.6676	0.0135	0.6541	0.0182	0.6240	0.6841
dmu7.2	0.6343	0.0192	0.6151	0.0222	0.5784	0.6517
dmu8.2	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu1.3	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu2.3	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu3.3	0.7381	0.0180	0.7201	0.0119	0.7004	0.7397
dmu4.3	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu5.3	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
dmu6.3	0.6880	0.0189	0.6691	0.0246	0.6285	0.7096
dmu7.3	0.7265	0.0134	0.7131	0.0167	0.6855	0.7406
dmu8.3	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000

Table 9 Logistic regression of bootstrap efficiency

변 수	계 수	t값	p-value
안벽길이	-0.007	-3.628	0.0003
야드면적	-0.402	-4.983	0.0000
크레인수	2.558	4.603	0.0000
투 자 비	-0.169	-3.571	0.0004
운 영 비	-0.775	-2.304	0.0212
인 건 비	0.473	1.194	0.2325
상 수	-28.521	-4.309	0.0000
Log-Likelihood(log Lm)		-6.383	
Restricted(Slopes=0) log Lo.		-16.635	
Chi-Squared(df=6)		20.504	
Significance Level		0.0022	

5. 결 론

본 연구는 컨테이너터미널의 정보화 수준에 대해 객관적인 평가시스템을 통해 효율성 분석을 하였다. 기존문헌들에서는 DEA 효율성 분석할 경우 대부분 시설변수를 이용하였으나, 본 연구는 정보화 수준 변수와 함께 측정하였다. 컨테이너터미널 정보시스템의 효율성을 비교 분석하는데 정보화에 투입되는 실제적인 투입요인과 데이터로 검증을 해보았다.

첫째, 본 연구에서 제시하는 연구모형인 정보화 수준을 고려한 DEA 효율성 분석에 관한 실질적인 계량화 평가분석의 필요성을 제시하였다. 정보화 수준을 고려하였을 때 효율성 컨테이너터미널과 비효율성 컨테이너터미널의 차이점이 나타났다.

둘째, 효율성 분석에서 연도별로 차이를 객관적으로 검증해본 결과 국내 컨테이너터미널은 시간이 경과함에 따라 효율성이 증대되고 있는 것으로 나타났다.

셋째, 투입변수의 개선가능성에서 정보화 수준이 효율성에 영향을 미치는 것으로 나타나 효율성을 극대화할 수 있는 변수로 제공하였다. 측정결과에 대하여 비효율적 요소를 찾아 효율성을 갖추기 위한 대안을 분석해 보고자 하였다. 실질적으로 각 컨테이너터미널의 개별적 관찰을 통해 나타난 개선가능성을 이용하여 상세한 비효율적인 원인을 알아보고 개선을 위한 방안을 제안하였다.

넷째, 전통적인 DEA모형은 비모수적으로 통계적인 신뢰구간을 제공하지 못하는 단점에 대하여 부트스트랩을 사용하였다. 본 연구는 적은 의사결정단위로 분석하였으나 연구모형에 관한 통계적 검증을 실시하였다. CCR모형을 이용한 DEA 효율성 측정치를 부트스트랩에 적용하여 측정한 편이가 조정된 효율성을 통계적 신뢰성구간과 함께 제시하고 로짓분석을 하여 변수간 통계적 유의미성을 검증하였다.

다섯째, 해당 정보화 수준에 관련된 데이터는 일반적으로 자료제공이 어려운 부분이므로 수집된 데이터는 가치 있는 평가자료로 활용될 것이라 사료된다.

기준에 DEA모형을 활용한 효율성 평가는 항만시설에 관한 생산성과 성과 등을 평가하여 주로 이용한 단일지표로 활용되는 점을 보완하였다. 정보화 활용도가 높은 컨테이너터미널에 종합적인 지표의 필요성을 제시하여 투입과 산출요소의 다양성을 제시하는 시사점을 주었다.

본 연구는 다음과 같은 한계점을 갖고 있다. 정보화수준에 관련된 데이터베이스 구축이 이루어지지 않아 정보화수준의 객관적인 방법 측정이 다소 미흡하였다. 과학적이고 정량적인 기법을 바탕으로 정성적인 방법을 가미한 다양한 관점에서 방법론이 개발되어야 할 것이다. 실질적으로 본 연구에서 활용한 효율성 평가로 전문가집단 의견 등을 바탕으로 모형검증이 필요하다. 향후연구로는 정보화 조직의 자체 조직운영과 아웃소싱 등 집단 간의 차이점 분석도 이루어져야 한다. 또한 국내 컨테이너터미널의 정보화 수준에 관한 다양한 변수를 측정하고 많은 컨테이너터미널의 자료를 활용하여 정보화 수준에 관한 정교한 논의가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 김성호, 최태성, 이동원 (2007), 효율성분석, 서울경제경영.
- [2] 류동근 (2005), “국내 컨테이너 전용터미널의 효율성 비교 : DEA 접근”, 한국해운물류학회, Vol. 47, pp. 21-38.
- [3] 류형근, 이철영, 이홍걸 (2008), “주요 컨테이너 터미널의 정보화 수준 분석에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제32권 제3호, pp. 199-205.
- [4] 박노경, 박길영 (2007), “항만효율성 측정 자료의 정규성과 변환 불변성 검증 소고 : DEA접근”, 한국항만경제학회지, 제23권 제2호, pp. 109-120.
- [5] 송재영 (2005), “DEA 모형을 이용한 세계 주요 항만의 효율성 평가”, 한국항해항만학회지, 제29권, 제3호, pp. 195-201.
- [6] 유세준 (2007), “정보화 수준 평가 요인이 중소기업의 경영 성과에 미치는 영향”, e-비즈니스연구, 제8권 제3호, pp. 79-105.
- [7] 이영주 (2001), “중소기업 정보화 지원모델의 비교분석과 정책 시사점”.
- [8] 이윤식 (2000), “정보화 평가방법론의 개선방향에 관한 연구”, 한국 사회와 행정 연구, 제11권, 제1호, pp. 183-203.
- [9] 이석재, 임수경, 강무정, 이병욱, 정명선 (1999), “정보화수준 평가모형에 관한 연구”, 한국전산원.
- [10] 이학주, 임춘성 (2002), “기업정보화 수준평가 시스템 개발 및 적용사례”, (사)기업정보화지원센터.
- [11] 이홍걸 (2007), “컨테이너 터미널의 정보보호 수준 제고를 위한 통합 평가지수 개발에 관한 연구”, 제54권, pp. 99-118.
- [12] 임춘성, ITR (2007), 기업정보화방법론, 커뮤니케이션북스 (주).
- [13] 임춘성, 유은정, 문형준 (2006), “KPI 기반의 정보화 수준 진단 방법론 개발 및 적용”, *Entrue Journal of Information Technology*, Vol. 5, No. 2, pp. 21-32.
- [14] 조기영, 김문선, 최영득, 박희정, 천세롬 (2006), “2006 중소기업 정보화 수준 평가”, 중소기업기술정보진흥원.
- [15] 황순환, 김문선 (2005), “중소기업의 정보화 수준 평가 및 기업성과지표와의 관계분석”, 경영학연구, 제34권 제2호, pp. 549-568.
- [16] 황성돈, 박주석, 최경규(2006), “물류정보화 성과분석”, 정보통신정책연구원.
- [17] Barros, C. P. (2003) “The Measurement of Efficiency of Portugues Sea Port Authorities with DEA”, *International Journal of Transport Economics*, Vol. 30, No. 3, pp. 335-354.
- [18] Barros, C. P. (2006) “A Banchmark Analysis of Italian Seaports Using Data Envelopment Analysis”, *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 8, No. 4, pp. 347-365.
- [19] Bharadwaj, A. S., Bharadwaj, S. G., and Konsynski, B. R. (1999), “Information Technology Effects on Firm Performance as Measured by Tobin’s q ” *Management Science*, Vol. 45, No. 7, pp. 1008-1024.
- [20] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.

- [21] Cullinane, K. P. B., Song, D. W., Ji, P., and Wang, T. (2004), "An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency", *Review of Network Economics*, Vol. 3, No. 2, pp. 186-208.
- [22] Cullinane, K. P. B. and Wang, T. (2006), "The efficiency of European Container Ports : A Cross-Sectional Data Envelopment Analysis", *International Journal of Logistics : Research and Applications*, Vol. 9, No. 1, pp. 19-31.
- [23] Delone, W. H. and McLean, E. R. (1992) "Information Systems Success : The Quest for the Dependent Variable", *Information Systems Research*, Vol3, No.1, pp. 60-95.
- [24] Hartman, A, Sifonis, J. G., Kador, J. (1999), *Net Ready : Strategies for Success in the E-conomy*, McGraw-Hill.
- [25] Hogg, R. V., McKean, J. W., Craig, A. T. (2005), *Introduction to Mathematical Statistics*, Pearson Education International.
- [26] Park, K. R. and De, P. (2004), "An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaports", *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 6, No. 1, pp.53-69.
- [27] Rai, A., Patnayakuni, R. and Patnayakuni, N. (1997), "Technology Investment and Business Performance," *Communications of the ACM*, Vol. 40, No. 7, pp. 89-97.
- [28] Rios, L. R. and Maçada, A. C. C. (2006), "Analyzing the Relative Efficiency of Container Terminals of Mercosur Using DEA", *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 8, No. 4, pp. 331-346.
- [29] Roll, Y. and Hayuth, Y. (1993), "Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis", *Maritime Policy & Management*, Vol. 20, No. 2, pp. 153-161.
- [30] Martinez-Budria, E., Diaz-Armas, R., Navarro-Ibanez, M., and Ravelo-Mesa, T. (1999), "A Study of the Efficiency of Spanish Port Authorities Using Data Envelopment Analysis", *International Journal of Transport Economics*, Vol. 26, No. 2, pp. 237-253.
- [31] Tongzon, J. (2001). "Efficiency Measurement of Selected Australian and other International Ports Using Data Envelopment Analysis", *Transportation Research A*, Vol. 35, No. 2, pp. 113-128.

원고접수일 : 2009년 8월 10일
 심사완료일 : 2009년 10월 14일
 원고채택일 : 2009년 10월 21일