

퍼지DEA에 의한 항만의 효율성 및 순위 측정방법: 평균지수변환모형 접근*

박노경 **

A Measurement Way of Seaport Efficiency and Ranking Using Fuzzy DEA: Average Index Transformation Model Approach

Ro-Kyung Park

목 차

I. 서론	1. 퍼지DEA에 의한 평균지수변환모형
II. 기존연구에 대한 검토	2. 퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의
III. 퍼지DEA에 의한 항만의 효율성 측정: 평균지 수변환모형 접근	한 국내항만의 효율성분석
	IV. 결론

Key Words: Fuzzy DEA, Seaport Efficiency, Average Index Transformation Model Approach

Abstract

The purpose of this paper is to suggest the efficiency measurement way of Korean seaport by using Average Index Transformation model of fuzzy DEA(Data Envelopment Analysis). Two inputs[cargo handling capacity, and berthing capacity], and outputs[cargo handling amount, and the number of ship calls] are used in 1995 and 2004 for 26 Korean seaports. Empirical main results are as follows: First, Tongyung, Gohyun, Okpo, and Sogcho Ports are efficient, and Yeasu Port shows the high efficiency level over 95% under input oriented CCR model. Gohyun and Sogcho Ports showed the most efficient score under average index transformation model. Okpo and Yeasu Ports increased their efficiency scores as the lamda(λ) values are up. The empirical results of fuzzy DEA average index transformation model for Wando, Yeasu, and Seoguipo ports showed that if the lamda values are higher, the efficiency scores are also higher. The main policy implication based on the findings of this study is that the management manager of Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs in Korea should introduce the fuzzy DEA average index transformation model for deciding the size of inputs including the port investment amount and evaluating the port efficiency.

▷ 논문접수: 2010.04.30 ▷ 심사완료: 2010.05.22 ▷ 게재확정: 2010.06.09

* 본 논문작성에 크게 도움[논문실증분석 측정방법 진수, 작성과정에서의 친절한 내용설명, 심사과정에서의 어려운 내용들에 대한 답변 등]을 주신 고려대학교 경영학부 임성묵교수님의 친절에 진심으로 감사를 드립니다.

** 조선대학교 경상대학 무역학과 교수, nkpark@chosun.ac.kr, 062)230-6821

I. 서 론

최근 약 20여년의 기간 동안 항만의 효율성을 측정하는 논문들이 활발하게 발표되고 있다. 특히 중국의 급속한 허브항만화 전략에 의한 대규모 투자에 따른 물동량 증가는 동북아시아를 포함하여 주요 항만간의 경쟁을 더욱 치열하게 만들고 있다. 항만간의 경쟁에서 이기는 방법은 항만에 대한 집중적인 투자 등을 통해서 항만의 효율성을 극대화 시키는 것이다. 여기서 효율성은 투입물에 대한 산출물의 양을 증대시킬 때, 수치가 높아지게 되는데, 효율성의 향상은 바로 해당 항만의 국제경쟁력을 증진시키게 된다.¹⁾

항만경쟁력의 척도가 되고 있는 항만의 효율성을 측정하기 위해서 여러 측정방법이 사용되어 왔지만, 그 중에서 가장 많이 사용되는 방법은 Cullinane et al(2006)²⁾이 대표적으로 시도한 바와 같이 DEA(data envelopment analysis, 자료포괄분석)방법과 확률프론티어방법(stochastic frontier analysis)으로 나눌 수 있다. DEA방법은 선형계획모형에 의거하여 최적의 해를 구하는 방법으로서 시계열분석들이 갖고 있는 문제점을 고려하지 않고서 의사결정단위들에 대한 상대적인 효율성을 측정할 수 있다는 것이 가장 큰 장점으로 꼽힌다. 그 동안 국내에서도 DEA기법을 이용하여 항만에 대한 많은 연구들이 시행되었다. 또한 데이터의 불확실성을 모형에 포함시키는 방법으로 확률계획법(stochastic programming)에 대한 많은 연구가 있었지만 실용성이 그다지 크지 않았다. 그러나 Lotfi A. Zadeh(1965)³⁾에 의해서 퍼지집합이론이 개발된 이후로, 확률이론에 기반 하지 않으면서 모호한 데이터를 모형화 하는 간편하고 효과적인 방법이 존재하게 되었다.⁴⁾ 그러나 퍼지숫자는 말 그대로 애매모호한 숫자이기 때문에, 일반적인 확실한 값을 가지는 숫자를 다루듯이 할 수는 없다. 퍼지숫자 간의 연산은 어떻게 할 것이며, 퍼지숫자 간의 대소비교는 어떻게 할 것인지 모든 것이 쉽지 않다. 그간 다양한 연구자들이 퍼지숫자간의 연산, 대소비교 등에 대해 결과를 발표하였다. 특히 선형계획법과 같은 수리계획법 문제에서 퍼지숫자를 도입하기 위해서는 퍼지숫자 간의 비교를 어떻게 할 것인지를 정하는 것이 중요하게 되었다. 왜냐하면, 선형계획법에서 결국 필요한 계산은 목적함수든 제약식이든 부등식 양변의 값을 서로 비교하는 것이기 때문이다.

그동안 국내항만의 효율성측정에 관한 연구에서는 DEA기법을 적용하는 연구가 많았지

-
- 1) 박노경, "생산효율성에 의한 컨테이너항만의 지배-피지배 관계분석:FDH모형접근" 『한국해운학회지』 제35호, 한국해운(물류)학회, 2002, p.119.
 - 2) K. Cullinane, 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. DEA기법 및 SFA방법을 이용한 기존연구에 대한 자세한 내용은 pp.355-356을 참조요망.
 - 3) L.A., Zadeh, "Fuzzy Sets" Information and Control, Vol.8, 1965, pp.338-353.
 - 4) 임성묵, "퍼지 선형계획법 해법 및 퍼지 DEA에의 적용에 관한 연구," 『한국산업시스템공학회지』 제31권 제2호, 한국산업시스템공학회, 2008년 6월호, p.51.

만, 퍼지모형을 접목시킨 연구는 장운재·김종수(2006, 2007), 여기태 외(2004), LE et al(2008)을 제외하고는 극히 드물었다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 두 가지 사항에 본 논문의 연구목적을 두고자 한다. 첫째, 국내항만의 효율성 측정 시에 Campos and Gonzalez(1989)⁵⁾, 임성묵(2008)이 제시하고 있는 퍼지DEA 평균지수접근 모형을 새롭게 채택하여 국내 26개 항만의 효율성을 측정하고, 또한 순위를 측정하고자 한다. 둘째, 향후 항만의 정책당국이나 항만의 경영관리자들이 항만의 효율성을 측정하기 위한 정책입안 시 참고가 될 수 있도록 퍼지DEA 평균지수접근모형의 이론적, 실증적 근거를 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어서, II장에서는 퍼지DEA기법을 이용하여 효율성을 측정한 연구들을 간략하게 검토하며, III장에서는 퍼지DEA 평균지수접근모형에 대한 이론적인 내용과 함께 국내 26개 항만들에 대한 효율성을 측정하여 원래의 DEA모형과의 효율성 수치를 비교분석한다. IV장에서는 정책적 함의와 함께 결론이 제시된다.

II. 기존연구에 대한 검토

1. 퍼지평가법을 해운항만분야에 적용한 연구

컨테이너항만의 경쟁력분석에 퍼지평가법을 사용한 연구는 여기태 외(2004)⁶⁾가 처음으로 시도하였다. 즉, 한국과 북중국의 7개 주요항만(부산, 광양, 상하이, 칭타오, 텐진, 대련, 카오슝)을 대상으로 항만의 경쟁력과 관련된 요소를 추출하고 대상항만과 관련된 실무자와 연구자의 의견을 반영하여 파일럿 테스트와 요인분석을 실시하였다. 또한 요인분석결과를 사용하여 항만경쟁력 평가구조를 구축하고 다음으로 수립된 평가구조를 기반으로 다수의사결정그룹 퍼지평가기법을 이용하여 대상항만의 경쟁력 평가를 실시하여 항만의 경쟁력을 도출하였다. 또한 퍼지 역평가법을 적용하여 주요 항만의 경쟁력 상승요인을 추출하였다.

LE, Do, Yoo, and Nam(2008)⁷⁾는 항만고객만족도를 퍼지모형에 적용하여 항만품질의 평가를 하였다. 그들이 제시한 퍼지모형은 항만고객의 만족도 수준의 결정을 피이드백여

5) L.M. Campos and A. Gonzalez, "A Subjective Approach for Ranking Fuzzy Numbers" Fuzzy Sets and Systems, Vol.29, 1989, pp.145-153.

6) 여기태·박창호·전일수·이홍걸·류형근, "MDMG-HFP법과 퍼지역평가법을 이용한 상하이 및 북중중국과 우리나라 컨테이너항만의 경쟁력 분석에 관한 연구," 『해운물류연구』 제42호, 한국해운물류학회, 2004년 9월호, pp.45-69.

7) LE, Do, Yoo, and NAM, " Evaluation of Port Quality from Customer Satisfaction: A Fuzzy Logis Based Model," Proceedings of the 5th International Gwangyang Port Forum & 2008 The International Conference of the KPEA, 2008,pp.239-248.

부, 특성결정, 개별특성에 대한 회원기능정의, 퍼지추론수립, 항만고객의 만족도수준을 파악하기 위한 디퍼지화, 총합만족도수준의 평균과 분산과악 등을 이용하였다.

장운재·금중수(2006)⁸⁾는 우리나라 RCC/RSC[Rescue Co-ordination Center/Rescue Sub-Center]의 효율성을 2개의 투입물과 4개의 산출물을 이용하여 DEA법을 이용하여 측정하였고, 정성적 자료는 전문가의 설문 및 면접결과로 평가하였다. 또한 이러한 자료를 통합하기 위한 방법은 의사결정지원시스템인 퍼지로직을 적용하였고, 이 평가방법을 이용하여 RCC/RSC의 운영효율성의 우선순위를 평가하였다. 그 결과 목포, 부산, 통영, 인천, 여수, 동해, 울산, 포항, 속초, 태안, 완도, 군산 RSC 순으로 효율성이 높은 것을 밝혀냈다.

2. 본 연구와 직접 관련된 퍼지 DEA를 다룬 연구

장운재·금중수(2007)⁹⁾는 우리나라 RCC/RSC의 효율성을 2개의 투입물, 5개의 산출물을 이용하여 퍼지 DEA를 이용하여 측정평가하였다. 특히 이들은 해양사고 발생자료 뿐만 아니라 환경스트레스에 의한 잠재적 해양사고 발생가능 자료도 고려하여 운영효율성을 분석하였다. 한편 현실자료에는 수많은 애매성이 존재하기 때문에 DEA법에 퍼지이론을 이용한 퍼지 DEA법을 이용하였다. 이 퍼지 DEA법은 α -cut을 기반으로 한 크리슈 선형계획문제 제로 변환된 것으로 입/출력변수를 삼각형 퍼지수로 하여 해를 산출하는 방법을 제안하였고, 제안된 퍼지 DEA를 이용하여 퍼지 RCC/RSC의 순위를 결정하였다.

Campos and Gonzalez(1989)는 퍼지숫자의 위치를 반영한 선택된 수준의 세트에 대한 함수, 의사결정자의 개별수준세트의 주관적인 중요성을 표현하는 가중치를 통한 그러한 함수의 가치를 통합시키는 평균지수모형을 제시하였으며, 3각 퍼지숫자의 예를 통해서 그들이 주장한 모형이 일반화된 모형임을 보여 주었다.

Lertworasirikul et al.(2003)은 전통적인 DEA모형이 크리슈 투입-산출자료를 필요로 하는 반면에 현실세계에서는 불확실한 자료가 생긴다는 점을 명시하고 불확실한 자료를 이용한 퍼지DEA모형을 제시하였으며, 퍼지세트의 순위를 정하는 몇몇 방법을 통해서 전통적인 퍼지선형계획모형의 해를 구할 수 있음을 강조하였다. 대안적으로 제약조건이 퍼지 이벤트로서 취급되는 가능성접근법을 소개하였다. 그들은 특별한 경우에 있어서, 퍼지데이터의 퍼지멤버쉽함수가 사다리꼴 타입임을 실제 사례를 통해서 보여 주었다.

임성목(2008)¹⁰⁾은 퍼지집합의 특수한 형태인 퍼지 숫자에 대한 설명, 퍼지 숫자 간의 대소 비교방법을 소개, 퍼지집합이론과 밀접한 관련이 있는 가능성이론(possibility theory)소

8) 장운재·금중수, “퍼지로직 DEA를 이용한 RCC/RSC별 운영효율성 평가,” 『해양환경안전학회지』 제12권 제4호, 해양환경안전학회, 2006년 12월호, pp.233-239.

9) 장운재·금중수, “순위결정 퍼지DEA법을 이용한 수색구조구역의 운영효율성 평가,” 『해양환경안전학회지』 제13권 제3호, 한국해양환경안전학회, 2007년 9월호, pp.207-212.

10) 임성목, “퍼지 선형계획법 해법 및 퍼지 DEA에의 적용에 관한 연구,” 『한국산업시스템공학회지』 제31권 제2호, 한국산업시스템공학회, 2008년 6월호, pp.51-60.

개, 퍼지선형계획법을 보통 선형계획법으로 변환하는 두 가지 형태의 방법인 평균지수변환법과 가능성 접근법을 개발하였으며, 외국의 저널에서 소개하고 있는 원자료를 이용하여 직접 평균지수법에 의해서 모형의 적합성을 검증하였다.

3. 기존연구의 한계점과 본 연구의 특징 및 사용의 필요성

본 연구와 직접 관련이 있는 장운재·김종수(2007)의 연구는 순위결정 퍼지 DEA법을 이용하였으며, 결과적으로 Letworasirikul(2003)가 제시한 가능성접근이나, Campos and Gonzalez(1989), 임성목(2008)이 제시한 평균지수법에 의한 퍼지DEA 효율성은 제시하지 못하였다.

본 연구는 Campos and Gonzalez(1989), 임성목(2008)이 제시한 평균지수법을 사용함으로써 장운재·김종수(2007), Letworasirikul(2003)가 제시한 방법들이 갖고 있는 한계를 부분적으로 극복하고 있다. 즉, 첫째, 임성목(2008)은 단 5개의 DMU를 이용하여 평균지수법을 사용하였다. 또한 항만분야에 적용하지 못하였다. 둘째, 장운재·김종수(2007)는 일반적인 퍼지DEA법을 이용하였으며, 알파-컷도 1, 0.5, 0의 3가지 경우만을 다루고 있다. 셋째, Letworasirikul(2003)는 가능성접근법을 제시하였지만, 가능성접근법은 원문제와 쌍대문제의 관계가 모호하다는 단점을 가지고 있다.

요컨대, 퍼지DEA방식의 효율성 측정방법이 필요한 이유는 다음과 같다.

DEA에서 모든 투입, 산출요소의 값이 분명한 숫자(crisp numbers)로 표현된다면 퍼지 DEA 방식이 전혀 필요 없겠지만, 문제는 투입 및 산출요소의 값이 애매모호한 경우가 현실적으로 존재하기 때문에 그러한 경우에 효율성을 측정하는 방법론이 필요하게 되고, 그 방법론 중에 하나가 퍼지 DEA라고 할 수 있다. 참고로, 투입산출요소의 값이 분명한 숫자가 아닌 범위(interval)의 형태로 주어지는 경우를 다루는 Interval DEA, Imprecise DEA(IDEA) 등이 이미 개발된 바 있다.

본 논문은 투입산출요소의 값이 단순한 범위의 형태를 넘어 퍼지숫자로 주어지는 경우 어떻게 효율성을 산출하고 표현할 수 있을지에 대해 다루고 있어, 학술적으로나 현실적으로 그 실용성이 매우 높다고 주장할 수 있다.

III. 퍼지DEA에 의한 항만의 효율성 측정: 평균지수변환 모형 접근

1. 퍼지 DEA에 의한 평균지수변환 모형¹¹⁾

11) 임성목, 상계논문, pp.57-58.

자료포괄분석(DEA)은 제조 및 서비스 운영의 성과를 평가하고 개선시키기 위한 중요한 분석 방법들 중 하나이다. DEA는 학교, 병원, 은행, 공장 등의 성과를 평가하는데 널리 이용되어 왔다[13].

DEA는 동일한 복수의 입력 요인과 출력 요인을 가지는 의사결정 단위(Decision Making Units, DMUs) 집합에 대해, 각 DMU의 상대적 효율성을 측정하는 분석 모형이다. n 개의 DMU가 있고 m 개의 투입 요소, s 개의 산출 요소가 있을 때, 분석 대상이 되는 DMU p 의 상대적 효율성 점수는 Charnes 등에 의해 제안된 다음과 같은 선형계획법 문제를 풀어 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{(DEA-P)} \quad & \max_{u, v} \sum_{k=1}^s V_k Y_{kp} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^m u_j X_{jp} = 1 \\
 & \sum_{k=1}^s V_k Y_{ki} - \sum_{j=1}^m u_j X_{ji} \leq 0, \quad \forall i, \\
 & u_j \geq 0, \quad v_k \geq 0, \quad \forall j, k
 \end{aligned} \tag{식 1}$$

여기서 Y_{ki} 는 DMU i 가 생성하는 산출 요소 k 의 양, X_{ji} 는 DMU i 가 사용하는 투입 요소 j 의 양, V_k 는 산출 요소 k 에 부과되는 가중치, u_j 는 투입 요소 j 에 부과되는 가중치를 가리킨다. 이 문제를 n 번 풀어 모든 DMU들의 상대적 효율성 점수를 구할 수 있으며, 각각의 DMU에 대해 그 효율성 점수를 최대화시킬 수 있는 산출 요소 및 투입 요소의 가중치들이 구해진다. 일반적으로, 하나의 DMU에 대해 그 효율성 점수가 1이라면 해당 DMU는 효율적이라고 하고, 1 이하라면 비효율적이라고 한다. 모든 비효율적 DMU에 대해 성과 개선을 위한 벤치마킹 대상으로 삼을 수 있는 효율적 DMU 집합을 구할 수 있는데, 다음의 쌍대 문제를 풀어 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{(DEA-D)} \quad & \min_{\theta, \pi} \theta \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n \pi_i X_{ji} - \theta X_{jp} \leq 0, \quad \forall j \\
 & \sum_{i=1}^n \pi_i Y_{ki} - Y_{kp} \geq 0, \quad \forall k \\
 & \pi_i \geq 0, \quad \forall i
 \end{aligned} \tag{식 2}$$

여기서 θ 는 효율성 점수이고, π 는 쌍대변수이다. 이 문제를 통해 DMU p 보다 더 적은 투입 요소를 사용하면서도 더 많은 산출 요소를 생성할 수 있는 DMU 결합체(DMU들의 선형 결합)를 식별할 수 있고, π 가 그 선형 결합 계수에 해당한다. DMU p 는 이 DMU 결합체를 벤치마킹 대상으로 삼아 성과를 개선시킬 수 있다[4].

실제에서는 DEA의 데이터가 되는 입력 요소와 출력 요소의 값들이 정확하고 확실한 값으로 주어지기 보다는 다소 부정확하거나 애매모호하게 표현되는 경우가 많다. 이러한 경우 입력 및 출력 요소의 값들을 퍼지 숫자로 표현하여 처리하는 접근법이 많이 연구되었다.

퍼지 계수를 가지는 DEA 문제는 아래와 같이 정형화될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{(FDEA-P)} \quad & \max_{u, v} \quad \langle \tilde{y}_{\cdot p}, v \rangle & \text{(식 3)} \\
 \text{s.t.} \quad & \langle \tilde{x}_{\cdot p}, u \rangle \approx 1 \\
 & \langle \tilde{y}_{\cdot j}, v \rangle \leq \langle \tilde{x}_{\cdot j}, u \rangle, \quad i=1, \dots, n, \\
 & u \geq 0, \quad v \geq 0.
 \end{aligned}$$

이 문제의 쌍대 문제는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{(FDEA-D)} \quad & \min_{\theta, \lambda} \quad \theta & \text{(식 3-1)} \\
 \text{s.t.} \quad & \theta \tilde{x}_{jp} \geq \langle \tilde{x}_{j\cdot}, \pi \rangle, \quad j=1, \dots, m \\
 & \langle \tilde{y}_{k\cdot}, \pi \rangle \geq y_{kp}, \quad k=1, \dots, s \\
 & \pi \geq 0
 \end{aligned}$$

위 문제들을 2절에서 논의한 방법에 따라 분명한 계수를 가지는 일반적인 선형계획법 문제로 변형하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{(FDEA-P')} \quad & \max_{u, v} \quad V_P^{\lambda}(\langle \tilde{y}_{\cdot p}, v \rangle) & \text{(식 4)} \\
 \text{s.t.} \quad & V_P^{\lambda}(\langle \tilde{x}_{\cdot p}, u \rangle) = 1 \\
 & V_P^{\lambda}(\langle \tilde{y}_{\cdot j}, v \rangle) \leq V_P^{\lambda}(\langle \tilde{x}_{\cdot j}, u \rangle), \\
 & i=1, \dots, n, \quad u \geq 0, \quad v \geq 0,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(FDEA-D')} \quad & \min_{\theta, \pi} \quad \theta & \text{(식 4-1)} \\
 \text{s.t.} \quad & V_P^{\lambda}(\theta \tilde{x}_{jp}) \geq V_P^{\lambda}(\langle \tilde{x}_{j\cdot}, \pi \rangle), \\
 & V_P^{\lambda}(\langle \tilde{y}_{k\cdot}, \pi \rangle) \geq V_P^{\lambda}(y_{kp}), \\
 & j=1, \dots, m, \quad k=1, \dots, s, \quad \pi \geq 0.
 \end{aligned}$$

이를 다시 쓰면,

$$\text{(FDEA-P')} \quad \text{(식 4-3)}$$

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{u}, \mathbf{v}} \quad & v_1 V_P^\lambda(\tilde{y}_{1p}) + \dots + v_s V_P^\lambda(\tilde{y}_{sp}) \\ \text{s.t.} \quad & u_1 V_P^\lambda(\tilde{x}_{1p}) + \dots + u_m V_P^\lambda(\tilde{x}_{mp}) = 1 \\ & v_1 V_P^\lambda(\tilde{y}_{1p}) + \dots + v_s V_P^\lambda(\tilde{y}_{sp}) \\ & \leq u_1 V_P^\lambda(\tilde{x}_{1p}) + \dots + u_m V_P^\lambda(\tilde{x}_{mp}), \\ & i=1, \dots, n, \quad u_j \geq 0, v_k \geq 0, \forall j, k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(FDEA-D')} \quad \min_{\theta, \pi} \quad & \theta & (\text{식 4-4}) \\ \text{s.t.} \quad & \theta V_P^\lambda(\tilde{x}_{jp}) \geq \pi_1 V_P^\lambda(\tilde{x}_{1j}) + \dots + \pi_n V_P^\lambda(\tilde{x}_{nj}), \\ & \pi_1 V_P^\lambda(\tilde{y}_{1k}) + \dots + \pi_n V_P^\lambda(\tilde{y}_{nk}) \geq V_P^\lambda(\tilde{y}_{kp}), \\ & j=1, \dots, m, \quad k=1, \dots, s, \quad \pi_j \geq 0, \forall j \end{aligned}$$

Lertworasirikul 등은 퍼지 DEA에 가능성 접근법을 제안하였는데, 구체적으로 그들은 퍼지 DEA의 원문제, 즉 (DEA-P)에 가능성 접근법을 적용하였고, 가능성 수준 α 에 따른 각 DMU의 효율성 값을 계산하였다.

DEA을 선형계획법으로 풀 때, 원문제를 통해서는 해당 DMU의 효율성 여부를 판단할 수 있고, 쌍대 문제를 통해서는 비효율적인 하나의 DMU에 대한 벤치마킹 대상을 식별할 수 있다. 그러나 가능성 접근법의 경우 원문제와 쌍대 문제의 관계가 모호하다는 단점이 있다. 즉, (FDEA-P)에 가능성 접근법을 적용하여 얻어진 선형계획법 문제와 (FDEA-D)에 가능성 접근법을 적용하여 얻어진 선형계획법 문제가 서로 쌍대 관계가 아니다. 반면, 평균 지수 변환법을 적용할 경우에는 쌍대 관계가 정확히 성립한다. 이는 평균 지수 연산자가 선형이라는 특성 때문이다.

위 예제에 평균 지수 변환법을 적용해 보자. 확률분포 P 가 일양분포(uniform distribution)이고¹²⁾ $Y=[0, 1]$ 라고 한다면, 삼각 퍼지 숫자 $\tilde{a}=(c, d)$ 에 대한 $V_P^\lambda(\tilde{a})$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_P^\lambda(\tilde{a}) &= \frac{1}{2}[c + \lambda(c+d) + (1-\lambda)(c-d)] \\ &= c + (\lambda - 0.5)d \end{aligned} \tag{식 5}$$

이를 이용하여 문제를 일반 선형계획법 문제로 변환한 후, 최적해를 구할 수 있다.

12) 확률분포 P 는 각 α 값들의 중요성을 표현하고 있다. 일양분포를 쓴다는 것은 모든 α 값이 동등한 중요도를 가진다는 의미다. 본 논문에서 일양분포를 쓴 것은 단순히 예시를 하기 위한 용도이고 별다른 의미는 없다. 확률분포 P 는 DEA 평가자가 주관적 판단에 의해 결정하는 것이다. 그것이 삼각분포의 형태일 수도 있고 전혀 다른 분포를 취할 수도 있다. 당연히 DEA 평가자의 주관적 판단에 따라 다른 확률분포가 채택된다면 그 효율성 평가결과는 달라진다. 실제 활용 시에는, 평가 대상의 특성, 맥락 등에 따라 상황에 맞는 확률분포가 채택되어야 하는 것이다. 따라서 어떤 확률분포를 택하느냐에 따라 평가결과가 달라지는 것은 당연한 것이다.

2. 퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의한 국내항만의 효율성 분석

(1) 실증분석에 사용된 자료

실증분석에 사용된 자료는 26개 국내수출입항만의 1995년과 2004년의 연간 자료를 이용하여 시행하였다. 그 이유는 퍼지평가분석을 하기 위해서는 최소 2개년도의 자료가 있어야만 하기 때문이다. 각 변수 및 단위는 다음과 같다. 투입변수는 접안능력(개별척수를 톤수로 환산한 DWT 천톤), 화물처리능력(천톤), 산출변수는 화물처리량(톤), 선박입출항척수(척)로 하였다. <표 1>에서 각 변수의 통계치는 1995년의 통계치에 2004년의 통계치를 더한 합을 2로 나눈 평균값이며, 각 변수별 편차가 갖는 의미는 평균값과 1995년, 2004년 통계치 +, - 사이의 차이를 의미한다. 즉, 각 투입 요소와 산출 요소의 값들은 대칭 소속 함수를 가지는 삼각 퍼지 숫자들로서 (c, d) 로 표시한다. 단, c 는 소속 함수의 값이 1이 되는 점, 즉 중심이고, d 는 퍼지 숫자의 범위 양끝 값이 중심으로부터 떨어진 거리를 나타낸다. 평균지수변환법에서는 퍼지숫자 a 를 일반적인 숫자로 변환하는 방법이 중요한 문제가 되는데, 그 방법은 논문에 써 있는 $V_P^\lambda(a)$ 의 계산식을 따른다. $V_P^\lambda(a)$ 의 값을 계산할 때, 의사결정자의 선호에 따라 P 와 λ 의 값을 결정해야 한다. 여기서 P 는 α -level set에서의 α 값에 대한 중요도 확률분포이며, 이 개념을 설명 하자면, α -level set에 대한 설명이 필요하다. 논문에서는 이 P 를 일양분포(uniform distribution)으로 가정하여 수식을 도출하였다. 즉 모든 α -level set이 동등한 중요도를 가지고 있다고 가정하였다. 이는 예시를 위한 것이고, 의사결정자의 선호에 따라 다른 분포를 사용할 수도 있다.

<표 1> 퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의한 실증분석 자료

항만 \년도	접안능력	하역능력	화물처리 량	입출항척 수	접안능력 편차	하역능력 편차	화물처리 량 편차	입출항척 수 편차
인천	1870	52152	110283	40012.5	201	13071	5106	401.5
평택	460	8056.5	31524	9917.5	210	6688.5	9705	1176.5
대산	863	5525.5	27153	6998.5	78	123.5	14011	2261.5
보령	225	10197.5	9163	640.5	25	482.5	921	294.5
장항	22	1074.5	854	1019	6	411.5	263	115
군산	331	7029.5	12500.5	8225	141	3506.5	4060.5	277
목포	237.5	4870.5	4971	9402	130.5	2334.5	1291	2450
완도	33	762	334	2549.5	0	55	46	432.5
여수	31.5	2840	10379.5	7557	1.5	177	8702.5	3467
광양	2660	77481	140646	25765	422	26112	32237	7167
제주	56	2283	2325	6002	22	930	20	338
서귀포	14	722	481.5	1826	0	6	50.5	376
삼천포	222.5	12575	13281.5	2991.5	50.5	6591	6928.5	365.5
통영	9.5	470.5	164	3536.5	3.5	149.5	15	51.5
고현	9	693.5	1505	4124	2	162.5	669	2141
옥포	13	421.5	1004	2802.5	7	32.5	378	1273.5
마산	342.5	11875.5	11762	14039.5	43.5	3535.5	760	2030.5
진해	75	1416	1770	1511.5	10	377	891	332.5
부산	1783	88339	156099	79358	7	33503	63661	17971
울산	2642	23425	144224.5	39309.5	547	5306	16935.5	1941.5
포항	1052.5	41658	49262	7814.5	137.5	2794	7035	4614.5
삼척	26	7144.5	6310	210	0	142.5	383	291
동해	391	18591.5	18701	6105.5	135	4443.5	1196	1178.5
목호	40	6156.5	3000	3982.5	0	231.5	760	79.5
옥계	90	3855.5	4814.5	1697.5	5	1058.5	1064.5	392.5
속초	28	996.5	14926	609	10	153.5	14764	433

자료: 국토해양부, <http://www.mltm.go.kr>

(2) 퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의한 국내항만의 효율성 및 순위 측정

일반 투입지향 CCR모형에 의한 효율성 측정결과와 퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의한 실증분석 결과는 <표 2>에 제시하였으며, 각 램다별 순위는 <표 3>에 제시하였다.¹³⁾

13) 투입지향CCR모형과 산출지향CCR모형중 투입지향CCR모형과 비교한 이유와 평균지수변환모형은 선형계획법적용에 있어 투입지향에 근거하는지 산출지향에 근거하는지에 대한 이유는 다음과 같다. 즉, 현재 본 논문에서 개발된 퍼지DEA 모형은 일반적인 투입지향 CCR 모형을 투입산출요

본 논문에서는 Campos and Gonzalez(1989), 임성묵(2008)이 제안한 평균지수변환모형을 설명하였으며 Lertworasirikul et al.이 제안한 가능성 접근법도 함께 언급하였다. 여기서 평균지수변환법은 주어진 두 개의 퍼지숫자를 하나의 확실한 값을 가지는 일반적인 숫자들로 변환시켜 그 크기를 비교하는 방법이고, 가능성 접근법은 주어진 두 개 퍼지숫자간의 대소 관계가 단정적으로 결정하는 것이 아니라, 그 대소 관계가 성립할 가능성을 측정하는 방법이라고 할 수 있다. 따라서, 본 논문 <표 2>에서의 Lambda 값은 임성묵(2008,p53)의 정의3)에서 설명한 바와 같이 퍼지숫자 값에 대한 의사결정자의 낙관-비관 정도를 표현하는 매개변수이다. 예를 들어, 삼각퍼지숫자 (3,1)이 있을 때, 이 퍼지숫자는 2에서 4까지 변할 수 있는 숫자인데, lambda값이 클수록 의사결정자는 이 퍼지숫자의 값이 4에 가깝다고 생각하는 것이고, lambda값이 작을수록 2에 가깝다고 생각하는 것이다. 이와 같이 lambda와 P를 의사결정자가 어떻게 설정하느냐에 따라 주어진 퍼지숫자의 변환 값은 달라진다. Lertworasirikul의 가능성 접근법에서는 퍼지숫자간의 대소관계가 성립할 가능성을 alpha라는 값으로 표현한다. 즉, 만일 alpha값을 0.5로 설정했다면, 선형계획법 제약식들의 성립 가능성이 0.5이상이 되도록 풀겠다는 것이다. 여기서 가능성이라는 말은 퍼지숫자 이론에서 가능성 분포(possibility distribution)라는 것으로서, 통계학에서의 확률 분포(probability distribution)의 개념을 퍼지숫자에 적용한 개념이다.

소가 퍼지숫자로 주어지는 경우에 맞게 변형한 것이다. 따라서 본 논문의 모형과 일반적인 투입 지향 CCR 모형의 결과를 상호 비교하는 것은 하등 이상할 것이 없다. 다시 말해, 현재 본 논문에서 제시하고 있는 퍼지DEA 모형은 투입지향 모형이다. 물론 산출지향 모형을 근간으로 퍼지 DEA 모형을 유도할 수도 있다.

<표 2> 일반 투입지향 CCR모형과 퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의한 실증분석 결과

항만 \년도	일반 투입지향CCR모 형에의한 효율성 수치	퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의한 효율성 수치					
		$\lambda = 0$	$\lambda = 25$	$\lambda = 50$	$\lambda = 75$	$\lambda = 100$	평균
인천	0.22859	0.36857	0.27570	0.22859	0.18927	0.16185	0.24480
평택	0.39875	0.87130	0.54425	0.39875	0.30355	0.24352	0.47227
대산	0.46492	0.5444	0.48384	0.46492	0.44422	0.43179	0.47383
보령	0.07820	0.12514	0.09388	0.07820	0.06872	0.06211	0.08561
장항	0.17621	0.21650	0.19126	0.17621	0.15887	0.14216	0.177
군산	0.25960	0.39565	0.30738	0.25960	0.21274	0.17942	0.27096
목포	0.31058	0.37332	0.33128	0.31058	0.26930	0.2381	0.30452
완도	0.46089	0.39087	0.42366	0.46089	0.47161	0.44589	0.43858
여수	0.96244	0.86302	0.91283	0.96244	1.0	1.0	0.94766
광양	0.15437	0.26187	0.18973	0.15437	0.12950	0.11319	0.16973
제주	0.40325	0.49316	0.43471	0.40325	0.35726	0.31311	0.40030
서귀포	0.37691	0.33114	0.34969	0.37691	0.39486	0.39672	0.36986
삼천포	0.12872	0.16900	0.14250	0.12872	0.11978	0.11232	0.13446
통영	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.92489	0.98498
고현	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
옥포	1.0	0.80866	0.89276	1.0	1.0	1.0	0.94028
마산	0.21309	0.26956	0.23104	0.21309	0.19074	0.17283	0.21545
진해	0.21392	0.24337	0.22251	0.21392	0.19367	0.17785	0.21026
부산	0.23583	0.30764	0.26017	0.23583	0.22135	0.21727	0.24845
울산	0.59420	0.95872	0.71612	0.59420	0.49823	0.43047	0.63955
포항	0.09845	0.14788	0.11430	0.09845	0.08946	0.08366	0.10675
삼척	0.56536	0.81292	0.64908	0.56536	0.51130	0.46397	0.60053
동해	0.11050	0.19155	0.13854	0.11050	0.09368	0.08275	0.12340
목호	0.28742	0.34061	0.30797	0.28742	0.27162	0.25497	0.29252
옥계	0.13652	0.19829	0.15442	0.13652	0.12194	0.11145	0.20452
속초	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
평균	0.41764	0.48781	0.43721	0.42918	0.39660	0.37540	0.42524

<표 3> 일반 투입지향 CCR모형과 퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의한 국내항만들의 순위변화

항만 \년도	일반 투입지향CCR모 형에 의한 효율성 수치에 의한 순위	퍼지DEA의 평균지수변환모형에 의한 효율성 수치에 의한 순위					
		$\lambda = 0$	$\lambda = 25$	$\lambda = 50$	$\lambda = 75$	$\lambda = 100$	평균
인천	17	14	16	18	19	19	17
평택	11	5	8	12	12	13	9
대산	8	9	9	8	9	8	8
보령	26	26	26	26	26	26	26
장항	20	21	20	21	20	20	21
군산	15	11	15	16	16	16	15
목포	13	13	13	14	14	14	13
완도	9	12	11	9	8	7	10
여수	5	6	4	5	1	1	4
광양	21	19	21	22	21	21	22
제주	10	10	10	11	11	11	11
서귀포	12	16	12	13	10	10	12
삼천포	23	24	23	23	23	22	23
통영	1	1	1	1	1	5	3
고현	1	1	1	1	1	1	1
옥포	1	8	5	1	1	1	5
마산	19	18	18	20	18	18	18
진해	18	20	19	19	17	17	19
부산	16	17	17	17	15	15	16
울산	6	4	6	6	7	9	6
포항	25	25	25	25	25	24	25
삼척	7	7	7	7	6	6	7
동해	24	23	24	24	24	25	24
목호	14	15	14	15	13	12	14
옥계	22	22	22	10	22	23	20
속초	1	1	1	1	1	1	1

<표 2>와 <표 3>을 통해서 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 일반 투입지향 CCR모형에 의한 효율성 수치를 보면, 통영, 고현, 옥포, 속초항이 가장 효율적인 항만으로 나타났으며,¹⁴⁾ 여수는 96%의 효율성, 울산과 삼척은 50%의 후반

의 효율성을 보이고 있으며, 대산, 완도, 제주항은 40%의 효율성을 보이고 있다. 기타 대부분의 항만들의 효율성이 낮은 것으로 나타났다.

둘째, 퍼지DEA 평균지수모형에 의한 효율분석에서는 고현항, 속초항이 가장 효율적인 항으로 나타났으며, 옥포, 여수항은 램다값이 커질 수록 효율성 수치가 1인 효율적 항만으로 변화하였다.

셋째, 퍼지DEA 평균지수모형에 의한 효율분석에서는 완도, 여수, 서귀포항은 램다 값이 높아질수록 효율성이 증가하였으며, 나머지 항만들은 효율성이 낮아졌다. 이것은 Campos and Gonzalez(1989, p.152)에서 지적한 바와 같이 항만당국자는 램다 값을 0.5이상으로 생각하는 경우에는 해당항만의 산출요소가 증가되어 항만의 이익이 커지는 것에 낙관적이게 된다는 것을 의미한다.

넷째, 일반적인 투입지향 CCR모형의 효율성 수치에 따른 순위와 퍼지 DEA의 평균지수 접근모형에 의한 효율성 수치의 평균에 의한 순위와 거의 유사하게 일치하였다. 그러나 작은 차이점에 대해서는 좀 더 세밀한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

지금까지 본 연구에서는 첫째, 퍼지DEA모형을 해운항만분야에 이용한 국내외 기존연구들을 간략하게 검토하였으며, 둘째, Campos and Gonzalez(1989), 임성묵(2008)의 평균지수변환모형을 이론적으로 소개하였으며, 셋째, 국내 26개항만을 대상으로 2개의 투입요소(접안능력, 하역능력), 2개의 산출요소(화물처리량, 입출항척수)를 이용하여 평균지수변환모형에 의거하여 효율성을 분석하고 해석하였다.

실증분석결과를 요약해 보면 다음과 같다.

첫째, 일반 투입지향 CCR모형에서는 통영, 고현, 옥포, 속초항이 효율적이었으며, 여수항이 90% 후반의 효율성을 보였다.

둘째, 퍼지DEA 평균지수변환모형에서는 고현, 속초항이 가장 효율적이었으며, 옥포, 여수항은 램다값이 커질수록 효율성이 증가되었다. 또한 완도, 여수, 서귀포항은 램다값이 높아질 수록 효율성수치도 높아졌다. 이것은 항만당국자가 램다값 0.5이상에서는 해당항만들이 수익률일 증가할 것이라 점에 낙관적인 판단을 한다는 것을 의미한다.

셋째, 일반적인 투입지향 CCR모형의 효율성 수치와 평균지수변환모형에 의한 효율성수

14) 고현, 속초항이 효율성이 높고, 부산,광양, 인천 등 대형항만이 효율성이 낮게 나타나는 이유는 소형항만들이 대형항만들에 비해서 상대적으로 적은 투입요소로서 높은 산출요소의 효과를 나타내고 있기 때문이다. 그것이 갖는 정책적인 의미는 항만투자나 항만의 운영예산을 수립하는 경우에 경영합리화나 기타 방법을 통해서 투입요소의 비용을 줄이고, 항만세일이나, 홍보 등을 통해서 산출요소의 비율을 높여서, 효율성을 극대화 시키는 정책의 도입 및 시행이 필요하다는 점이다.

치의 평균순위는 거의 일치하였다.

본 논문이 갖는 정책적인 함의는 국내항만의 정책입안담당자들은 본 논문에서 사용하고 있는 퍼지DEA 평균지수변환법을 이용한 항만의 효율성을 분석하여 항만관리에 이용해야만 한다는 점이다. 특히 투입요소와 산출요소의 값을 정확히 알지 못하고 애매모호한 수준에서 알고 있을 때, 차선책으로 선택하여 사용할 수 있는 유용한 모형이기 때문이다. 왜냐하면, 애매모호하게 알고 있는 투입 및 산출요소 데이터를 가지고 최대한 체계적이고 논리적인 틀에서 효율성 수치를 계산해보자는 것이 퍼지 DEA 모형이기 때문이다.

본 논문의 한계점은 첫째, 평균지수변환모형접근법에 의해 도출된 퍼지 DEA의 결과는 일반 DEA를 통한 DEA 수치든, 의사결정자의 주어진 여건에 따라 적절한 모형을 선택하느냐가 관건인데, 그것에 대한 정확한 기준을 제시하지 못했다는 점이다. 왜냐하면, 어느 모형이든 도출된 효율성 수치를 해석하는 방법은 다르지 않기 때문이다. 둘째, 램다값의 변환을 통해서 모형의 특성을 파악해 보는 시도에 대해서 명확한 근거를 제시하지 못했다는 점이다. 왜냐하면, 램다값은 의사결정자가 자신의 선호, 주어진 퍼지 상황에 대한 이해를 바탕으로 사전에 결정하는 것이지, 감도분석을 해보는 대상이 아니기 때문이다. 셋째, 평균지수변환모형접근법에 근거한 퍼지 DEA 모형에서 도출된 효율성 수치가 Campos and Gonzalez(1989, p.152)에서 제시하고 있는 의사결정권자의 어떤 램다수준에서의 항만 수익에 대한 낙관론, 비관론을 제외하고, 세부적인 정책적 의미를 내포하고 있는지에 대한 상세한 내용을 제시하지 못했다고 하는 점이다. 또한 넷째, 왜 항만산업에서 이 방식의 도입이 필요한지에 대한 측면과, 기존 외국 학술지에서 언급된 퍼지방식의 문제점도 세부적으로 제시하지 못하였다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 항만효율성 분야를 확장시키는데 학술적인 기여를 하리라고 확신한다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부, 『국토해양통계』, 국토해양부, 2008.7., (<http://www.mltm.go.kr>)
2. 박노경, “항만투자의 유효성 측정방법: Congestion 모형접근,” 『한국항만경제학회지』 제19집 제2호, 한국항만경제학회, 2003.12, pp.33-53.
3. 박노경, “생산효율성에 의한 컨테이너항만의 지배-피지배 관계분석:FDH모형 접근,” 『한국해운학회지』 제35호, 한국해운(물류)학회, 2002, pp.119-140.
4. 박노경외 1인, “컨테이너터미널의 방사·비방사적 효율성 측정방법비교,” 『해운물류연구』 제53호, 한국해운물류학회, 2007.6, pp.17-41.
5. 여기태 외 4인, “MDMG-HFP법과 퍼지역평가법을 이용한 상하이 및 북중국과 우리나라 컨테이너항만의 경쟁력 분석에 관한 연구,” 『해운물류연구』 제42호, 한국해운물류학회, 2004.9, pp.45-69.
6. 오성동·박노경, “컨테이너항만의 국제경쟁력 분석방법: DEA접근,” 『한국항만경제학회지』 제17권 1호, 한국항만경제학회, 2001.5, pp.27-52.
7. 임성목, “퍼지 선형계획법 해법 및 퍼지 DEA에의 적용에 관한 연구,” 『한국산업시스템공학회지』 제31권 제2호, 한국산업시스템공학회, 2008.6, pp.51-60.
8. 장운재·금중수, “퍼지로직 DEA를 이용한 RCC/RSC별 운영효율성 평가,” 『해양환경안전학회지』 제12권 제4호, 한국해양환경안전학회, 2006, pp.233-239.
9. 장운재·금중수, “순위결정 퍼지DEA법을 이용한 수색구조구역의 운영효율성 평가,” 『해양환경안전학회지』 제13권 제3호, 한국해양환경안전학회, 2007, pp. 207-212.
10. Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984), “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Sciences*, Vol. 30, pp. 1078-1092.
11. Campos, L.M., and A., Gonzalez, “A Subjective Approach for Ranking Fuzzy Numbers,” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 29, 1989, pp.145-153.
12. Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.
13. 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.
14. De, Prabir and Ro Kyung Park (2003), "Container Port System Concentration," *Transportation Quarterly*, Vol.57, No.4, pp.69-82.
15. LE, Q.L.N., N.H. DO, J.Y. Yoo, and K.C. Nam, "Evaluation of Port Quality from Customer Satisfaction: A Fuzzy Logic Based Model," *Proceedings of the 5th International Gwangyang Port Forum & 2008 The International Conference of the KPEA*, 2008, pp.239-248.
16. Lertworasirikul, S., S.C. Fang, J.A. Joines, and H.L.W. Nuttle, "Fuzzy Data Envelopment Analysis(DEA): A Possibility Approach," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 139, 2003, pp. 379-394.
17. Park, Ro Kyung. and Prabir, De(2004), "An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaports," *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 6, pp. 53-69.
18. Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets," *Information and Control*, Vol.8, 1965, pp. 338-353.

< 요약 >

폐지DEA에 의한 항만의 효율성 및 순위 측정방법:평균지수변환모형 접근

박노경

본 연구에서는 첫째, 폐지DEA모형을 해운항만분야에 이용한 국내외 기존연구들을 간략하게 검토하였으며, 둘째, Campos and Gonzalez(1989), 임성목(2008)의 평균지수변환모형을 이론적으로 소개하였으며, 셋째, 국내 26개항만을 대상으로 2개의 투입요소(접안능력, 하역능력), 2개의 산출요소(화물처리량, 입출항척수)를 이용하여 평균지수변환모형에 의거하여 효율성을 분석하고 해석하였다. 실증분석결과를 요약해 보면 다음과 같다. 첫째, 일반 투입지향 CCR모형에서는 통영, 고현, 옥포, 속초항이 효율적이었으며, 여수항이 90% 후반의 효율성을 보였다. 둘째, 폐지DEA 평균지수변환모형에서는 고현, 속초항이 가장 효율적이었으며, 옥포, 여수항은 램다값이 커질수록 효율성이 증가되었다. 또한 완도, 여수, 서귀포항은 램다값이 높아질 수록 효율성수치도 높아졌다. 셋째, 일반적인 투입지향 CCR 모형의 효율성 수치와 평균지수변환법에 의한 효율성수치의 평균순위는 거의 일치하였다. 본 논문이 갖는 정책적인 함의는 국내항만의 정책입안담당자들은 투입요소와 산출요소의 값을 정확히 알지 못하고 애매모호한 수준에서 알고 있을 때, 본 논문에서 사용한 폐지DEA 평균지수모형을 이용할 필요성이 있다는 점이다.

□ 주제어: 폐지DEA, 항만의 효율성, 평균지수변환모형, DEA