

## 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성모형을 이용한 항만클러스터링 측정에 대한 실증적 비교연구\*

박노경\*\*

### An Empirical Comparative Study of the Seaport Clustering Measurement Using Bootstrapped DEA and Game Cross-efficiency Models

Park, Ro-Kyung

#### Abstract

The purpose of this paper is to show the clustering trend and the comparison of empirical results and is to choose the clustering ports for 3 Korean ports(Busan, Incheon and Gwangyang Ports) by using the bootstrapped DEA(Data Envelopment Analysis) and game Cross-efficiency models for 38 Asian ports during the period 2003-2013 with 4 input variables(birth length, depth, total area, and number of cranes) and 1 output variable(container TEU). The main empirical results of this paper are as follows. First, bootstrapped DEA efficiency of SW and LT is 0.7660, 0.7341 respectively. Clustering results of the bootstrapped DEA analysis show that 3 Korean ports [ Busan (6.46%), Incheon (3.92%), and Gwangyang (2.78%)] can increase the efficiency in the SW model, but the LT model shows clustering values of -1.86%, -0.124%, and 2.11% for Busan, Gwangyang, and Incheon respectively. Second, the game cross-efficiency model suggests that Korean ports should be clustered with Hong Kong, Shanghai, Guangzhou, Ningbo, Port Klang, Singapore, Kaosiung, Keelung, and Bangkok ports. This clustering enhances the efficiency of Gwangyang by 0.131%, and decreases that of Busan by-1.08%, and that of Incheon by -0.009%. Third, the efficiency ranking comparison between the two models using the Wilcoxon Signed-rank Test was matched with the average level of SW (72.83 %) and LT (68.91%). The policy implication of this paper is that Korean port policy planners should introduce the bootstrapped DEA, and game cross-efficiency models when clustering is needed among Asian ports for enhancing the efficiency of inputs and outputs. Also, the results of SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, and Threat) analysis among the clustering ports should be considered.

*Key words: Asian Container Ports Clustering, Bootstrapped DEA Model, Game Cross-efficiency Model, DEA*

▷ 논문접수: 2016. 02. 11.      ▷ 심사완료: 2016. 03. 06.      ▷ 게재확정: 2016. 03. 21.

\* 본 논문은 2016년 2월 17일 서울대학교에서 개최된 한국경제학회가 주관한 경제학공동학술대회 한국항만경제학회 분과에서 발표된 논문을 축약, 수정, 보완한 논문임. 유익한 논평을 해 주신 안승범(인천대)교수님, 김영민(서울사이버대)교수님께 감사를 드립니다. "이 논문은 2015년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015S1A5A2A01009325)".

\*\* 조선대학교 무역학과 교수, 제1저자, nkpark@chosun.ac.kr

## I. 서론

최근 5년 동안 중국항만들의 항만 물동량 처리량의 증가는 급격하게 증가하고 있으며, 결과적으로 지리적으로 근접한 국내항만들에게는 매우 큰 위협요인이 되고 있다. 국내항만들 나름대로는 항만서비스 증진과 외국적 선박의 항만입항에 따른 비용을 경감시켜 주는 노력을 하고 있으나 여러 가지로 어려운 상황에 직면해 있다. 그러나 그러한 상황을 해결하기 위한 발전된 DEA기법을 이용한 항만 간 클러스터링과 그에 따른 효율성 등을 비교분석한 국내연구가 그 어느 때 보다도 필요한 상황이다. 본 연구는 다음과 같은 내용을 연구의 주요한 주제로 한다.

첫째, 현재 가장 많이 이용되고 있는 부트스트랩 DEA모형은 Simar and Wilson(1997)에 의해서 제안되었으며, Lothgren and Tambour(1999a)가 확장하였다. 현재는 후자의 모형이 더 채택되고 있다. 본 연구에서는 두 모형을 함께 측정하고자 한다. 특히, 클러스터링과 관련되어서는 Sarkis and Talluri(2004), Wu, Cook and Zhu(2008), Wu, Liang, Wu and Yang(2008)가 효율성 점수의 상관메트릭스를 이용하여 척도조정된 거리군집조합(평균연결방법)으로 클러스터링을 측정하였다. 게임교차효율성 모형은 교차효율성 모형이 다루지 못한 치열한 경쟁이 존재하는 경우를 반영한 모형으로서 국내에서의 기존연구는 거의 전무하며 선진국 학자들에 의해서 최근에 발표되고 있다. 본 연구에서는 Liang, Wu, Cook, and Zhu(2008)과 Wu, Liang, and Chen(2009)의 기본모형을 이용한다. 현재 게임교차효율성 모형은 Ma, Liu, Zhou, Zhao and Liu(2014: 1-2)의 기존연구에서 제시하고 있는 여러 학자들에 의해서 모형이 확장되고 사용되고 있다. 또한 Chen and Zhu(2011)에서처럼, 부트스트랩 DEA모형에 게임교차효율성을 반영한 연구가 처음으로 발표되었다. 본 연구는 위와

같이 밀접하게 관련되어 있는 두 가지 모형인 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 국제적인 항만 간 클러스터링분석에 실증적인 적용과 그 측정결과를 정밀하게 비교분석하는 연구이다. 즉, 항만클러스터링을 정확하게 측정하기 위한 부트스트랩DEA모형과 게임교차효율성 모형을 사용하여 아시아 항만들(38개국)의 클러스터링을 측정하며, 또한 10년간(2003년-2013년)의 장기적인 추세를 분석함으로써 앞으로 국내항만들의 생존전략을 모색할 수 있도록 학술적인 근거를 마련하고자 한다.

둘째, 본 연구에서는 부트스트랩 DEA모형을 이용함으로써, 일차적으로 아시아 컨테이너항만들을 특정항만별로 클러스터링(부트스트랩 효율성 메트릭스를 이용하여 척도조정된 거리군집조합에 의한 평균연결방법)을 제시하며, 이차적으로 게임교차효율성모형을 이용하여 ① 게임교차효율성을 측정한다. ② 게임교차효율성 메트릭스의 상관계수 값을 측정한다. ③ 상관계수 값을 이용하여 평균연결방법(the average linkage method)으로 클러스터링을 측정한다. ④ 클러스터링 전과 후의 국내항만의 효율성이 어느 정도로 개선되는지를 파악하는 한편 장기적인 추세변화, 두 가지 모형의 측정결과와 비교분석을 심도있게 제시할 수 있기 때문에 기존연구의 한계를 극복할 수 있을 것으로 확신한다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서 II장에서는 클러스터링을 다룬 국내와 국외연구들에 대하여 학자별로 간략하게 검토하고 그러한 연구들의 한계점과 함께 본 연구의 핵심을 제시하며, III장에서는 부트스트랩 DEA모형과 게임 교차효율성 모형을 이용하여 아시아 항만들에 대한 클러스터링을 실증적으로 적용하며, 장기적인 추세도 분석하며, 정책적인 함의를 제시하는 한편 몇 가지 측면에서 두 모형의 측정결과를 비교한다. IV장에서는 요약, 정책적 함의, 결론이 제시된다.

## II. 기존연구에 대한 검토 및 한계점

### 1. 부트스트랩 DEA 모형 및 게임 교차효율성 모형을 이용한 항만클러스터링 및 기타 클러스터링과 관련된 국내·국외 기존연구에 대한 검토

본 연구과제의 주제는 부트스트랩DEA모형은 가장 기본적인 Simar and Wilson(1998), Lothgren and Tambour(1999a)의 연구를 실증분석에 적용하는 한편 게임교차효율성 모형은 Liang, Wu, Cook, and Zhu(2008)과 Wu, Liang, and Chen(2009)의 모형을 사용한다. 또한 두 가지 모형에 대해서 Hirschberg and Lye(2001)가 사용한 효율성 상관관계 매트릭스를 이용한 평균연결방법에 의한 클러스터링을 측정하고 그 결과를 정밀하게 비교분석 하는 것 까지 확장시키고자 한다.

항만클러스터링과 관련된 국내외 기존연구본 연구와 직접 관련된 연구 및 간접적으로 관련된 연구에 대한 내용은 다음과 같다.

교차효율성 모형을 이용한 연구로는 박노경(2013a), 박노경(2013b), 김경구(2003), 김재희(2009)가 있다. 교차효율성 모형을 주제로 다룬 기존연구에 대한 자세한 내용은 박노경(2013a:280-281), 박노경(2013b: 441-442)에 제시하였다. 게임교차효율성 모형을 이용한 클러스터링에 대한 연구는 박노경(2014)이 있다. 부트스트랩 DEA모형 및 게임교차효율성에 대한 기존연구의 상세한 검토는 박노경(2016: 4-6)에 제시하였다.

Ro Kyung Park(2008)은 부트스트랩 DEA모형을 이용하여 2002년부터 2004년까지 국내 24개 컨테이너터미널들에 대한 4개의 투입물(종업원수, 선석 길이, 컨테이너야드, 컨테이너크레인수), 3개의 산출물(TEUs, 선석점유율, 화물처리량)을 이용하여 DEA(자료포괄분석)방법으로 효율성을 측정하였으며, 그렇게 측정된 효율성에 편기가 포함되어 있는지

를 파악하기 위해서 새롭게 Simar and Wilson(1998)이 제시한 Bootstrap DEA방법을 적용하고 해석하였다.

박노경(2014)은 게임교차효율성모형을 이용하여 2009년, 2010년, 2013년과 13개 항만을 대상으로 3개의 투입요소(수심, 총면적, 크레인 수), 1개의 산출요소(컨테이너화물 처리량)를 이용하여 실증분석을 하고 효율성 순위를 측정하였다. 또한 기존의 교차효율성 모형에 의한 효율성 및 CCR모형에 의해 효율성을 측정하고 그 효율성 수치에 의한 순위를 측정하였으며, ANOVA분석을 통해서 그러한 순위가 게임교차효율성 모형과 모형 간에 차이가 있는지를 검증하였다. 게임교차효율성 매트릭스의 상관계수 값을 구한 후에 평균연결을 사용한 덴드로그램에 의한 방법으로 클러스터링을 측정하였다.

박노경(2013a)은 교차효율성모형을 이용하여 세계 12개 컨테이너항만의 2007년 자료인 4개의 투입요소(선석수, 수심, 총면적, 크레인수), 2개의 산출요소(컨테이너화물처리량, 화물처리량의 변화율)를 이용하여 일반 CCR, 일반BCC, 슈퍼CCR, 슈퍼 BCC, 교차효율성 모형으로 효율성을 측정하고 비교, 분석하였다.

박노경(2013b)은 교차효율성모형(게임교차효율성 모형의 기초가 되는 모형)과 참조집단모형을 이용하여 세계 12개 컨테이너항만의 2012년 자료인 4개의 투입요소(선석수, 수심, 총면적, 크레인 수), 2개의 산출요소(컨테이너화물처리량, 화물처리량의 변화율)를 이용하여 일반 CCR, 일반 BCC, 슈퍼 CCR, 슈퍼 BCC모형에 의한 효율성 수치와 함께 참조집단과 램다 값을 측정하였으며, 또한 교차효율성 모형으로 효율성을 측정하고 비교, 분석하였다.

Lothgren and Tambour(1999a)는 DEA분석에서 얻어진 기업특유 맴키스트 지수에 대한 신뢰구간을 계산하기 위해서 부트스트랩 접근을 이용하였다. 스위스안과에 대한 자료를 이용하여 분석하였는데 40%의 안과가 생산성의 유의미한 증가를 보였으며,

10%는 감소하였다. 이러한 결과는 원래의 결과는 50% 증가, 50%감소의 원래 결과와 차이를 보였다.

Lothgren and Tambour(1999b)는 DEA방법을 이용하여 기업특유 규모효율성을 검증하고 추정하는 방법을 보여 주었다. 규모효율성에 대한 기업 특유 의미를 수행하기 위해서 단순한 부트스트랩 엘고리듬을 이용하였다. 스위스 병원들에 대한 분석에서 약 40%의 과들이 원래의 결과와 일치된 규모효율성을 보여 주었으나, 1/3은 규모효율성 가설을 기각시켰다.

게임교차효율성에 대한 국외에서의 대표적인 연구로는 Ma, Liu, Zhou, Zhao and Liu (2014), Wu, and Liang(2012), Wu, Liang, and Chen (2009), Liang, Wu, Cook, and Zhu(2008)가 있다.

Ma, Liu, Zhou, Zhao and Liu(2014)는 2단계 구조에서 교차효율성을 정의하고, 비협력적인 게임 하에서의 교차효율성을 미국 상위 30개 은행을 대상으로 측정하고 분석하였다. 게임모형이 개별 은행에 대해서 합리적인 교차효율성을 유도함을 밝혀내었다. 게임교차효율성모형을 다룬 최근 연구라고 할 수 있다.

Wu, and Liang(2012)은 Wu, Cook, and Zhu (2008)의 모형을 확장시켜서 대안적인 다중범주의 사결정모형(Alternative Multiple Criteria Decision Making; MCDM)으로 간단한 예를 들어서 게임교차효율성을 측정하였다.

Wu, Liang, and Chen(2009)는 수정된 게임교차효율성모형을 제시하고, 2004년 세계올림픽에 참가한 62개국을 대상으로 게임교차효율성을 측정하여 순위를 결정하고 민감도 분석도 시행하였다.

Wu, Cook, and Zhu(2008)는 교차효율성모형이 갖고 있는 단점들을 지적하면서, 만약에 의사결정 단위들(DMUs)간에 경쟁이 존재하는 경우에는 게임교차효율성모형이 더 적합함을 주장하였다. 즉, 개별 DMUs를 경기자로 간주하고, 이 모형에서 다른 DMUs의 효율성을 악화시키지 않으면서 개별

DMUs가 자신의 효율성을 극대화 시킬 수 있다고 주장하였다. 또한 사례를 들어서 실증분석하였다.

Sarkis and Talluri(2004)는 44개의 미국 공항들을 대상으로 5년간(1991-1994)과 4개의 투입물(운영비, 고용인수, 게이트 수, 활주로 수)과 5개의 산출물(운영수익, 항공기 이착륙대수, 일반 항공기 수, 총 승객 수, 총운임)을 이용하여 교차효율성을 측정하고, 교차효율성 매트릭스의 상관계수 값을 이용하여 평균연결방법(the average linkage method)으로 클러스터링을 측정하였다.

## 2. 기존연구의 한계점

첫째, 앞에 제시한 항만클러스터링과 관련된 국내 기존연구들은 박노경(2003), 박노경(2011), 박노경(2010), 박노경(2013a,b)을 제외하고 DEA기법을 사용하지 못했으며, 박노경(2008)은 부트스트랩DEA모형을 이용하여 효율성을 측정하고, 벤치마킹항만을 적출하고, 항만 간 순위를 결정하는 방법만을 보여주는데 그쳤으며, 박노경(2013a,b)도 교차효율성을 이용하여 항만들의 클러스터링을 하는 방법만을 보여 주었으며, 박노경(2014)도 게임교차효율성 모형을 항만의 효율성 측정과 클러스터링에 적용하는 방법만을 보여 줌으로써 (1) 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 항만클러스터링을 심도있게 분석하는 방법을 전혀 다루지 못했다. (2) 단 년도(또는 2-3년)를 대상으로 항만클러스터링 또는 벤치마킹항만, 항만 간 순위를 측정하는 방법만을 보여주는 수준을 뛰어 넘지 못하였으며, (3) 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 정밀한 클러스터링 측정결과를 비교분석하는 것을 전혀 실증분석에 도입하지도 못함으로써, ① 항만클러스터링을 정확하게 측정하기 위한 새로운 모형 도입, ② 실증적 검증을 위한 대상기간, 투입-산출요소의 정확성 측면 ③ 두 가지 모형의 각각에 대한 정밀한 클러스터링 측정 결과 및 비교분석 면에서 연구의 절대적

인 한계를 보이고 있다.

둘째, 부트스트랩 DEA모형을 이용한 클러스터링 결과와 게임교차효율성 모형을 이용한 클러스터링 측정결과가 국내항만들의 효율성을 어느 정도로 증대시키는지와, 또한 국내항만들이 어떤 항만들과 클러스터링을 해야 하는지를 항만산업의 클러스터링 분야에 적용한 연구는 국내와 국외에서 전혀 시도된 적이 없다.

셋째, 요컨대, 본 연구에서 다루고자 하는 내용들[기본적인 DEA모형에 의한 효율성 측정, 부트스트랩 DEA모형에 의한 클러스터링 측정, 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 측정, 각각의 모형의 측정결과 비교분석, 각각의 클러스터링이 국내항만의 효율성의 증진에 미친 영향, 장기적 추세분석]은 국내, 국외에서는 전혀 다루지 못한 주제로서 국내외 기존연구를 확장시킬 수 있을 것으로 확신한다.

### Ⅲ. 부트스트랩 DEA 모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 클러스터링 측정 및 비교

#### 1. 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형에 대한 이론적 접근

##### 1) 부트스트랩 DEA모형에 대한 이론적 접근<sup>1)</sup>

일반적인 DEA 분석을 통해 추정된 효율성 값은 통계적인 성질을 띠지 못하고 있다. 또한 추정된 효율성 값은 신뢰구간을 설정할 수 없다는 큰 단점을 갖고 있다. 왜냐하면, DEA를 통해 추정된 효율성 값 자체가 통계적 가정 하에 추정된 것이 아니라 주어진 자료로부터 계산해 낸 것이기 때문이다. 이러한 단점을 극복하고 DEA에 확률성을 부

여하기 위한 대표적인 방법이 바로 부트스트랩 기법이다. 다시 말해 부트스트랩 DEA 기법은 자료 생성 과정에서 반복적인 시뮬레이션을 통하여 모수의 추정치를 얻고, 이에 근거하여 신뢰구간을 추정해 내는 기법이다.

##### 2) 게임교차효율성모형에 대한 이론적 접근<sup>2)</sup>

게임교차효율성을 살펴보기 전에, 먼저 교차효율성 모형에 대한 내용을 살펴보면 다음과 같다. 교차효율성 모형은 Sexton 등(1986)이 제안하고 Doyle and Green(1994)에 의해서 발전된 모형으로, 자기 자신에게 유리한 최적의 가중치 뿐 아니라, 타 DMU의 최적 가중치까지 고려하기 때문에, 일반적인 DEA기법에 비해서 좀 더 공정한 효율성 지수를 구하는 장점을 가지고 있다. 즉, DEA에 대한 추가적인 가중치 제약을 할 필요가 없으며, 그렇게 함으로써 비현실적인 DEA가중치 계획을 피할 수 있다. 그러나 DEA 최적가중치의 비독특성 때문에 교차효율성의 유용성은 감소될 수 있다. 따라서 DMUs를 게임에서의 경기자로 간주할 때, 교차효율성 점수는 보수(payoffs)로 간주할 수 있으며, 개별 DMU들은 비협조적인 게임을 하게 되며, DMU들은 그들의 보수를 극대화시키려고 하게 된다.

요컨대, 게임교차효율성 모형은 교차효율성 모형에 비해서 첫째, 의사결정의 편향성을 피할 수 있으며, 둘째, 교차효율성 점수가 게임교차효율성 측정에서는 보수(payoff)가 되며, 셋째, 개별 항만들은 그들 자신의 보수를 극대화하기 위해서 비협력적 게임을 선택하게 된다. 즉, 한 항만의 게임효율성이 측정되면, 다른 항만은 적절한 투입과 산출가중치를 선택함으로써, 기 측정된 항만의 기 측정된 효율성 수치를 조건으로 그들 항만 자신의 효율성을 극대화하게 된다.

1) 수식과 자세한 설명은 김종대(2014: 105-107)를 참고요망. 김종대 박사님의 수식과 설명은, 박노경(2016: 8-9)에 제시함. 전재를 허용해 주신 김종대 박사님께 감사를 드립니다.

2) 수식 등에 대한 자세한 설명은 박노경(2015: 154-156), 박노경(2016: 10-11)을 참고요망.

표 1. 부트스트랩 DEA 모형과 게임교차효율성 모형의 장점과 단점

모형/구분	장점	단점
부트스트랩 DEA 모형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 효율성 점수의 편의(bias), 통계적 신뢰구간, 표준오차를 제시할 수 있음.</li> <li>• 효율적으로 판정된 항만들이 다수 존재하는 경우에 항만들 간의 순위를 측정 할 수 있음.</li> <li>• 이상치(outlier)의 출현에 상대적으로 민감하지 않으며, 통계적인 추론과 가설검증을 할 수 있는 점근적(asymptotic)인 절차를 취함.</li> <li>• 고정된 투입요소 하에서 산출물을 극대화 할 수 있는 상한과 하한의 값을 구할 수 있음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 효율성에 미치는 요인을 분석하기 위해서는 단절회귀분석, 토빗회귀분석 등이 필요함.</li> <li>• 임의로 추출된 표본들은 모집단의 실제 관측 자료가 아니기 때문에 실제분포를 추론하는데 제약이 있음.</li> <li>• 가장적인 효율성 수치임으로 실제 현실을 정확하게 반영하지 못함.</li> </ul>
게임교차효율성 모형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 의사결정의 편향성을 피할 수 있음.</li> <li>• 교차효율성 점수가 게임교차효율성 점수의 보수(payoff)가 됨.</li> <li>• 기 측정된 항만의 효율성 수치를 조건으로 그들 항만 자신의 효율성을 극대화 하게 됨.</li> <li>• 게임교차효율성 수치의 상관계수 값을 이용하여 DMUs들의 간의 클러스터링 측정이 가능함.</li> <li>• 반복적인 계산을 통해서 Nash균형점에 도달 하게 됨.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모든 항만들의 최상의 성과를 알기 전까지는 교차효율성 측면에서 새로 생성되는 효율성 점수를 알 수 없게 됨.</li> <li>• 교차효율성이 갖고 있는 단점들 (박노경, 2015, p.89)을 갖게 됨.</li> </ul>

## 2. 부트스트랩 DEA 모형과 게임교차효율성 모형의 장점과 단점

항만의 클러스터링과 관련되어 본 연구에 이용된 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형에 대한 장단점은 <표 1>에 제시하고자 한다. 기타 모형들에 대한 장단점은 박노경(2012)에 자세하게 제시하였다. <표 1>에 제시된 장점과 단점은 이준배(2013)등에서의 내용을 저자가 인용, 요약, 정리하여 제시하였음을 밝혀 둔다.

## 3. 설문조사를 통한 부트스트랩 DEA 모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 실증적 비교분석을 위한 모형개발

1) 설문조사를 통한 부트스트랩 DEA 모형 및 게임교차효율성 모형에 대한 실증적 비교분석을 위한 모형개발

(1) 설문조사의 방법, 기간 및 설문조사 결과

<표 2>와 관련된 설문지는 2015년 5월 29일부

터 2015년 6월 30일 사이에 항만관련 교수, 부산항만공사, 인천항만공사, 여수광양항만공사, 대표적인 해운회사 담당자들에게 직접 조사, 전화를 이용한 직접 면담방법과 e메일 방법을 이용하였다. 대상은 해운회사 5명, 한국무역학회 물류분야 교수 6명, 항만공사(부산, 인천, 여수광양) 3명으로 총14명에게 설문지를 받았다. 다음과 같은 설문문의 내용에 대한 의견이 제기되었다. 첫째, 투입요소에 대해서는 서비스요소를 포함시키는 것이 좋을 것 같음. 그리고 CY장치율과 Yard 회전율이 포함되어야만 함. 크레인 성능(18열, 20열, 24열을 구분)이 포함되어야만 함. 선석수는 단위당 처리량이 적합함, 선석생산성, 장비생산성, 작업시간도 순 작업시간을 고려해야만 함, gate의 자동화도 중요함, 들깨, 산출요소에 대해서는 Yard Tractor의 이용도, 선석당 TEU, TEU대신에 FEU의 도입이 필요함, VAN(강통)의 생산성이 포함되어야만 함. 셋째, 해양수산부의 정책적인 지원요청사항에 대한 질문의 답은 다음과 같다. ① 청도항 이북의 북중국 항만들에 대한 항권을 인천항에 보장해야만

표 2. 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 클러스터링을 분석하기 위한 모형개발(투입-산출요소)에 대한 만족도 및 선호항만에 대한 설문조사 결과

(만족도 단위: %)

만족도 / 응답자	①투입요소, ②산출요소에 대한 만족도 조사결과								클러스터링 선호항만 (선호 우선순위에 의한 3개 항만)
	0-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-100	
1			①		②				싱가포르, 방콕, 하이퐁
2						①	②		청도, 상해, 홍콩
3							①②		상해, 칭타오, 카오슝
4						②	①		홍콩, 포트클랑, 싱가포르
5						①	②		상해, 홍콩, 하이퐁
6						①②			싱가포르, 홍콩, 롱비치
7						②	①		청도, 하이퐁, 홍콩
8					①	②			싱가포르, 홍콩, 남미항
9								①②	상해, 싱가포르, 홍콩
10						①②			상해, 홍콩, 동경
11						①②			두바이, 오사카, 포트 클랑
12							①②		상해, 싱가포르, 홍콩
13							①②		상해, 싱가포르, 오사카
14					①②				상해, 홍콩, 카오슝
합계			1		4	11	10	2	28

함, ② 인바운드에 대한 수심규제완화, 준설확대, 사용자입장에서 행정업무의 효율화를 통한 신속화를 추구해야만 함, ③ 대형선박을 유치하기 위한 수심증설이 필요함, ④ 선박대형화에 따른 24열 크레인 설치와 같은 시설현대화가 절실함, ⑤ 싱가포르를 항만처럼 부산항도 북항과 신항을 일원화해야만 함, ⑥ 항만계획시 물동량 예측을 정확하게 해서 과잉투자와 선사들의 적자가 발생하지 않도록 해야만 함, ⑦ 부산항과 광양항에 대한 투포트 시스템에 대한 개선이 필요함, 왜냐하면, 한정된 선사들이 둘로 나뉘기 때문임, ⑧ 수도권 정비법을 완화시켜서 항만배후지에 화물이 증대되도록 해야만 함, ⑨ 항만개발 재원이 특정항만들에 편중되어 있는데, 적절한 안배가 필요함, ⑩ 서해안 항만들을 화물의 특성에 따라서 특화시킬 필요성

이 있음, ⑪ 특정항만공사의 부채에 대한 이자와 원금상환 부담이 큼, ⑫ 24열 크레인의 설치가 시급함 ⑬ 예산지원, 정책적인 지원이 필요함 등이었다.

위와 같은 지적에도 불구하고 본 논문에서 Containerization International Yearbook과 SP-IDC의 자료를 활용하여 <표 2>와 같은 투입-산출요소에 대한 만족도 결과에 의거하여 1개의 산출물(컨테이너화물처리량)과 4개의 투입물(선석 길이, 수심, 총면적, 크레인 수)을 이용한 <표 3>과 같은 모형으로 결정하였다. 클러스터링 해야만 한다고 생각되는 선호항만으로는 상해, 싱가포르, 홍콩항이 선호되었다. 일본항 중에서는 오사카항이 선호되고 있었으며, 베트남의 하이퐁항이 선호되었다. 투입-산출요소에 대해서는 82.14%의 전문가들이

70% 이상의 수준에서 만족하고 있는 것으로 나타났다.

(2) 설문조사결과에 의한 부트스트랩 DEA 모형과 게임교차효율성 모형 개발

〈표 2〉의 결과에 의해서 〈표 3〉과 같은 아시아 항만들의 클러스터링을 측정 할 수 있는 새로운 모형을 개발하였다.

4. 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 아시아 컨테이너항만 들의 클러스터링 측정 및 추세분석

1) 분석대상의 모형, 대상기간, 투입-산출요소 및 단위, 대상항만 수, 실증분석방법

분석모형, 대상기간, 투입-산출요소, 대상항만 수는 〈표 3〉과 같다. 분석대상은 아시아 38개 항만(총 418개 항만)의 11년간(2003년-2013년)으로 하였다. 각 변수의 단위는 다음과 같다. 투입요소는 선석길이(m), 수심(m)[평균치], 총면적(평방미터), 크레인 수(개)[갠트리, Quay, 모바일, 플로팅 크레인 수]로 하였으며, 산출요소는 컨테이너화물 처리량(TEU)이다. 또한 2011년 자료는 통계자료의 발표지연 및 변경 때문에, 박노경(2014:71)의 방법으로 계산하였다. 11년간의 자료를 수집<sup>3)</sup>하고 정리하는 과정에서 오류가 발생할 수도 있었음을 밝

혀둔다. 특히, 2012년의 자료는 Containerisation International Yearbook의 발간이 변경됨에 따라서 컨테이너화물처리량(TEU)이외에는 더 이상 자료를 구 할 수 없게 되었다. 따라서 산출요소인 컨테이너화물처리량은 미국야후(CIY)가 발표한 세계 100대 컨테이너항만 순위에서 구하였으며, 투입요소에 대해서는 2011년 자료에 일괄적으로 1%를 더한 값으로 계산하였다. 2013년 자료는 SP-IDC에서 컨테이너화물처리량(TEU)을 수집하였으며, 구할 수 없는 자료는 2012년 자료를 그대로 이용하였다. 투입요소는 2012년 자료를 그대로 이용하였다. 실증분석은 첫째, 2013년도의 자료를 이용하여 부트스트랩 DEA모형을 이용하여 클러스터링 측정 방법을 보여 준다. 둘째, 전체년도를 대상으로 하여, 부트스트랩 DEA모형을 이용하여 클러스터링 추세분석을 제시하고자 한다. 셋째, 게임교차효율성 모형을 이용하여 효율성을 측정하고, 효율성 수치의 상관계수 값을 도출하여 척도 조정된 거리 군집조합 방법으로 클러스터링을 측정한다. 넷째, 전체년도를 대상으로 하여 게임교차효율성모형을 이용하여 클러스터링을 측정한다. 또한 클러스터링 후의 효율성 변화를 측정한다. 다섯째, 위의 실증 분석결과에 의거하여 여러 가지 측면에서 양 측정 방법을 비교분석한다. 각 국가별 항만들의 항만번호 및 명칭은 다음과 같다. 1. Shahid Rajae, 2. Haifa, 3. Aqaba, 4. Beirut, 5. Port Sultan Qaboos, 6. Jeddah, 7. Damman, 8. Duabi, 9. Khor

표 3. 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 측정 모형

모형	대상기간	산출요소	투입요소	대상항만 수
부트스트랩 DEA 모형과 게임교차효율성 모형	2003~2013	컨테이너화물처리량 (TEU)	선석길이(m)	418개
			수심(m)	
			총면적(평방미터)	
			크레인수(개)	

3) 자세한 내용은 박노경(2013, 2016)을 참고하시기 요망.



Fakkan, 10. Aden, 11. Hong-kong, 12. Shanghai, 13. Guangzhou, 14. Ningbo, 15. Qingdao, 16. Chennai, 17. Tanjung Priok, 18. Tanjung Perak, 19. Tokyo, 20. Yokohama, 21. Kobe, 22. Nagoya, 23. Osaka, 24. Busan, 25. Incheon, 26. Gwangyang, 27. Port Klang, 28. Tanjung Pelpas, 29. Karachi, 30. JPort Mohammad Byin Oasim, 31. Manila, 32. Davao, 33. Singapore, 34. Colombo, 35. Keelong, 36. Kaosung, 37. Leam Chanbang, 38. Bangkok. 실증분석에 사용된 자료의 기술통계치는 박노경(2016: 17)에 제시한 바와 같이 연도별 효율성을 측정하는 데는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

## 2) 부트스트랩 DEA 모형을 이용한 투입지향모형(VRS, 규모수확 가변)에 대한 효율성 측정 및 참조집단을 통한 클러스터링 결과(2013년도 자료이용)

Simar and Wilson(1998)은 단 한 기간 동안의 DEA 거리함수에 대한 부트스트랩 신뢰구간을 얻기 위해서 원 효율성 추정치를 비모수적으로 완화된 실증적 분포의 재 표본화에 근거한, 그리고 대안적이며, 계산이 가능한 부트스트랩 알고리즘을 제시하였다. Lothgren and Tambour(1999a)는 다음과 같은 두 가지 점에서 Simar and Wilson(1998)모형을 확장시켰다. 첫째, Simar and Wilson(1998)이 제안한 반영(reflection)과 kernel 스무딩 방법의 적용 없이, 원 효율성 측정 추정치의 단 하나의 단순한 재 표본을 이용하였다. 둘째, 두 모형의 근본적인 차이는 재 표본화 된 효율성의 계산이 다르다는 점이다. 즉, Simar and Wilson(1998)이 제안한 재 표본화는, 효율성 추정치의 기본이 되는 생산프론티어 추정치의 표본변동성에 초점을 두고 있다. 반면에

Lothgren and Tambour(1999a)은 재 표본화를 함에 있어서 명시적으로 DEA추정치의 표본분포가

생산프론티어 추정치의 표본분포와 투입-산출자료의 표본분포의 함수라는 사실을 통합시킨 점이다 [Lothgren and Tambour(1999b:1234)]. 즉, 부트스트랩과 관련된 자료생성과정에서 관측된 자료는 생산프론티어에서 무작위적인 방사적(비효율성) 이탈을 통해서 생성된다. 반면에서 Simar and Wilson(1998)을 포함한 기존연구들은 부트스트랩 재 표본화를 함에 있어서 생산프론티어 추정치의 확률적 성격에 초점을 맞추었다. 가상적인 자료가 프론티어 추정치를 재표본화 할 때, 무작위적으로 생성되었다. 또한 기업특유거리함수의 부트스트랩 추정치가 투입 및 산출물의 원 자료에서 조건화되었다는 점을 지적하고, Lothgren and Tambour(1999a)은 부트스트랩 생산프론티어와 거리함수가 가상적인 투입 및 산출물에 완전하게 근거하도록 하였다.[Lothgren and Tambour(1999a: 417)]

〈표 4〉에는 2013년 자료를 이용하여 부트스트랩 DEA모형[Simar and Wilson(1998)모형(이하 SW모형이라 칭함)과 Lothgren and Tambour(1999a)모형(이하 LT모형이라 칭함)]으로 측정된 투입지향 가변수확(VRS) 하에서의 효율성 측정결과를 제시하였다. 투입지향 불변수확(CRS) 하에서는 실시하지 않았다. 그 이유는 CRS하에서는 부트스트랩 효율성 수치가 매우 낮게 나타났으며, 결과적으로 편의 조정된 효율성 수치가 음수를 나타내기 때문이었다. 실증분석은 Excel프로그램을 이용하였다. 부트스트랩분석에서의 재표본을 위한 반복(iteration)은 엑셀 프로그램에서의 소요되는 시간 때문에 1000회를 각 항만별, 각 년도 별로 실시하였다.

2013년 자료를 이용한 〈표 4〉의 실증분석의 주요한 결과를 살펴보면, 첫째, 원래의 VRS모형에 의한 효율성 수치에 비해서 SW, LT모형의 효율성 수치는 낮아지는 경향을 보이고 있다. 둘째, 원래의 VRS효율성 수치가 효율적인 항만이었던, 3번, 5번, 12번, 14번, 30번, 31번, 32번, 33번, 38번 항만들의 효율성 수치도 SW모형에서는 전반적으로

표 4. 부트스트랩 DEA모형(투입지향 규모수확기변·VRS)을 이용한 효율성 측정결과[2013년 자료이용]

항만/ 구분	모형	투입지향 VRS효율성	편의수정 부트스트랩 효율성		편의	편의수정 부트스트랩 평균 효율성	95% 신뢰구간 하한	95% 신뢰구간 상한
			하한	상한				
1	SW	0.6868	0.6415	0.6945	0.0243	0.6680	0.6900	0.7431
	LT	0.6868	0.3386	0.6611	0.1695	0.4998	0.6775	1.0
2	SW	0.7915	0.7336	0.8041	0.0306	0.7688	0.7947	0.8652
	LT	0.7915	0.5145	0.8918	0.0541	0.7031	0.6227	1.0
3	SW	1.0	0.5882	1.0498	0.2093	0.8190	1.0069	1.4685
	LT	1.0	0.9162	1.0896	-0.0448	1.003	0.8266	1.0
4	SW	0.8121	0.7764	0.8282	0.0196	0.8023	0.8155	0.8673
	LT	0.8121	0.6236	0.9623	0.0188	0.7930	0.6613	1.0
5	SW	1.0	0.5475	1.1047	0.2281	0.8261	1.0037	1.5608
	LT	1.0	0.9518	1.0173	-0.0086	0.9845	0.9345	1.0
6	SW	0.5681	0.5294	0.5735	0.0205	0.5514	0.5703	0.6144
	LT	0.5681	0.0801	0.4410	0.2795	0.2605	0.6390	1.0
7	SW	0.7448	0.6838	0.7756	0.0331	0.7297	0.7501	0.8419
	LT	0.7448	0.4119	0.7898	0.1051	0.6009	0.6222	1.0
8	SW	0.7888	0.6969	0.7878	0.0497	0.7404	0.7923	0.8872
	LT	0.7688	0.5182	0.8564	0.0718	0.6873	0.6618	1.0
9	SW	0.7155	0.6002	0.7511	0.0588	0.6757	0.7177	0.8686
	LT	0.7155	0.3265	0.6681	0.1659	0.4973	0.6584	1.0
10	SW	0.9472	0.8911	0.9631	0.0306	0.9271	0.9523	1.0244
	LT	0.9472	0.8065	1.1874	-0.0937	0.9970	0.6191	1.0
11	SW	0.9826	0.8205	1.0599	0.0831	0.9402	0.9866	1.2261
	LT	0.9826	0.8941	1.2155	-0.1077	1.0548	0.6786	1.0
12	SW	1.0	0.6211	1.1611	0.1926	0.8911	1.0062	1.5462
	LT	1.0	1.0	1.0	0.0000	1	1.0	1.0
13	SW	0.8935	0.7654	0.9411	0.0670	0.8533	0.8994	1.0751
	LT	0.8935	0.7047	1.0049	-0.0025	0.8548	0.6998	1.0
14	SW	1.0	0.5924	1.1196	0.2055	0.8560	1.0035	1.5307
	LT	1.0	1.0	1.0	0.0000	1	1.0	1.0
15	SW	0.9041	0.7246	0.9937	0.0912	0.8591	0.9069	1.1760
	LT	0.9041	0.6607	0.9728	0.0136	0.8168	0.6880	1.0
16	SW	0.8500	0.6255	0.9572	0.1135	0.7914	0.8525	1.1842
	LT	0.8500	0.5733	0.8829	0.0585	0.7281	0.6904	1.0
17	SW	0.8556	0.7912	0.8801	0.0345	0.8357	0.8601	0.9491
	LT	0.8556	0.6398	1.0059	-0.0030	0.8229	0.6339	1.0

18	SW	0.9201	0.8407	0.9166	0.0416	0.8786	0.9238	0.9997
	LT	0.9201	0.7608	1.1123	-0.0561	0.9365	0.6485	1.0
19	SW	0.7688	0.6940	0.7726	0.0388	0.7333	0.7716	0.8503
	LT	0.7688	0.4618	0.8187	0.0906	0.6403	0.6431	1.0
20	SW	0.6951	0.6616	0.7052	0.0183	0.6834	0.6982	0.7418
	LT	0.6951	0.3290	0.6977	0.1511	0.5134	0.6313	1.0
21	SW	0.6520	0.5859	0.6591	0.0345	0.6225	0.6550	0.7281
	LT	0.6520	0.2509	0.5977	0.2011	0.4243	0.6531	1.0
22	SW	0.7331	0.6828	0.7400	0.0280	0.7114	0.7388	0.7960
	LT	0.7331	0.4325	0.7582	0.1209	0.5954	0.6743	1.0
23	SW	0.7445	0.7132	0.7495	0.0175	0.7314	0.7483	0.7846
	LT	0.7445	0.3892	0.7672	0.1164	0.5782	0.6220	1.0
24	SW	0.8362	0.7456	0.8830	0.0469	0.8134	0.8394	0.9768
	LT	0.8362	0.6261	0.9545	0.0277	0.7903	0.6716	1.0
25	SW	0.8286	0.7108	0.8904	0.0612	0.8006	0.8332	1.0128
	LT	0.8286	0.5529	0.9009	0.0496	0.7269	0.6520	1.0
26	SW	0.6565	0.6140	0.6757	0.0230	0.6449	0.6600	0.7217
	LT	0.6565	0.2432	0.6229	0.1885	0.4330	0.6203	1.0
27	SW	0.7400	0.6597	0.7483	0.0418	0.7040	0.7432	0.8318
	LT	0.7400	0.4051	0.7610	0.1195	0.5830	0.6442	1.0
28	SW	0.6145	0.5521	0.6339	0.0322	0.5930	0.6166	0.6983
	LT	0.6145	0.1431	0.4851	0.2572	0.3144	0.6574	1.0
29	SW	0.7881	0.7124	0.8225	0.0405	0.7675	0.7934	0.9036
	LT	0.7881	0.4692	0.8470	0.0765	0.6581	0.6222	1.0
30	SW	1.0	0.5820	1.1265	0.2110	0.8543	1.0040	1.5484
	LT	1.0	0.8990	1.0443	-0.0221	0.9716	0.8547	1.0
31	SW	1.0	0.7341	0.9631	0.1340	0.8486	1.0021	1.2311
	LT	1.0	0.8937	1.1505	-0.0753	1.0221	0.7432	1.0
32	SW	1.0	0.5410	1.1814	0.2330	0.8612	1.0070	1.6474
	LT	1.0	1.0	1.0	0.0000	1	1.0	1.0
33	SW	1.0	0.5152	1.0882	0.2448	0.80117	1.0049	1.5778
	LT	1.0	1.0	1.0	0.0000	1	1.0	1.0
34	SW	0.8070	0.7241	0.8488	0.0431	0.7864	0.8103	0.9350
	LT	0.8070	0.5340	0.8550	0.0725	0.6945	0.6790	1.0
35	SW	0.8096	0.6816	0.8621	0.0655	0.7718	0.8126	0.9930
	LT	0.8096	0.5370	0.8346	0.0827	0.6858	0.7025	1.0
36	SW	0.8348	0.7274	0.8716	0.0569	0.7995	0.8412	0.9854
	LT	0.8348	0.5464	0.8808	0.0596	0.7136	0.6656	1.0

37	SW	0.6118	0.5581	0.6147	0.0281	0.5864	0.6143	0.6709
	LT	0.6118	0.1883	0.5498	0.2251	0.3690	0.6385	1.0
38	SW	1.0	0.8276	0.9739	0.0907	0.9007	1.0090	1.1153
	LT	1.0	0.9240	1.2209	-0.1105	1.0725	0.7030	1.0

낮아진 반면에, LT모형에서는 편의가 음수를 갖는 경우에 오히려 1이상의 수치를 보여서 효율적인 항만들 사이의 랭킹순위를 구분할 수 있도록 해주었다. 단, 여기서 편의수정부트스트랩 평균효율성의 의미는 편의수정된 부트스트랩효율성의 하한과 상한을 더 한 후에 평균을 낸 효율성 수치를 의미한다.

2003년부터 2013년까지 전체자료를 이용한 편의수정된 부트스트랩 평균효율성 측정결과를 <표 5>에 제시하였다. 실증분석의 주요한 결과를 살펴보면, 첫째, LT모형의 효율성 수치가 SW모형의 효율성 수치보다 그 모형의 엄격성 때문에 더 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다. 둘째, 표에는 표시하지 않았지만, 전체 자료에 대한 SW모형의 부트스트랩 평균효율성 수치는 0.7660, LT모형은 0.7341로 나타났다. 셋째, 국내 항만들의 경우를 <표 6>에서 24번(부산항), 25번(인천항), 26번(광양항)을 살펴보면, SW모형의 경우에는 인천(0.7827), 부산(0.7131), 광양(0.6397)의 순서였으며, LT모형[인천(0.7208), 부산(0.5920), 광양(0.4546)]의 경우에도 동일한 순서였다.

2013년 자료를 이용한 부트스트랩 측정모형의 효율성 매트릭스에 의하여 평균연결분석방법으로 클러스터링 결과(박노경(2016: 23))를 통해서 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 즉, SW모형에서는 9개의 군집으로 나눌 수 있다. ① 11,16,12,26, ② 8,30,2, ③ 24,34,31, ④ 1,5,25, 14, 33, 17, 38 ⑤ 19, 35, 32, ⑥ 3, 7, 22, 29, 15, ⑦ 9, 18, 4, 36, ⑧ 27, 28, 37, 13, ⑨ 6, 20, 10, 21, 23. 특히 부산항은 ③군집[콜롬보, 마닐라항]에, 인천항은 ④군

집[사히드라자히, 포트술탄, 닝보, 싱가포르, 탄중프리옥, 방콕항]에, 광양항은 ①군집[홍콩, 첸나이, 상하이항]에 속하는 것으로 나타났다. 또한 LT모형은 10개의 군집으로 나눌 수 있다. ① 15, 34, 13, 30, 4, 9, 36, ② 18, 27, 22, ③ 14, 35, 38, ④ 7, 23, 1, 37, 29, ⑤ 21,31, 33, 11, ⑥ 2, 24, 12, 28, ⑦ 8, 26, 20, ⑧ 5, 16, ⑨ 19, 25, ⑩ 10, 32, 3, 6, 17. 국내항만들은 부산항이 ⑥번 군집, 인천항이 ⑨번 군집, 광양항이 ⑦번 군집에 속했다. 따라서 부산항은 하이파, 상하이, 탄중펠라스, 인천항은 동경항, 광양항은 두바이, 요코하마 항과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났다. <표 6>과 <표 7>에는 텐드로그램에 의해서 국내항만들과 클러스터링 되는 항만들을 제시하였으며, 그러한 클러스터링에 의해서 측정된 부트스트랩 효율성 측정치는 <표 8>과 <표 9>에 SW모형과 LT모형으로 나누어서 제시하였다.

<표 8>은 그러한 클러스터링 전과 후의 국내항만들의 효율성 변화를 제시하였다. 클러스터링 후의 효율성 측정 순서는 다음과 같다. ① 963번째부터 1000번째의 부트스트랩 효율성 수치를 이용하여 상관분석을 실시한다. ② 상관매트릭스를 이용하여 평균연결분석방법에 의한 텐드로그램에 의해서 클러스터링을 정한다. ③ 국내항만들이 어떤 군집에 속하고 있는지를 확인한다. ④ 해당군집에 속한 항만들 중에서 국내항만 만을 제외하고, 나머지 항만들은 데이터에서삭제한다. 단, 부산, 인천, 광양항의 순서로 실시한다. ⑤ 그러한 자료를 가지고서 부트스트랩 방법으로 각각 1000회의 분석을 실시하여 효율성 수치를 구한다. 위와 같은

표 5. 11년 동안의 가변수확하의 투입지향모형에 의한 편의 수정된 부트스트랩 평균효율성 측정결과

항만/구분		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	SW	0.6951	0.7391	0.6487	0.5399	0.7338	0.7479	0.7376	0.7069	0.6752	0.7095	0.6680
	LT	0.5896	0.5967	0.5006	0.4182	0.6490	0.6029	0.5690	0.4989	0.5762	0.5463	0.4998
2	SW	0.8852	0.8470	0.8724	0.8528	0.7875	0.8330	0.8959	0.9382	0.7617	0.7651	0.7688
	LT	0.9955	0.9216	0.8796	0.9404	0.7131	0.8269	0.9219	0.9592	0.7370	0.6713	0.7031
3	SW	0.7747	0.5217	0.6096	0.5232	0.7105	0.8227	0.8776	0.9107	0.8148	0.9051	0.8190
	LT	0.6826	0.1298	0.3729	0.3326	0.6250	0.9737	0.9925	0.9692	0.9595	0.9667	1.0029
4	SW	0.7045	0.6172	0.7061	0.7110	0.5802	0.6195	0.7388	0.9872	0.7980	0.7863	0.8023
	LT	0.6060	0.4569	0.6097	0.7247	0.3356	0.3796	0.6063	1.0054	0.8474	0.6844	0.7930
5	SW	0.7735	0.8326	0.8243	0.7907	0.7451	0.8498	0.9153	0.9281	0.7432	0.8287	0.8261
	LT	0.7312	0.8386	0.7873	0.8201	0.6300	0.9010	0.8627	0.9809	0.9584	0.9872	0.9845
6	SW	0.6187	0.6312	0.6960	0.5954	0.7437	0.6639	0.7350	0.6070	0.5230	0.5970	0.5514
	LT	0.4296	0.3933	0.5839	0.4396	0.7156	0.4838	0.5596	0.2724	0.2897	0.2960	0.2605
7	SW	0.8512	0.6784	0.7610	0.7483	0.6980	0.7295	0.7763	0.7459	0.7232	0.7481	0.7297
	LT	0.8870	0.4847	0.6569	0.7784	0.5508	0.5742	0.6047	0.5681	0.6045	0.6268	0.6009
8	SW	0.7276	0.8185	0.7729	0.6676	0.7811	0.8513	0.9670	0.9304	0.5971	0.7594	0.7404
	LT	0.6186	0.9741	0.7042	0.6152	0.7836	0.8563	0.9630	0.8169	0.4434	0.6505	0.6873
9	SW	0.6974	0.6763	0.7991	0.5913	0.6719	0.7314	0.8246	0.7795	0.6821	0.7678	0.6757
	LT	0.5579	0.4869	0.8272	0.4378	0.5611	0.6371	0.7046	0.6125	0.5932	0.6367	0.4973
10	SW	0.9211	0.8636	0.9303	0.4774	0.7919	0.9223	0.9813	0.9379	0.9405	0.9106	0.9271
	LT	1.0019	0.9115	1.0480	0.1641	0.7823	1.0153	1.0465	1.0009	1.961	0.9568	0.9970
11	SW	0.7976	0.8032	0.8173	0.5691	0.7764	0.7580	0.8066	0.8911	0.5763	0.8992	0.9402
	LT	1.0	1.0	0.9615	0.4454	1.0060	0.9800	1.0	0.9724	0.4427	1.0046	1.0548
12	SW	0.8020	0.8791	0.8790	0.6515	0.8488	0.8692	0.8985	0.9422	0.6867	0.8731	0.8911
	LT	1.0	0.9914	0.9999	1.0	0.9549	0.9636	1.0	1.0	0.6600	1.0	1.0
13	SW	0.8516	0.7914	0.7475	0.7193	0.9074	0.9206	0.9544	0.9792	0.6667	0.8785	0.8533
	LT	0.9991	1.0017	0.7008	0.7418	0.9965	1.0324	0.9643	1.0380	0.5997	0.8581	0.8548
14	SW	0.6817	0.8467	0.8731	0.6733	0.7854	0.9665	0.9020	0.9373	0.6645	0.9329	0.8560
	LT	0.5659	0.8734	0.9267	0.5706	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6348	1.0	1.0
15	SW	0.6888	0.8375	0.7987	0.5289	0.8159	0.8188	0.9261	0.9031	0.5949	0.8997	0.8591
	LT	0.5336	0.9735	1.0	0.3461	0.8706	0.8068	0.9259	0.8108	0.4306	0.8337	0.8167
16	SW	0.7872	0.8446	0.7984	0.6473	0.8103	0.8541	0.9339	0.8677	0.7269	0.9120	0.7914
	LT	1.0	1.0293	0.9824	0.9665	1.0	1.0016	1.0	0.9812	0.7628	0.9885	0.7281
17	SW	0.9600	0.6485	0.6939	0.7547	0.6326	0.7373	0.8641	0.9018	0.7046	0.8451	0.8357
	LT	1.0994	0.4940	0.6015	0.7915	0.4309	0.6475	0.8183	0.8790	0.7042	0.8430	0.8229
18	SW	0.8342	0.7570	0.8122	0.9371	0.7882	0.8480	0.9759	0.9628	0.8712	0.9316	0.8786
	LT	1.0057	1.0	1.0	1.1728	0.8372	0.8720	1.0641	1.0195	1.0188	1.0281	0.9365

19	SW	0.7267	0.6868	0.7538	0.6752	0.5777	0.5625	0.7351	0.7245	0.7008	0.7774	0.7333
	LT	0.6033	0.5644	0.6832	0.6260	0.3465	0.2961	0.5588	0.5449	0.6584	0.6880	0.6403
20	SW	0.6583	0.6264	0.6777	0.6608	0.5815	0.6443	0.7017	0.6955	0.6789	0.7170	0.6834
	LT	0.5074	0.3965	0.5393	0.5921	0.3402	0.4055	0.5374	0.4242	0.5569	0.5394	0.5134
21	SW	0.6503	0.5917	0.6477	0.6905	0.5271	0.5867	0.6933	0.7115	0.6040	0.6321	0.6225
	LT	0.4922	0.3685	0.4800	0.6559	0.2335	0.3393	0.4909	0.4749	0.4752	0.3922	0.4243
22	SW	0.7490	0.6863	0.7551	0.7163	0.5888	0.5918	0.7027	0.7389	0.7182	0.7411	0.7114
	LT	0.7355	0.5353	0.6798	0.7442	0.3780	0.3167	0.5207	0.5416	0.7122	0.5952	0.5954
23	SW	0.7508	0.7108	0.7154	0.7160	0.6014	0.6410	0.7499	0.7530	0.7386	0.7604	0.7314
	LT	0.7150	0.5873	0.6293	0.7760	0.3908	0.4317	0.6124	0.5821	0.7004	0.6384	0.5782
24	SW	0.7341	0.6810	0.7286	0.5056	0.6695	0.7425	0.8327	0.7557	0.5740	0.8059	0.8143
	LT	0.6025	0.5528	0.5994	0.3014	0.5865	0.6406	0.7383	0.6097	0.3613	0.7294	0.7903
25	SW	0.7759	0.7441	0.7694	0.7497	0.7390	0.7767	0.7315	0.8375	0.7665	0.8186	0.8006
	LT	0.7424	0.6774	0.6870	0.7681	0.6351	0.6821	0.7363	0.7337	0.7872	0.7527	0.7269
26	SW	0.6140	0.6230	0.6260	0.6373	0.5871	0.6230	0.6770	0.6763	0.6498	0.6787	0.6449
	LT	0.3835	0.4510	0.4618	0.5538	0.3545	0.3979	0.4777	0.4662	0.5553	0.4657	0.4330
27	SW	0.6738	0.5619	0.7157	0.6118	0.6356	0.6536	0.7712	0.7427	0.7210	0.7154	0.7040
	LT	0.5214	0.2883	0.5712	0.4818	0.4580	0.4717	0.6556	0.5554	1.0	0.5313	0.5830
28	SW	0.6544	0.7094	0.6347	0.6431	0.6508	0.7501	0.9603	0.9427	0.5077	0.6483	0.5930
	LT	0.4620	0.5470	0.4792	0.5530	0.5036	0.5964	1.0035	0.9100	0.2102	0.4005	0.3144
29	SW	0.8905	0.8687	0.8059	0.8009	0.7745	0.8430	0.9061	0.9242	0.7624	0.7877	0.7675
	LT	0.9931	0.8758	0.7465	0.8540	0.7238	0.8820	0.9231	0.9309	0.7227	0.7194	0.6581
30	SW	0.8915	0.7653	0.7452	0.7759	0.7995	0.8122	0.9567	0.8440	0.7353	0.8155	0.8543
	LT	0.9296	0.6794	0.6650	0.9220	0.7826	0.9751	0.9852	0.9783	0.9624	1.0020	0.9761
31	SW	0.8346	0.9625	0.7237	0.8496	0.8013	0.8493	0.9173	0.9231	0.8780	0.8660	0.8486
	LT	1.0366	1.1004	0.6471	1.1523	1.0334	0.9810	0.9988	0.9880	1.1009	0.9905	1.0221
32	SW	0.7977	0.8180	0.7640	0.6110	0.8229	0.8272	0.9360	0.9197	0.7371	0.8913	0.8612
	LT	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9829	1.0055	1.0029	1.0	1.0	1.0
33	SW	0.7545	0.8113	0.7821	0.6461	0.8650	0.8001	0.9427	0.9807	0.5596	0.8616	0.8017
	LT	0.9792	0.9600	1.0	0.5955	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3738	1.0	1.0
34	SW	0.8056	0.6841	0.8392	0.7942	0.8176	0.8722	0.9171	0.8768	0.7608	0.8385	0.7864
	LT	0.5213	0.4852	0.8518	0.8290	0.8836	0.9415	0.9439	0.8391	0.7356	0.8012	0.6945
35	SW	0.8431	0.7704	0.7764	0.7205	0.7443	0.7872	0.8099	0.8525	0.7357	0.8061	0.7718
	LT	0.9110	0.9871	1.0	0.9812	0.6231	0.7081	0.6893	0.7398	0.7359	0.7231	0.6858
36	SW	0.7412	0.8387	0.9094	0.6503	0.8511	0.8175	0.9075	0.8885	0.7133	0.8756	0.7995
	LT	0.6547	0.7699	1.0189	0.5880	0.9049	0.8457	0.8669	0.8466	0.6432	0.7893	0.7136
37	SW	0.6919	0.5851	0.6093	0.5819	0.4312	0.4637	0.5948	0.6094	0.5445	0.5985	0.5884
	LT	0.5878	0.3075	0.3874	0.4300	0.0063	-0.0092	0.2523	0.3056	0.2892	0.2725	0.3690

38	SW	0.9404	0.9650	0.9215	0.8852	0.8895	0.9590	0.9213	0.9298	0.8935	0.8773	0.9007
	LT	1.1356	1.1466	1.1064	1.0160	0.9587	1.1008	1.0019	1.0106	1.1614	1.0423	1.0725

표 6. 덴드로그램에 의한 국내항만들의 클러스터링 항만제시 (SW 모형)

항만/구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
24	13,17,24, 26,38,4	24,30,15	16,34,18, 24,32,30	20,31,12, 33,16,11, 24,26,2	6,32,17, 24,10,15	12,31,27, 20,33,26, 24,25	8,22,20, 23,24,27	3,35,32, 24,2,37	5,12,7, 13,24,29	13,32,6, 24,35,25	24,34,31
25	6,19,28, 25	21,25,22, 3,37	15,29,12, 38,6,26, 19,25	14,38,25, 27,4,8	25,26	12,31,27, 20,33,26, 24,25	2,6,12, 10,25	7,25,18	18,27,32, 17,25,26, 20,3	13,32,6,2 4,35,25	1,5,25
26	13,17,24, 26,38,4	32,38, 18,28,26	15,29,12, 38,6,26, 19,25	20,31,12, 33,16,11, 24,26,2	25,26	12,31,27, 20,33,26, 24,25	21,35,38, 26	26,36	18,27,32, 17,25,26, 20,3	3,7,37,9, 26,12	11,16,12, 26

표 7. 덴드로그램에 의한 국내항만들의 클러스터링 항만제시 (LT 모형)

항만/구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
24	21,24, 27,12	9,24, 5,23	4,8,24, 31	13,27, 3,24	19,25,4,7, 24,32	13,36,24, 38	20,35,37, 24	24,27,13, 15,30,37	16,24,8, 37	12,24,30	2,24,12, 28,8,26, 20
25	10,28,32, 18,25,2	25,30,6, 34	22,25	23,25,18, 36	19,25,4,7, 24,32	2,30,19, 25	25,36,22, 9	22,25,10	13,18,25, 32,22	25,33,21	19,25,10, 32,3,6,17
26	9,31,26, 38,22,8	7,10,26, 33,13	26,34	6,26,17, 35,21	33,36,8, 26,6	16,26,29	26,27,12, 34,6	17,35,3, 26	14,31,17, 10,38,11, 26	6,31,5,26	2,24,12, 28,8,26, 20

절차는 분석과정에서 엑셀프로그램의 처리속도 때문에 상당한 시간을 필요로 한다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, SW모형에 의한 클러스터링 후의 부산항의 효율성은 6.46% 상승(0.7131→0.7777), 인천항의 효율성은 3.92% 상승(0.7736→0.8128), 광양항의 효율성은 2.78%(0.6397→0.6676)로 상승하였다. 둘째, LT모형에 의한 클러스터링 후의 부산항의 효율성은 -1.86% 하락(0.5920→0.5734), 인천항의 효율성은 2.11% 상승(0.7208→0.7419), 광양항의 효율성은 -0.124% 하락(0.4546→0.4533)하였다.

### 3) 게임교차효율성 모형에 의한 효율성 측정 및 항만의 클러스터링 측정

#### (1) 게임교차효율성 모형에 의한 효율성 측정 및 클러스터링에 관한 실증분석 결과

〈표 10〉, 〈표 11〉에는 11년 동안의 게임교차효율성 모형에 의한 효율성 측정결과를 제시하였다. 실증분석결과를 통해서, 국내항만들의 클러스터링을 중심으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 부산항의 경우에는 11번(첸나이), 12번(상하이), 13번(광저우), 14번(닝보), 27번(포르투갈),

표 8. 11년 동안의 가변수확하의 투입지향모형에 의한 부트스트랩 추정모형의 효율성 매트릭스에 의한 클러스터링 후의 국내항만들의 효율성변화(SW 모형)

항만/구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
24	전	0.7341	0.6810	0.7286	0.5056	0.6695	0.7425	0.8327	0.7557	0.5740	0.8059	0.8143
	후	0.7292	0.7446	0.7353	0.8741	0.7057	0.9477	0.8381	0.7586	0.5805	0.8136	0.8269
25	전	0.7759	0.7441	0.7694	0.7497	0.7390	0.7767	0.7315	0.8375	0.7665	0.8186	0.8006
	후	0.7779	0.7497	0.8052	0.7548	0.7406	0.8367	0.8378	0.8411	0.9127	0.9137	0.7705
26	전	0.6140	0.6230	0.6260	0.6373	0.5871	0.6230	0.6770	0.6763	0.6498	0.6787	0.6449
	후	0.6087	0.6954	0.6919	0.7099	0.5865	0.6689	0.6845	0.6751	0.7008	0.6758	0.6456

표 9. 11년 동안의 가변수확하의 투입지향모형에 의한 부트스트랩 추정모형의 효율성 매트릭스에 의한 클러스터링 후의 국내항만들의 효율성변화(LT 모형)

항만/구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
24	전	0.6025	0.5528	0.5994	0.3014	0.5865	0.6406	0.7383	0.6097	0.3613	0.7294	0.7903
	후	0.5445	0.5463	0.5638	0.2964	0.5684	0.6804	0.7497	0.5694	0.3578	0.7166	0.7143
25	전	0.7424	0.6774	0.6870	0.7681	0.6351	0.6821	0.7363	0.7337	0.7872	0.7527	0.7269
	후	0.8354	0.6154	0.7394	0.7380	0.7113	0.6521	0.7253	0.7361	0.7701	0.7490	0.8891
26	전	0.3835	0.4510	0.4618	0.5538	0.3545	0.3979	0.4777	0.4662	0.5553	0.4657	0.4330
	후	0.3995	0.4652	0.4421	0.5121	0.3854	0.4417	0.4244	0.4727	0.5330	0.4737	0.4370

33번(싱가포르), 36번(카오슝), 38번(방콕) 항만들과 클러스터링을 하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 둘째, 인천항의 경우에는 2번(하이파), 11번(홍콩), 12번(상하이), 13번(광저우), 14번(닝보), 18번(탄중 페리옥), 27번(포트클랑), 35번(키룽) 항만들과 클러스터링을 하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 광양항과 거의 동일한 결과를 보였다. 셋째, 광양항의 경우에는 2번(하이파), 11번(홍콩), 12번(상하이), 13번(광저우), 14번(닝보), 18번(탄중 페리옥), 27번(포트클랑), 35번(키룽)이었다. 인천항과 동일한 결과를 보였다. 넷째, 국내항만들은 홍콩항, 상해항, 광저우항, 닝보항, 포트클랑항, 싱가포르항, 카오슝항, 키룽항, 림차방항, 방콕항과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났다. <표 10>, <표 11>에는 2003년부터 2013년 까지[2013년 자료를 이용한 덴드로그램과 그 분석결과는 박노

경(2016, 28-29를 참조요망)]의 게임교차효율성 모형에 의해서 측정된 효율성 매트릭스를 이용하여 덴드로그램으로 표현한 클러스터링 측정결과를 제시하였다. 실증분석결과를 통해서, 국내항만들의 클러스터링을 중심으로 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 부산항의 경우에는 23번(오사카), 31번(마닐라), 33번(싱가포르), 36번(카오슝), 37번(림찬방) 항과 주로 클러스터링 되었다. 둘째, 인천항의 경우에는 5번(포트술탄쿠오부스), 16번(첸나이), 29번(카라치), 32번(다바오) 항과 주로 클러스터링 되었다. 셋째, 광양항은 5번(포트술탄쿠오부스), 9번(크호르 파칸), 20번(요코하마), 37번(림찬방), 38번(방콕) 항과 주로 클러스터링 되었다.



표 10. 2003~2008년 게임교차효율성 모형에 의한 덴드로그램 클러스터링 측정결과  
 [숫자는 클러스터링 할 수 있는 항만번호를 표시함]

항만/ 구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1	9,29,25,10,5,16, 13,3,30,32,14	17,28,1,12	24,37,38,31,6,17, 13,18,1,26,20,12,28	4,30,9,7,29,15,34, 11,10,14,27,2,1,32	1	1,26,14,28
2	34,37,35,18	15,27,34,2	4,8,2,34,15,27,7,10,2 1,22,19,14,29,9,30,2 511	4,30,9,7,29,15,34, 11,10,14,27,2,1,32	2,34,10,14	2,34
3	9,29,25,10,5,16, 13,1,30,32,14	10,32,7,33,4,30, 9,29,3	3,33,16	5,6,13,28,37,22,3, 23,31,36,18,38,20, 35,16,17,26,24	9,25,5,7,3,16	32,35,3,16,25
4	11,20,24,31,21, 22,36,17,33,8	10,32,7,33,4,30, 9,29,3	4,8,2,34,15,27,7,10,2 1,22,19,14,29,9,30,2 511	4,30,9,7,29,15,34, 11,10,14,27,2,1,32	4,33,8,22,15	24,31,21,37,19, 18,4,33,11,27,12
5	9,29,25,10,16,13,1 3,30,32,14	5,16,8,14,18,21, 22	5,32	5,6,13,28,37,22,3, 23,31,36,18,38,20, 35,16,17,26,24	9,25,5,7,3,16	9,30,29,5
6	6,28,12,19	11,13,6	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3, 23,31,36,18,38,20, 35,16,17,26,24	13,28,6,38,26	6,38
7	7,26	10,32,7,33,4,30, 9,29,3	4,8,2,34,15,27,7,10,2 1,22,19,14,29,9,30,2 511	4,30,9,7,29,15,34, 11,10,14,27,2,1,32	9,25,5,7,3,16	7,10
8	11,20,24,31,21, 22,36,17,33,4,8	5,16,8,14,18,21, 22	4,8,2,34,15,27,7,10,2 1,22,19,14,29,9,30,2 511	8,33,12	4,33,8,22,15	8,15,22
9	9,29,25,10,5,16, 13,1,3,30,32,14	10,32,7,33,4,30, 9,29,3	4,8,2,34,15,27,7,10,2 1,22,19,14,29,9,30,2 511	4,30,9,7,29,15,34, 11,10,14,27,2,1,32	9,25,5,7,3,16	9,30,29,5
10	9,29,25,10,5,16, 13,1,3,30,32,14	10,32,7,33,4,30, 9,29,3	4,8,2,34,15,27,7,10,2 1,22,19,14,29,9,30,2 511	4,30,9,7,29,15,34, 11,10,14,27,2,1,32	2,34,10,14	7,10
11	11,20,24,31,21, 22,36,17,33,4,8	11,13,6	4,8,2,34,15,27,7,10,2 1,22,19,14,29,9,30,2 511	4,30,9,7,29,15,34, 11,10,14,27,2,1,32	17,36,20,18,24, 37,23,31,12,11, 19,27,21	24,31,21,37,19, 18,4,33,11,27,12
12	6,28,12,19	17,28,1,12	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	8,33,12	17,36,20,18,24, 37,23,31,12,11, 19,27,21	24,31,21,37,19, 18,4,33,11,27,12
13	9,29,25,10,5,16, 13,3,30,32,14	11,13,6	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24,	13,28,6,38,26	13,20,23,36,17
14	9,29,25,10,5,16, 13,3,30,32,14	5,16,8,14,18,21,22	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	4,30,9,7,29,15,34,11, 10,14,27,2,1,32	2,34,10,14	1,26,14,28

15	27,38,15,23	15,17,34,2	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	4,30,9,7,29,15,34,11, 10,14,27,2,1,32	4,33,8,22,15	8,15,22
16	9,29,25,10,5,16, 13,3,30,32,14	5,16,8,14,18,21,22	3,33,16	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	9,25,5,7,3,16	32,35,3,16,25
17	11,20,24,31,21,22, 36,17,33,4,8	17,28,1,12	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	13,20,23,36,17
18	34,37,2,35,18	5,16,8,14,18,21,22	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	24,31,21,37,19,18, 4,33,11,27,12
19	6,28,12,19	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	19,25,21	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	24,31,21,37,19,18, 4,33,11,27,12
20	11,20,24,31,21,22, 36,17,33,4,8	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	13,20,23,36,17
21	11,20,24,31,21,22, 36,17,33,4,8	5,16,8,14,18,21,22	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	19,25,21	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	24,31,21,37,19,18, 4,33,11,27,12,
22	11,20,24,31,21,22, 36,17,33,4,8	5,16,8,14,18,21,22	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	4,33,8,22,15	8,15,22
23	27,38,15,23	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	23,35,36	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21,21	13,20,23,36,17
24	11,20,24,31,21,22, 36,17,33,4,8	24,36	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21,21	24,31,21,37,19,18, 4,33,11,27,12
25	9,29,25,10,5,16, 13,3,30,32,14	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	19,25,21	9,25,5,7,3,16	32,35,3,16,25
26	7,26	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	13,28,6,38,26	1,26,14,28
27	27,38,15,23	15,27,34,2	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	4,30,9,7,29,15,34,11, 10,14,27,2,1,32	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	24,31,21,37,19,18, 4,33,11,27,12
28	6,28,12,19	17,28,1,12	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	13,28,6,38,26	1,26,14,28
29	9,29,25,10,5,16, 13,3,30,32,14	10,32,7,33,4,30,9, 29,3	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	4,30,9,7,29,15,34,11, 10,14,27,2,1,32	30,35,29,32	9,30,29,5

30	9,29,25,10,5,16, 13,3,30,32,14	10,32,7,33,4,30,9, 29,3	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	4,30,9,7,29,15,34,11, 10,14,27,2,1,32	30,35,29,32	9,30,29,5
31	11,20,24,31,21,22, 36,17,33,4,8	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	24,31,21,37,19,18, 4,33,11,27,12
32	9,29,25,10,5,16, 13,3,30,32,14	10,32,7,33,4,30,9, 29,3	5,32	4,30,9,7,29,15,34,11, 10,14,27,2,1,32	30,35,29,32	32,35,3,16,25
33	11,20,24,31,21,22, 36,17,33,4,8	10,32,7,33,4,30,9, 29,3	3,33,16	8,33,12	4,33,8,22,15	24,31,21,37,19,18, 4,33,11,27,12
34	34,37,2,35,18	15,27,34,2	4,8,2,34,15,27,7,10, 21,22,19,14,29,9,30, 2511	4,30,9,7,29,15,34,11, 10,14,27,2,1,32	2,34,10,14	2,34
35	34,37,2,35,18	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	23,35,36	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	30,35,29,32	32,35,3,16,25
36	11,20,24,31,21,22, 36,17,33,4,8	24,36,	23,35,36	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	13,20,23,36,17
37	34,37,2,35,18	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	17,36,20,18,24,37, 23,31,12,11,19,27, 21	24,31,21,37,19,18, 4,33,11,27,12
38	27,38,15,23	20,23,38,19,35,31, 25,37,26	24,37,38,31,6,17,13, 18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23, 31,36,18,38,20,35, 16,17,26,24	13,28,6,38,26	6,38

## (2) 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 후의 국내항만들의 효율성 변화 측정

〈표 12〉에는 게임교차효율성 모형으로 생성시킨 자료에 의해서 작성된 네트워크 그래프에 의한 클러스터링 후의 국내항만들의 효율성 측정결과를 제시하였다. 단, 여기서는 클러스터링 전의 참조집단으로 나타난 항만들을 함께 제거하는 방식으로 클러스터링을 한 후의 측정결과임을 밝혀 둔다. 그 이유는 참조집단이 제거되면, DEA모형의 특성상 효율성이 증대되지만, 그러한 참조 집단들과 가상적으로 클러스터링 하는 것이므로, 참조집단이 제거되는 것이 타당하다고 사료되었기 때문이다.

게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 후의

국내항만의 효율성 변화는 〈표 13〉과 같다. 부산항은  $-1.08\%(0.4151 \rightarrow 0.4043)$ 만큼 하락하였으며, 인천항은  $-0.9\%(0.1880 \rightarrow 0.1790)$ , 광양항은  $1.31\%(0.1569 \rightarrow 0.1700)$ 만큼 상승하였다.

## 4) 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만들의 클러스터링 측정결과 비교분석

부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형에 의한 측정결과를 국내항만들을 중심으로 다음과 같이 비교한다. 첫째, 효율성 측정결과 비교, 둘째, 클러스터링 측정결과 비교, 셋째, 국내항만들의 클러스터링 후의 효율성 변화 비교, 넷째, 효율성 순

표 11. 2009~2013년 동안의 게임교차효율성 모형에 의한 덴드로그램 클러스터링 측정결과  
 [숫자는 클러스터링 할 수 있는 항만번호를 표시함]

항만/ 구분	2009	2010	2011	2012	2013
1	7,10,28,1,6,9,29,5,30	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	1,18	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
2	2,34	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
3	3	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17,	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
4	4,22,8	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	4,12	4,12
5	7,10,28,1,6,9,29,5,30	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	5,32,22	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
6	7,10,28,1,6,9,29,5,30	22,26,6,8,38	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17,	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
7	7,10,28,1,6,9,29,5,30	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17,	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
8	4,22,8	22,26,6,8,38	8,31,24	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
9	7,10,28,1,6,9,29,5,30	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	9,19,26,27	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
10	7,10,28,1,6,9,29,5,30	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17,	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
11	23,37,20,24,31,11	23,33,21,24,36,31, 11,37,15,20	11,12	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
12	12,19	12,27,13	11,12	4,12	4,12
13	13,36,38	12,27,13		17,38,13	17,38,13,14
14	16,25,32,14	14,34,35	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	14,35	17,38,13,14
15	27,33,15	23,33,21,24,36,31,11, 37,15,20	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2,1 9,11,15,31,20,23
16	16,25,32,14	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
17	17,21,18	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17,	17,38,13	17,38,13,14
18	17,21,18	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	1,18	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
19	12,19	19	9,19,26,27	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
20	23,37,20,24,31,11	23,33,21,24,36,31, 11,37,15,20	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23

21	17,21,18	23,33,21,24,36,31,11, 37,15,20	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
22	4,22,8	22,26,6,8,38	5,32,22	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
23	23,37,20,24,31,11	23,33,21,24,36,31,11, 37,15,20	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
24	23,37,20,24,31,11	23,33,21,24,36,31,11, 37,15,20	8,31,24	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
25	16,25,32,14	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
26	26,35	22,26,6,8,38	9,19,26,27	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
27	27,33,15	12,27,13	9,19,26,27	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
28	7,10,28,1,6,9,29,5,30	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
29	7,10,28,1,6,9,29,5,30	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
30	7,10,28,1,6,9,29,5,30	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
31	23,37,20,24,31,11	23,33,21,24,36,31,11, 37,15,20	8,31,24	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2,1 9,11,15,31,20,23
32	16,25,32,14	2,32,5,29,3,16,25,4,30, 7,9,17,18,1,10,28	5,32,22	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
33	27,33,15	23,33,21,24,36,31,11, 37,15,20	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
34	2,34	14,34,35	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17	9,29,5,30,16,25,3,7,10, 34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32, 1,26,10,34,18,22,6,28
35	26,35	14,34,35	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	14,35	35
36	13,36,38	23,33,21,24,36,31,11, 37,15,20	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
37	23,37,20,24,31,11	23,33,21,24,36,31,11, 37,15,20	20,23,4,14,35,2,25,21, 36,33,37	33,37,2,19,15,27,36,21, 24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2, 19,11,15,31,20,23
38	13,36,38	22,26,6,8,38	7,29,15,16,3,38,10,30, 34,6,28,17	17,38,13	17,38,13,14

위의 윌콕슨부호순위검정을 통한 비교 등, 두 가지 모형을 서로 비교해 보고자 한다.

표 12. 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 후의 국내항만들의 효율성 변화 측정결과

국내항만 번호 및 항만명		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
24. 부산항	전	0.3801	0.4784	0.5413	0.0508	0.5693	0.5484	0.4615	0.4188	0.0699	0.5234	0.5241
	후	0.3725	0.4767	0.5145	0.0408	0.5704	0.6603	0.4912	0.4090	0.0682	0.4276	0.4165
25. 인천항	전	0.1400	0.2042	0.3005	0.0414	0.2449	0.2312	0.2430	0.2189	0.0723	0.1879	0.1834
	후	0.1241	0.2000	0.2888	0.0414	0.2380	0.2252	0.2404	0.2063	0.0624	0.1734	0.1687
26. 광양항	전	0.2387	0.1736	0.2039	0.0287	0.1693	0.1640	0.1827	0.1575	0.0462	0.1852	0.1766
	후	0.2356	0.1669	0.1970	0.0233	0.1679	0.2565	0.1822	0.1569	0.2153	0.1374	0.1312

표 13. 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 후 국내항만들의 효율성 변화 측정결과

국내항만 번호 및 항만명		클러스터링 전과 후의 평균효율성	클러스터링 전과 후의 평균 효율성 변화
24. 부산항	전	0.4151	
	후	0.4043	-1.08 %
25. 인천항	전	0.1880	
	후	0.1790	-0.009 %
26. 광양항	전	0.1569	
	후	0.1700	0.0131 %

## (1) 효율성 측정결과 비교분석

두 가지 모형, 즉, 부트스트랩 DEA모형, 게임교차효율성 모형에 대한 효율성 측정결과를 간단하게 비교해 보면 다음과 같다. 즉, 부트스트랩 DEA모형에 대한 평균 효율성 수치는 SW모형은 0.7655(부산항:0.7131, 인천항:0.7736, 광양항:0.6397), LT모형은 0.7354(부산항:0.5920, 인천항:0.7208, 광양항:0.4546)으로 나타났다. 게임교차효율성 수치는 0.3186(부산항: 0.4151, 인천항:0.1879, 광양항:0.1569)으로 나타났다. 즉, 모형별 효율성 순위는 부트스트랩 SW모형(인천항, 부산항, 광양항), LT모형(인천항, 부산항, 광양항), 게임교차효율성(부산항, 인천항, 광양항)의 순서로 나타났다. 모형별로 평균 효율성에서 차이가 나는 이유는 모형의 특성에 기인하는 것으로 추정된다.

## (2) 클러스터링 측정결과 비교분석

〈표 14〉에는 부트스트랩 DEA 모형과 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 측정결과를 각각 제시하였다. 실증분석결과를 살펴보면 다음과 같은 두 가지 특성을 발견할 수 있었다. 첫째, 게임교차효율성모형에 의한 클러스터링이 부트스트랩 DEA모형보다도 더 포괄적으로 포함하고 있음을 발견할 수 있었다. 둘째, 부산항의 경우에는 양 모형에서 동일한 항만이 출현하는 경우가 11개년 중에서 7개년에서 나타났으며, 인천항과 광양항은 각각 4개 년도에서 동일한 항만이 출현하였다. 요컨대, 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형에 의거하여 도출한 클러스터링 결과가 어느 정도의 유사성을 가지고 있음을 확인하였다. 셋째, 국내항만들과 클러스터링 되는 항만들을 살펴보면, 부산항

표 14. 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 측정결과

항만	구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
부산	부트스트랩 SW모형	13,17,24,26,38,4	24,30,15	16,34,18,24,32,30	20,31,12,33,16,11,24,26,2	6,32,17,24,10,15	12,31,27,20,33,26,24,25	8,22,20,23,24,27	3,35,32,24,2,37	5,12,7,13,24,29	13,32,6,24,35,25	24,34,31
	부트스트랩 LT모형	21,24,27,12	9,24,5,23	4,8,24,31	13,27,3,24	19,25,4,7,24,32	13,36,24,38	20,35,37,24	24,27,13,15,30,37	16,24,8,37	12,24,30	2,24,12,28,8,26,20
	게임교차효율성	11,20,24,31,21,22,36,17,33,4,8	24,36	24,37,38,31,6,17,13,18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23,31,36,18,38,20,35,16,17,26,24	17,36,20,18,24,37,23,31,12,11,19,27,21,21	24,31,21,37,19,18,4,33,11,27,12	23,37,20,24,31,11	23,33,21,24,36,31,11,37,15,20	8,31,24	33,37,2,19,15,27,36,21,24,8,11,31,20,23	33,37,21,24,8,36,27,2,19,11,15,31,20,23
인천	부트스트랩 SW모형	6,19,28,25	21,25,22,3,37	15,29,12,38,6,26,19,25	14,38,25,27,4,8	25,26	12,31,27,20,33,26,24,25	2,6,12,10,25	7,25,18	18,27,32,17,25,26,20,3	13,32,6,24,35,25	1,5,25
	부트스트랩 LT모형	10,28,32,18,25,2	25,30,6,34	22,25	23,25,18,36	19,25,4,7,24,32	2,30,19,25	25,36,22,9	22,25,10	13,18,25,32,22	25,33,21	19,25,10,32,3,6,17
	게임교차효율성	9,29,25,10,5,16,13,3,30,32,14	20,23,38,19,35,31,25,37,26	4,8,2,34,15,27,7,10,21,22,19,14,29,9,30,2511	19,25,21	9,25,5,7,3,16	32,35,3,16,25	16,25,32,14	2,32,5,29,3,16,25,4,30,7,9,17,18,1,10,28	20,23,4,14,35,2,25,21,36,33,37	9,29,5,30,16,25,3,7,10,34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32,1,26,10,34,18,22,6,28
광양	부트스트랩 SW모형	13,17,24,26,38,4	32,38,18,28,26	15,29,12,38,6,26,19,25	20,31,12,33,16,11,24,26,2	25,26	12,31,27,20,33,26,24,25	21,35,38,26	26,36	18,27,32,17,25,26,20,3	6,31,5,26	2,24,12,28,8,26,20
	부트스트랩 LT모형	9,31,26,38,22,8	7,10,26,33,13	26,34	6,26,17,35,21	33,36,8,26,6	16,26,29	26,27,12,34,6	17,35,3,26	14,31,17,10,38,11,26	6,31,5,26	2,24,12,28,8,26,20
	게임교차효율성	7,26	20,23,38,19,35,31,25,37,26	24,37,38,31,6,17,13,18,1,26,20,12,28	5,6,13,28,37,22,3,23,31,36,18,38,20,35,16,17,26,24	13,28,6,38,26	1,26,14,28	26,35	22,26,6,8,38	9,19,26,27	9,29,5,30,16,25,3,7,10,34,1,26,32,18,22,6,28	5,16,25,9,29,30,3,7,32,1,26,10,34,18,22,6,28

(3번, 4번, 8번, 13번, 15번, 17번, 19번, 20번, 21번, 23번, 25번, 26번, 31번, 32번, 37번), 인천항(3번, 6번, 7번, 15번, 18번, 22번, 24번, 26번, 28

번, 29번, 32번, 37번), 광양항(5번, 6번, 12번, 16번, 17번, 20번, 24번, 25번, 27번, 28번, 31번, 35번, 38번)들과 클러스터링 되었다. 즉, 부산항은

광저우, 칭타오, 도쿄, 요코하마, 코베, 오사카항, 인천항은 광저우, 나고야항, 광양항은 상하이, 요코하마, 마닐라, 방콕항 등과 클러스터링 되는 것으로 나타났다. 넷째, 부산&인천항과 공통적으로 클러스터링되는 항만은 3번(아카바), 15번(칭타오), 26번(광양), 32번(다바오), 37번(립찬방)항이었으며, 부산&광양항과 공통적으로 클러스터링 되는 항만은 17번(탄중프리옥), 20번(요코하마), 25번(인천), 28번(탄중펠파스), 31번(마닐라)항이었고, 인천&광양항과 공통적으로 클러스터링 되는 항만은 6번(제다), 24번(부산), 28번(탄중펠파스) 항들이었다.

(3) 국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화비교분석

국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, 부트스트랩 SM 모형에 의한 클러스터링 후의 부산항의 효율성은 6.46% 만큼 상승(0.7131→0.7777), 인천항의 효율성은 3.92% 만큼 상승(0.7736→0.8128), 광양항의 효율성은 2.78%(0.6397→0.6676)만큼 상승하였다. 둘

째, 부트스트랩 LT모형에 의한 클러스터링 후의 부산항의 효율성은 -1.86% 만큼 하락(0.5920→0.5734), 인천항의 효율성은 2.11% 만큼 상승(0.7208→0.7419), 광양항의 효율성은 -0.124% 만큼 하락(0.4546→0.4533)하였다. 셋째, 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 후의 국내항만의 효율성 변화는 다음과 같다. 부산항은 -1.08%(0.4151→0.4043)만큼 하락하였으며, 인천항은 -0.9%(0.1880→0.1790), 광양항은 1.31%(0.1569→0.1700)만큼 상승하였다.

요컨대, 부트스트랩 SW모형에서는 모두 상승하였으나, 부트스트랩 LT모형에서는 인천항만 상승하고, 부산항과 광양항은 하락하였다. 게임교차효율성 모형에서는 광양항만 상승하고 부산항과 인천항은 하락하였다.

(4) 효율성 순위 비교분석

부트스트랩 DEA모형(SW모형)에 의한 효율성 분석과 게임교차효율성분석에 의해서 도출된 각 항만 별로 효율성에 의거하여 순위를 정하였다. 그

표 15. 2003년-2013년까지의 월콕슨 부호순위 검정결과  
[부트스트랩 DEA모형(SW)과 게임교차효율성 모형]

측정년도	P값	유의수준	귀무가설의 채택 여부
2003	0.774	0.05	귀무가설 채택
2004	0.582	0.05	귀무가설 채택
2005	0.366	0.05	귀무가설 채택
2006	1.0	0.05	귀무가설 채택
2007	0.959	0.05	귀무가설 채택
2008	0.825	0.05	귀무가설 채택
2009	0.509	0.05	귀무가설 채택
2010	0.604	0.05	귀무가설 채택
2011	0.983	0.05	귀무가설 채택
2012	0.753	0.05	귀무가설 채택
2013	0.656	0.05	귀무가설 채택
평균	0.7283	0.05	귀무가설 채택



표 16. 2003년-2013년까지의 월콕슨 부호순위 검정결과  
[부트스트랩 DEA모형(LT)과 게임교차효율성 모형]

측정년도	P값	유의수준	귀무가설의 채택 여부
2003	0.928	0.05	귀무가설 채택
2004	0.617	0.05	귀무가설 채택
2005	0.465	0.05	귀무가설 채택
2006	0.952	0.05	귀무가설 채택
2007	0.814	0.05	귀무가설 채택
2008	0.592	0.05	귀무가설 채택
2009	0.418	0.05	귀무가설 채택
2010	0.571	0.05	귀무가설 채택
2011	0.912	0.05	귀무가설 채택
2012	0.717	0.05	귀무가설 채택
2013	0.594	0.05	귀무가설 채택
평균	0.6891	0.05	귀무가설 채택

러한 순위를 근거로 월콕슨부호순위검정을 실시하였다. 다년도 측정결과 중에서 P값, 유의수준, 귀무가설의 기각여부는 <표 15>에 제시하였다. <표 15>에서는 첫째, P값(유의확률)이 유의수준 0.05보다 훨씬 더 크게 나타났으므로, 귀무가설  $H_0$ 는 채택된다. 즉, 귀무가설을 기각시킬 수 없으며, 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위는 차이가 있다고 말할 수 없다. 즉, 부트스트랩 DEA모형(SW)에 의한 효율성 순위와 게임교차효율성분석에 의한 순위에는 차이가 있다고 할 수 없다.

즉, 본 연구에서 사용한 두 개의 모형은 효율성을 측정하는데 유효한 방법이라고 할 수 있다. 둘째, 2006년, 2007년, 2011년도의 P값(유의확률)이 다른 년도에 비해서 상대적으로 높게 나타나서, 본 연구에서 사용된 두 가지 모형에 의한 항만별 효율성 순위에 대한 측정결과가 매우 유사함을 보여주었다. 셋째, 2005년의 유의확률이 상대적으로 낮게 나타났다. 넷째, 평균적으로 보았을 때, P값(유의확률)이 평균 0.7283 수준에서 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위가 서로 일치함을 보여 주

었다.

동일한 방법으로 <표 16>에는 부트스트랩 DEA모형(LT모형)에 의한 효율성 순위와 게임교차효율성분석에 의한 순위에 의한 월콕슨부호순위검정결과를 제시하였다. 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, P값(유의확률)이 유의수준 0.05보다 훨씬 더 크게 나타났으므로, 귀무가설  $H_0$ 는 채택된다. 즉, 귀무가설을 기각시킬 수 없으며, 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위는 차이가 있다고 말할 수 없다. 즉, 부트스트랩 DEA모형(LT모형)에 의한 효율성 순위와 게임교차효율성분석에 의한 순위에는 차이가 있다고 할 수 없다. 즉, 본 연구에서 사용한 두 개의 모형은 효율성을 측정하는데 유효한 방법이라고 할 수 있다. 둘째, 2003, 2006년, 2011년도의 유의확률이 다른 년도에 비해서 상대적으로 높게 나타나서, 본 연구에서 사용된 두 가지 측정결과가 매우 유사함을 보여주었다. 셋째, 2005년, 2009년의 P값(유의확률)이 상대적으로 낮게 나타났다.

넷째, 평균적으로 보았을 때, P값(유의확률)이

평균 0.6891 수준에서 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위가 서로 일치함을 보여 주었다.

다섯째, 그러나 모형에 따라서 순위의 차이는 크게 없지만, 측정목적과 모형이 갖는 장단점에 따라서 효율성 수치의 크기에는 차이가 있다는 점을 주의해야만 한다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 첫째, 기존연구에서는 다루지 못한 새로운 방법인 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형에 대해서 이론적으로 설명하였으며, 둘째, 아시아 38개 항만들의 11년간 자료를 4개의 투입요소(선석길이, 수심, 총면적, 크레인수), 1개의 산출요소(컨테이너화물처리량)를 이용하여 효율성을 측정하였다. 셋째, 부트스트랩 DEA모형(SW, LT모형)의 측정방법 및 실제적용, 게임교차효율성 모형 측정방법 및 실제적용 넷째, 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성모형에 의해서 2003년부터 2013년까지의 효율성 분석, 덴트로그램에 의해서 측정결과에 따른 클러스터링 측정, 다섯째, 부트스트랩 DEA모형(SW, LT모형)과 게임교차효율성 모형에 대해서 ① 효율성 측정결과비교, ② 클러스터링 측정결과비교, ③ 국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화비교, ④ 효율성 순위 비교 측면에서 실증분석결과를 비교분석하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, 2003년부터 2013년까지 전체자료를 이용한 편이수정 된 부트스트랩 평균효율성 측정의 주요한 결과를 살펴보면, ① LT모형의 효율성 수치가 SW모형의 효율성 수치보다 그 모형의 엄격성 때문에 더 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다. ② 표에는 표시하지 않았지만, 전체 자료에 대한 SW모형의 부트스트랩 평균효율성 수치는 0.7660, LT모형은 0.7341로 나타났다.

둘째, 게임교차효율성 모형에 의한 국내항만들

의 클러스터링을 살펴보면 부산항은 [11번(홍콩), 12번(상하이), 13번(광저우), 14번(닝보), 27번(포트클랑), 33번(싱가포르), 36번(카오슝), 38번(방콕) 항만들과 클러스터링, 인천항은 [2번(하이파), 11번(홍콩), 12번(홍콩), 13번(광저우), 14번(닝보), 18번(탄중퍼락), 27번(포트클랑), 35번(키룽) 항만들과 클러스터링, 광양항은 [2번(하이파), 11번(홍콩), 12번(상하이), 13번(광저우), 14번(닝보), 18번(탄중퍼락), 27번(포트클랑), 36번(카오슝) 항만들과 클러스터링을 하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 요컨대, 국내항만들은 홍콩항, 상해항, 광저우항, 닝보항, 포트클랑항, 싱가포르항, 카오슝항, 키룽항, 방콕항과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

셋째, 부트스트랩 DEA모형에 의한 국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화분석의 주요한 결과는 다음과 같다. ① 부트스트랩 SW모형에 의한 클러스터링 후의 부산항의 효율성은 6.46% 만큼 상승(0.7131→0.7777), 인천항의 효율성은 3.92% 만큼 상승(0.7736→0.8128), 광양항의 효율성은 2.78%(0.6397→0.6676)만큼 상승하였다. ② 부트스트랩 LT모형에 의한 클러스터링 후의 부산항의 효율성은 -1.86 % 만큼 하락(0.5920→0.5734), 인천항의 효율성은 2.11% 만큼 상승(0.7208→0.7419), 광양항의 효율성은 -0.124% 만큼 하락(0.4546→0.4533)하였다. 요컨대, 부트스트랩 SW모형에서는 모두 상승하였으나, 부트스트랩 LT모형에서는 인천항만 상승하고, 부산항과 광양항은 하락하였다.

넷째, 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 후의 국내항만의 효율성 변화는 다음과 같다. 부산항은 -1.08%(0.4151→0.4043)만큼 하락하였으며, 인천항은 -0.9%(0.1880→0.1790), 광양항은 1.31%(0.1569→0.1700)만큼 상승하였다. 게임교차효율성 모형에서는 클러스터링 후에 효율성이 광양항만 상승하고 부산항과 인천항은 하락하였다.

다섯째, 효율성 순위를 검정한 윌콕슨부호순위

검정에서는 세 가지 모형[부트스트랩 DEA모형(SW)과 게임교차효율성 모형(72.83%), 부트스트랩 DEA모형(LT)과 게임교차효율성모형(68.91%)]사이 순위에 차이가 없는 것으로 나타났다.

본 논문이 갖는 정책적인 함의는 다음과 같다. 첫째, 본 논문의 실증분석결과, 클러스터링항만들로서 나타난 항만들에 대한 항만개발, 운영에 대한 내용을 세밀하게 검토하고 해당항만들의 장점 부분은 도입하여 실시하는 것이 필요하다. 즉, 부트스트랩 SW, 부트스트랩 LT, 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링을 개략적으로 살펴보았을 때, 국내항만들은 홍콩항, 상해항, 광저우항, 닝보항, 포트클랑항, 싱가포르항, 카오슝항,基隆항, 방콕항과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났으므로, 그러한 항만들과 각각 클러스터링을 하는 정책을 도입하여 시행해야만 한다. 특히 여기서 부산항의 경우에는 미주노선에 초점을 맞추어서 클러스터링되는 항만들과의 협력을 통해서 환적화물유치에 노력해야만 한다. 또한 구주노선에 우위에 있는 상해항과 그러한 노선에 대한 화물에 대해서 서로 상생하는 정책을 시행해야만 한다.

둘째, 부산항은 상해항이나 기타 항들과의 클러스터링을 통해서 경쟁력을 증대시키기 위해서는 자체적으로 최근 해양수산부가 발표한 부산항의 발전전략에서 제시한 바와 같은 정책<sup>4)</sup>부산항을 세계 2대 환적거점형 육성 및 특화발전전략(컨테이너 기능을 신항으로 단계적으로 일원화하고, 북항은 해양산업클러스터 도입, 북항운영사 통합 가속화 및 한국형 글로벌 터미널 운영사(GTO) 육성, 부두내 운송차량 전용도로 공동배시스템을 도입해 항만운영효율화 촉진, 2020년 부산항의 환적물량을 1300만TEU를 목표로 1조5천억원의 경제적 파급효과를 창출을 시행하여 자체적인 경쟁력을 우선 확보해 나가야만 한다. 또한 부산항과 가장 교역량이 많은 천진, 칭타오, 상하이, 대련, 닝보, 선

전 항들과 클러스터링을 통해서 환적화물 유치를 위해서 노력 해야만 한다. 특히 박병인(2015),이기웅·이문규·방효식(2011), 임일규·김명재·안기명(2010), 김근섭(2015), 박영태(2016: 10-22)가 제시하고 있는 환적화물 유치 및 부산항 배후단지 개발을 위한 정책들이 입안되고 시행되어야만 한다.

셋째, 인천항은 최근에 인천시와 인천항만공사 제시한 정책<sup>5)</sup>인천신항 조기활성화, 크루즈산업 활성화, 인천내항 1부두 항만 재개발사업 추진, 국제여객터미널 건설 및 이전대책, 골든하버 개발사업 추진, 인천개항 창조도시 재생사업추진, 인천항 주변 공영화물 주차장 확충, 인천항만공사 지역사회 참여확대, 인천항 국제터미널내 인천도시철도 1호선 연장기를 시행하여 자체적인 경쟁력을 확보하여 효율성을 높여야만 한다. 특히, 인천항과 교역량이 많은 칭타오, 상하이, 위해, 세코구, 대련 항들과 클러스터링을 통해서 교역량을 더욱 확대시켜야만 한다.

넷째, 광양항은 부산항과 인천항이 사용하는 동일한 방법의 협력전략을 시행해야만 한다. 또한 장비의 현대화 및 숙련된 드라이버의 채용과 양성, 환적화물에 대한 디스카운트 확대정책이 시행되어야만 한다. 세부적으로는 박병인(2015: 99)이 실증분석을 통해서 제시한 바와 같이 칭타오, 다론헬항과의 윈윈전략을 시행하고, 부산항 및 부산신항과는 공생관계 설정, 항만 거버넌스 통합, 항만 간 업무 및 요율안정화 협력, 원양 및 피더선 동시기항 및 빈도의 확대, 공동 포트세일즈 정책 등을 입안하고 시행해야만 한다.

본 논문은 다음과 같은 한계점들을 가지고 있다.<sup>6)</sup> 첫째, 실증분석 결과에 대한 해석이 충분히 다루어 지지 못했으며, 둘째, 항만 간 클러스터링을 한 후 구체적으로 개별항만 들이 어떠한 노력

4) <http://blog.naver.com/koreamof/220419948006>

5) <http://www.ctoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=165415>

6) 박노경(2015: 108).

과 정책을 펼쳐나가야 하는지(논문의 실증분석결과에 따른 정책적 함의도출)에 대해서는 세부적으로 파악하여 제시하지 못했다. 셋째, 실무적인 측면(민간영역, 선사의 항만선택요인 등등)에서의 정책적인 제안이 부족하였다. 넷째, 실증분석에 따른 결과간의 비교를 좀 더 심도 있게 제시하지 못했다. 더욱 정밀한 부분에 대한 연구는 차후 연구의 과제로 삼고자 한다.

## 참고문헌

- 김근섭(2015), "부산항 환적경쟁력 강화를 위한 네트워크 강화방안", 『동아시아물류동향』, 제85권, 부산발전연구원, 98-103.
- 김경구(2003), "교차 평가모형을 이용한 컨테이너 터미널의 효율성 평가모형에 관한 연구", 부산외국어대학교 대학원 석사학위논문.
- 김재희(2009), "교차효율분석을 활용한 원양어업의 업종별 경쟁력 추정", 『해양정책연구』, 제24권 제1호, 한국해양수산개발원, 57-76.
- 김종대(2014), "부트스트랩 DEA기법을 이용한 지역신협의 경영효율성 분석", 『금융공학연구』, 제13권 제1호, 한국금융공학회, 101-127.
- 박노경(2016), "부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 항만클러스터링 측정에 대한 실증적 비교연구", 『2016 경제학공동학술대회 한국항만경제학회 분과 학술발표논문집』, 한국항만경제학회, 1-47.
- 박노경(2003), "컨테이너 항만선택을 위한 선호도 측정방법: 컨텍스트의존모형 접근", 『해운물류연구』, 제38호, 한국해운물류학회, 87-112.
- 박노경(2014), "게임교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 측정방법 소고", 『한국항만경제학회지』, 제30권 제4호, 한국항만경제학회, 279-294.
- 박노경(2013a), "교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 측정방법", 『무역연구』, 제9권 제4호, 한국무역연구원, 279-294.
- 박노경(2013b), "컨테이너항만의 클러스터링 측정방법 소고: DEA참조집단모형과 교차효율성 모형을 이용", 『무역연구』, 제9권 제7호, 한국무역연구원, 439-456.
- 박병인(2015), "광양항과 동북아 주요컨테이너항간 경쟁 추세분석", 『한국항만경제학회지』, 제31권 제2호, 한국항만경제학회, 85-101.
- 박영태(2016), "글로벌물류시대 항만배후단지 활성화를 위한 실무적 방안", 『2016 경제학공동학술대회 한국항만경제학회 분과 학술발표논문집』, 한국항만경제학회, 2-22.
- 이기웅·이문규·방효식(2011), "부산항 환적화물 유치를 위한 항만경쟁력 분석에 관한 실증연구", 『통상정보연구』, 제13집 제1호, 한국통상정보학회, 97-120.
- 이준배(2013), 『DEA 경영효율성』, 도서출판 명진.
- 임일규·김명재·안기명(2010), "중국항만과 경쟁력 분석을 통한 부산항 환적화물 유치전략 연구", 『한국항만경제학회지』, 제26권 제3호, 한국항만경제학회, 175-179.
- Adler, N., Friedman, L. and Sinuany-Stern, Z.(2002), "Review of Ranking Methods in the Data Envelopment Analysis Context," *European Journal of Operational Research*, Vol.140, 249-265.
- Alcaraz, J., N. Ramon, J. L. Ruiz, and I. Sirvent(2013), "Ranking Ranges in Cross-efficiency Evaluation," *European Journal of Operational Research*, Vol. 226, 516-521.
- Andersen, P. and Petersen, N. C.(1993), "A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis," *Management Sciences*, Vol.39, 1261-1264.
- 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, 1078-1092.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes(1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol.2, 429-444.
- Chen, C. M. and J. Zhu(2011), "Efficient Resource Allocation via Efficiency Bootstraps: Allocation to R&D Project," *Operations Research*, Vol.59 No.3, 729-741.
- Doyle, J. R., and R. H. Green(1994), "Efficiency and Cross-efficiency in DEA: Derivations, Meanings, and Uses," *Journal of Operational Research Society*, Vol.45 No.5, 567-578.
- Du, J., W. D. Cook, Liang, L., and J. Zhu(2014), "Fixed Cost and Resource Allocation based on DEA Cross-efficiency," *European Journal of*

*Operational Research*, Vol.235, 206-214.

- Farrel, M. J.(1957), "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, Part 3.
- Global Maritime Logistics Council(2009), *Seaport Cluster Research Programme 2007-2011*, 1-31. <http://www.globeinst.org/portcluster>
- Hirschberg, J. G. and J. N. Lye(2001), "Clustering in a Data Envelopment Analysis Using Bootstrapped Efficiency Scores," *Working Paper* No.3010, Economics Department, University of Melbourne, 1-22.
- Liang, L., J. Wu, W. D. Cook, and J. Zhu(2008), "The DEA Game Cross-Efficiency Model and Its Nash Equilibrium," *Operations Research*, Vol.56 No.5, 1278-1288.
- Lothgren, M., and M. Tambour(1999a), "Bootstrapping the Data Envelopment Analysis Malmquist Productivity Index," *Applied Economics*, Vol.31, 417-425.
- Lothgren, M., and M. Tambour(1999b), "Testing Scale Efficiency in DEA Models :A Bootstrapping Approach," *Applied Economics*, Vol.31, 1231-1237.
- Ma, C., D. Liu, Z. Zhou, W. Zhao, W. Liu(2014), "Game Cross-Efficiency for Systems with Two-Stage Structures," *Journal of Applied Mathematics*, 2014s(Special Issue 2013), 1-8.
- Park, Ro Kyung(2008), "A Verification of Korean Containerport Efficiency Using the Bootstrap Approach," *Journal of Korea Trade*, Vol.12 No.2, The Korea Trade Research Association, 1-30.
- Sarkis, J., and S. Talluri(2004), "Performance Based Clustering for Benchmarking of US Airports," *Transportation Research Part A*, Vol.38, 329-346.
- Sexton, T. R., R. H. Silkman, and A. J. Hogan(1986), *Data Envelopment Analysis: Critique and Extensions*, in Silkman, R. H.(Ed.), *Measuring Efficiency: An Assessment of Data Envelopment Analysis*, Jossey-Bass, San Francisco, 73-105.
- Simar, L., and P. W. Wilson(1998), "Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models," *Management Science*, Vol.44, 49-61.
- Song, M. L., L. L. Zhang, W. Liu, and R. Fisher(2013), "Bootstrap-DEA Analysis of BRICS' Energy Efficiency based on Small Sample Data," *Applied Energy*, Vol.112, 1049-1055.
- Thanassoulis, A.(1996), "A Data Envelopment Analysis Approach to Clustering Operating Units for Resource Allocation Purposes," *OMEGA*, Vol.24 No.4, 463-476.
- Ulucan, A., and Atici, K. B.(2010), "Efficiency Evaluation with Context-dependent and Measure-specific Data Envelopment Approach: An Application in a World Bank Supported Project," *OMEGA*, Vol.38, 68-83.
- Wu, J., Liang, L., and Y. Chen(2009), "DEA Game Cross-Efficiency Approach to Olympic Rankings," *OMEGA*, Vol.37, 909-918.
- Wu, J., and Liang, L.(2012), "A Multiple Criteria Ranking Method based on Game Cross-Evaluation Approach," *Annals of Operations Research*, Vol.197, 191-202.
- Wu, J., Liang, L., Wu, D. and Yang, F.(2008), "Olympics Ranking and Benchmarking Based on Cross Efficiency Evaluation Method and Cluster Analysis: The Case of Sydney 2000," *International Journal of Enterprise Network Management*, Vol.2 No.4, 377-392.
- Wu, J., Liang, L. and Yang, F.(2009), "Achievement and Benchmarking of Countries at the Summer Olympics Using Cross Efficiency Evaluation Method," *European Journal of Operational Research*, Vol.197, 722-730.
- <http://www.ci-online.co.uk>, [Containerisation International Yearbook, 2003-2012.].
- <http://www.spidc.go.kr>

## 부트스트랩 DEA모형과 게임 교차효율성모형을 이용한 클러스터링 측정에 대한 실증적 비교연구

박노경

### 국문요약

본 논문에서는 부트스트랩DEA모형과 게임교차효율성모형으로, 아시아 38개 컨테이너항만들의 11년간 자료를 4개의 투입요소(선석길이, 수심, 총면적, 크레인 수), 1개의 산출요소(컨테이너화물처리량)를 이용하여 국내항만(부산, 인천, 광양항)들이 어떤 항만들과 클러스터링 해야만 하는지에 대한 측정방법을 실증적으로 보여 주고 분석하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, 2003년부터 2013년까지 전체자료를 이용한 편이수정 된 부트스트랩 평균효율성 측정의 주요한 결과를 살펴보면, ① LT모형의 효율성 수치가 SW모형의 효율성 수치보다 그 모형의 엄격성 때문에 더 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다. ② 전체 자료에 대한 SW모형의 부트스트랩 평균효율성 수치는 0.7660, LT모형은 0.7341로 나타났다. 둘째, 게임교차효율성 모형에 의한 국내항만들의 클러스터링을 살펴보면 국내항만들은 홍콩항, 상해항, 광저우항, 닝보항, 포르투랑항, 싱가포르항, 카오슝항,基隆항, 방콕항과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 셋째, 부트스트랩 DEA모형에 의한 국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화분석의 주요한 결과는 부트스트랩 SW모형에서는 모두 상승(부산:6.46%, 인천:3.92%, 광양:2.78%)하였으나, 부트스트랩 LT모형에서는 인천항(2.11%)만 상승하고, 부산항(-1.86%), 광양항(-0.124%)은 하락하였다. 넷째, 게임교차효율성 모형에 의한 클러스터링 후의 국내항만의 효율성 변화를 살펴보면 광양항(0.131%)만 상승하고 부산항(-1.08%)과 인천항(-0.009%)은 하락하였다. 다섯째, 효율성 순위를 검정한 윌콕스부호순위검정에서는 세 가지 모형(부트스트랩 DEA모형(SW)과 게임교차효율성 모형(72.83%), 부트스트랩 DEA모형(LT)과 게임교차효율성모형(68.91%)사이에 순위에 차이가 없는 것으로 나타났다.

본 논문이 갖는 정책적인 함의는 첫째, 항만정책입안자들이 본 연구에서 사용한 두 가지 모형을 항만의 클러스터링 정책에 도입하여 해당항만이 발전할 수 있는 전략을 수립하고 이행해 나가야만 한다는 점이다. 둘째, 본 논문의 실증분석결과 국내항만들의 참조항만, 클러스터링항만들로서 나타난 아시아항만들에 대하여, 그들 항만들의 항만개발, 운영에 대한 내용을 정밀하게 분석하고 도입하여 실시하는 것이 필요하다.

주제어: 아시아 컨테이너항만, 클러스터링, 부트스트랩 DEA 모형, 게임 교차효율성 모형