

퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성모형을 이용한 클러스터링측정에 대한 실증적 비교연구*

박노경**

An Empirical Comparative Study on the Clustering Measurement Using Fuzzy(Average Index Transformation) DEA and Cross-efficiency Models

Ro-Kyung Park

Abstract

The purpose of this paper is to show the clustering trend and the empirical comparison and to choose the clustering ports for 3 Korean ports(Busan, Incheon and Gwangyang Ports) by using the Fuzzy(Average Index Transformation) DEA and Cross-efficiency models for 38 Asian ports during 11 years(2001-2011) with 4 input variables(birth length, depth, total area, and number of crane) and 1 output variable(container TEU). The main empirical results of this paper are as follows. First, clustering results by using Fuzzy(AIT)DEA show that 3 Korean ports[Busan(56.29%), Incheon(57.96%), and Gwangyang(66.80%) each]can increase the efficiency. Second, according to Cross-efficiency model, Busan(Hongkong, Kobe, Manila, Singapore, and Kaosiung etc.), Incheon(Aquaba, Dammam, Karachi, Mohammad Byin Oasim and Davao), and Gwangyang(Damman, Yokohama, Nogoya, Keelong, Kaosiung, and Bangkok) should be clustered with those ports in parentheses. Third, when both Fuzzy(AIT)DEA and Cross-efficiency models are mixed, the empirical result shows that 3 Korean ports[Busan(71.38%), Incheon(103.89%), and Gwangyang(168.55%) each]can increase the efficiency. The efficiency ranking comparison among the three models by using Wilcoxon Signed-rank Test was matched with the average level of 66%-67%. The policy implication of this paper is that Korean port policy planner should introduce the Fuzzy(AIT)DEA, and Cross-efficiency models with the mixed two models when clustering is needed among the Asian ports for enhancing the efficiency of inputs and outputs. Also, the results of SWOT analysis among the clustering ports should be considered.

Key words: Asian Container Ports Clustering, Fuzzy(Average Index Transformation Model, Cross-efficiency Model, DEA

▷ 논문접수: 2015. 02. 26

▷ 심사완료: 2015. 03. 14

▷ 게재확정: 2015. 03. 26

* 본 논문은 2015년 2월 24일 성균관대학교에서 개최된 한국경제학회가 주관한 경제학공동학술대회 한국항만경제학회 분과에서 발표된 논문임. "이 논문은 2014년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014S1A5A2A01011481)".

** 조선대학교 경상대학 무역학과 교수, nkpark@chosun.ac.kr

I. 서론

2013년 말 컨테이너 화물처리량(TEU) 기준 세계 10대 항만순위를 살펴보면 상하이, 싱가포르, 선전, 홍콩, 부산, 닝보, 칭타오, 광저우, LA/롱비치, 두바이 순이다. 가장 중요한 점은 중국 항만들이 6개를 차지하고 있으며, 컨테이너 화물처리 면에서 볼 때 압도적으로 그 규모가 크다고 하는 점이다. 지리적으로 중국항만들과 인접해 있는 국내항만들의 입장에서 볼 때, 고객 및 시장 확보 측면에서 매우 우려되는 상황이 전개되고 있다. 즉, 중국항만들과 경쟁을 하면서 협력을 해야만 하는 co-competition 상황이 심화되고 있다. 그러나 그러한 상황을 타개 할 수 있는 기본적인 연구인 아시아 항만 간 클러스터링과 관련된 연구, 특히 DEA기법 또는 더 발전된 형태의 기법을 사용한 국내 연구는 많지 않는 상황이다.

따라서 아시아 항만들이 속해있는 항만들 사이의 클러스터링을 정확하게 측정하기 위해서 Campos 등(1989), Lertworasirikul 등(2003)이 제시한 Fuzzy DEA모형을 확장시킨 퍼지(평균지수변환)모형[Fuzzy (Average Index Transformation) Model]과 교차효율성모형(Cross-efficiency Model)으로 각각 측정하고, 그러한 실증분석 결과를 비교한 연구에 대해서는 국내 기존연구가 드물기 때문에 그러한 연구를 도입하는 것이 매우 필요하다. 특히 Saati et al. (2013), Sirvent and Leon(2014)이 발표한 연구주제 [퍼지DEA모형을 이용한 클러스터링, 퍼지DEA모형에 교차효율성을 반영한 연구처럼 두 가지 모형을 접목시킨 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 첫째, ① 퍼지(평균지수변환)모형을 이용하여 효율성을 측정하고, 한국항만들이 중국항만들, 일본항만들, 중동항만들, 싱가포르항만, 동남아시아항만(스리랑카, 대만, 타이랜드, 인도, 인도네시아 항만)들의 어느 그룹 속에 클러스터링 되는지를 참조집단을 통해서 확인한다. ② 한국항만들이 클러스터링 되는 항만 속에서 어떤 항만들을 벤치마킹하는지를 파악하고,

또한 어느 정도의 효율성을 보이는지를 측정한다. ③ ①번, ②번 항목에 대해서 2001년부터 2012년까지의 장기적인 추세를 분석한다. 둘째, 교차효율성 모형인 자료 모형, 퍼지(평균지수변환)DEA 모형을 이용하여 도출된 자료를 교차효율성에 접목한 모형을 이용하여 ① 아시아 항만들 사이에서 국내항만들이 어떤 항만들을 벤치마킹하는 지를 효율성 분석을 통해서 파악한다. ② 효율성 매트릭스와 상관 계수 값을 이용하여 클러스터링을 측정한다. ③ 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 통해서 도출한 자료를 교차효율성 모형에 접목시킨 효율성을 측정한다. ④ ①번, ②번, ③번의 결과를 비교 분석한다.

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 퍼지(평균지수변환)모형과 교차효율성모형인 자료 모형, 퍼지(평균지수변환)DEA에 의거하여 도출된 자료를 교차효율성에 접목시킨 모형을 이용하여 아시아 항만들에 대한 클러스터링(효율적인 항만을 중심)을 실증적으로 적용하며, 장기적인 추세도 분석하며, 정책적인 함의를 제시한다. IV장에서는 요약, 정책적 함의, 결론이 제시된다.

II. 기존연구에 대한 검토 및 한계점

1. 퍼지DEA 및 교차효율성 모형을 이용한 항만클러스터링 및 기타 클러스터링과 관련된 국내-국외 기존연구에 대한 검토

그 동안의 항만클러스터링(항만클러스터링의 개념 및 세부적인 내용은 방희석·김새로나(2004, pp. 154-159), Zhang and Lam(2013, pp.162-165)을 참조)와 관련된 국내연구들의 핵심은 첫째, 항만클러스터링의 결정요소, 핵심요소의 적출, 둘째, 부산항, 인천항 중심의 클러스터링을 주로 다루었다는

점이다. 따라서 본 연구에서 사용하고 있는 모형을 이용하여 항만클러스터링을 실증분석한 연구는 박노경(2010), 박노경(2013a,b)을 제외하고는 거의 시도된 적이 없다. 그러나 박노경(2010)의 연구도 2개년도 자료만으로써, 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 이용하여 국내 26개 항만의 효율성을 측정하는 방법만을 소개하는데 그치고 있으며, 박노경(2013a,b)도 교차효율분석을 통하여 클러스터링하는 측정방법만을 소개함으로써 정밀하게 검토하지 못한 한계점을 가지고 있다. 또한 본 연구의 주제는 가장 최근에 선진국학자들[Saati et al.(2013), Sirvent and Leon(2014)]이 발표한 연구주제[퍼지DEA모형을 이용한 클러스터링, 퍼지DEA모형에 교차효율성을 반영한 연구를 포함하고 있다는 점이다. 항만클러스터링과 관련된 국내의 기존연구본 연구와 직접 및 간접적으로 관련된 연구에 대한 내용은 다음과 같다. [자세한 내용은 박노경(2015, pp.25-27을 참조요망)].

박노경(2010)은 Campos and Gonzalez(1989), 임성묵(2008)의 평균지수변환모형을 이용하여 국내 26개항만을 대상으로 2개의 투입요소(접안능력, 하역능력), 2개의 산출요소(화물처리량, 입출항척수)를 이용하여 평균지수변환모형에 의거하여 효율성을 분석하고 해석하였다. 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, 수퍼CCR, 수퍼BCC, 교차효율성 모형으로 효율성을 측정하고 비교, 분석하였다. 박노경(2013b)은 교차효율성모형과 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, 수퍼 CCR, 수퍼 BCC모형에 의한 효율성 수치와 함께 참조집단과 램다 값을 측정하였으며, 또한 교차효율성 모형으로 효율성

을 측정하고 비교, 분석하였다.

임성묵(2008)은 퍼지집합의 특수한 형태인 퍼지숫자에 대한 설명, 퍼지 숫자 간의 대소 비교방법을 소개, 퍼지집합이론과 밀접한 관련이 있는 가능성이론(possibility theory)소개, 퍼지선형계획법을 보통선형계획법으로 변환하는 두 가지 형태의 방법인 평균지수변환법과 가능성 접근법을 개발하였으며, 외국의 저널에서 소개하고 있는 원자료를 이용하여 직접 평균지수법에 의해서 모형의 적합성을 검증하였다.

여기태(2009)는 FCM(Fuzzy C-Mean)법을 사용하여 중국, 한국, 일본항만을 대상으로 그룹별로 묶는 클러스터링을 시도하였으며, 그룹별 비교를 통해서 중국항만의 경쟁력 수준을 비교하였다. 중국항만은 총 5개의 군집으로 클러스터링 됨을 확인하였으며, 분석대상 중에서 가장 경쟁력이 뛰어난 계층은 I(B 군집)의 상하이항으로 나타났으며, 한국과 일본항만들은 상대적으로 낮은 계층인 계층 4화 계층 5에 주로 위치함을 밝혀내었다.

본 연구와 직접적으로 관련된 국외기존연구는 다음과 같다. [자세한 내용은 박노경(2015, pp.27-29를 참조요망)].

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 크리슘 투입-산출자료를 필요로 하는 반면에 현실 세계에서는 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 퍼지이벤트로서 취급되는 가능성접근법을 소개하였다. 그들은 특별한 경우에 있어서, 퍼지데이터의 퍼지멤버십함수가

사다리꼴 타입임을 실제 사례를 통해서 보여 주었다.

그 외에 Saati et al.(2013), Sirvent and Leon (2014), Wu and Goh(2010), Wu, Liang, and Yang (2009) 등이 있다.

2. 기존연구의 한계점

앞에 제시한 항만클러스터링과 관련된 국내 기존 연구들은 박노경(2003), 박노경(2011), 박노경(2010), 박노경(2013a,b)을 제외하고 DEA기법을 사용하지 못했으며, 박노경(2010)은 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 이용하여 효율성을 측정하고, 벤치마킹항만을 적출하고, 항만 간 순위를 결정하는 방법만을 보여주는 데 그쳤으며, 박노경(2013a,b)도 교차효율성을 이용하여 항만들의 클러스터링을 하는 방법만을 보여 줌으로써 (1) 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 모형을 이용한 항만클러스터링을 심도있게 분석하는 방법을 전혀 다루지 못했다. (2) 단 년도를 대상으로 항만클러스터링 또는 벤치마킹항만, 항만 간 순위를 측정하는 방법만을 보여주는 수준을 뛰어 넘지 못하였으며, (3) 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 모형을 이용한 클러스터링 측정결과를 비교분석하는 것을 전혀 실증분석에 도입하지 못했다.

III. 퍼지(평균지수변환)DEA 모형과 교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 클러스터링 측정 및 비교

1. 퍼지(평균지수변환) DEA모형과 교차효율성 모형에 대한 이론적 접근

1) 퍼지(평균지수변환) DEA모형에 대한 이론적 접근

퍼지 DEA의 원리를 살펴보면 다음과 같다. 즉, 실세계에서 관측한 값은 흔히 불확실하거나 애매모호하다. 불확실하거나 애매모호한 자료는 정량화가

불가능하고 완전하지 못하며, 그리고 얻을 수 있는 정보가 없다. 불확실하거나 애매모호한 자료는 구간, 순위(순서)자료 또는 퍼지 수로 흔히 표현된다. 그래서 많은 연구가들은 입력과 출력자료가 불확실하거나 애매모호한 상황을 다루기 위해서 퍼지 DEA (Fuzzy DEA)모형을 구성하고 있다. DEA의 기본모형인 CCR 모형과 BCC모형에서 투입변수 x 와 산출변수 y 는 퍼지 CCR모형과 퍼지 BCC모형에서 각각 퍼지 변수 x' 와 y' 으로 하여 최적치를 구한다.

위와 같은 퍼지 DEA 방법은 통상 네 그룹, 즉, ① 허용오차 접근방법, ② 알파수준 기반 접근방법, ③ 퍼지순위 접근방법, ④ 가능성 순위접근방법으로 분류 할 수 있다.(김충영, 2012:2-7).

퍼지(평균지수변환) DEA모형은 임성목(2008)이 Campos 등(1989), Lertworasirikul 등(2003)의 퍼지모형을 확장시킨 모형이다. 즉, Campos 등(1989)이 제안한 퍼지 숫자 간의 대소 비교방법을 적용하여 퍼지 선형계획법을 일반 선형계획법으로 변환하였으며, Lertworasirikul 등(2003)이 제안한 퍼지 선형계획법 해법인 가능성 접근법(possibility approach)을 보다 일반적으로 확장시킨 모형이다. 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 수학적인 설명에 대한 자세한 내용은 임성목(2008a:55-56)에 제시되어 있다.

2) 교차효율성모형에 대한 이론적 접근

1978년 CCR모형의 등장 이후, DEA기반의 순위 결정에 관한 문제는 여러 학자들에 의해 다양하게 연구되어 왔다. 특히, Adler 등(2002)은 DEA기반의 순위결정 기법을 ① Cross-efficiency model, ② Super-efficiency model, ③ Benchmarking model, ④ Statistics-based model, ⑤ Ranking of inefficiency DMUs, ⑥ MCDM(Multi-criteria decision making model) 등으로 나누었다. 여기서 교차효율성 모형은 Sexton 등(1986)이 제안하고 Doyle and Green(1994)에 의해서 발전된 모형으로, 자기 자신에게 유리한 최적의 가중치 뿐 아니라, 타 DMU의

표 1. 퍼지(평균지수변환)DEA 모형과 교차효율성 모형의 장점과 단점

모형/구분	장점	단점
퍼지(평균지수변환) DEA 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 불확실하거나 애매모호한 상황과 관련된 자료를 구간, 순위자료 또는 퍼지 수로 표현 할 수 있음. • 퍼지 숫자간의 대소비교방법을 적용하여 퍼지 선형계획법을 일반선형계획법으로 변환하여 효율성을 측정하고 참조집단을 통해서 DMUs간의 클러스터링을 측정 할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 삼각 퍼지 값을 계산하기 위해서는 반드시 2개 년도 이상의 자료가 필요함. • 자료가 불확실한 경우에 삼각 퍼지 값을 산출하는 과정에서 편차가 심해 질 수 있음.
교차효율성 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 측정 대상 DMU의 효율성 값이 중복될 확률이 낮아 전체 서열화가 가능함. • 다른 기법과 비교하여 상대적으로 모형이 단순하고 기법적용이 용이하다. • 모든 DMUs에 대해서 공통된 가장 유리한 가중치를 적용하며, 해당 DMU에게도 n-1번 적용한다. • 교차효율성 수치의 상관계수 값을 이용하여 DMUs들의 간의 클러스터링 측정이 가능함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 가중치를 제약할 경우, DEA의 본질적인 장점이 훼손될 여지가 있음. • 최소반영비율 및 전략적 우선순위의 변동에 따라서 측정결과가 달라질 수 있음. • 전문가를 대상으로 한 AHP기법 등을 통해서 요소별 반영비율 및 우선순위를 결정해야만 함.

최적 가중치까지 고려하여 좀 더 공정한 효율성 지수를 구하는 장점을 가지고 있다. 요컨대, 교차효율성 기법의 대표적인 특징은 다음과 같다. 첫째, 측정 DMU 전체의 서열화가 가능하다. 둘째, 공정한 효율성 측정을 위해 공통가중치를 적용한다. 셋째, 다른 기법과 비교하여 상대적으로 모형이 단순하고 기법적용이 용이하다. (박진철, 2010: 10-14)

2. 퍼지(평균지수변환)DEA 모형과 교차효율성 모형의 장점과 단점

항만의 클러스터링과 관련되어 본 연구에 이용된 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 모형에 대한 장단점은 <표 1>에 제시하고자 한다. 기타 모형들에 대한 장단점은 박노경(2012)에 자세하게 제시하였다. <표 1>에 제시된 장점과 단점은 임성묵(2008a, 2008b), 박진철(2010)등에서의 내용을 저자가 인용, 요약, 정리하여 제시하였음을 밝혀 둔다.

3. 설문조사를 통한 퍼지(평균지수변환)DEA 모형과 교차효율성 모형을 이용한 실증적 비교분석을 위한 모형개발

1) 설문조사를 통한 퍼지(평균지수변환)DEA 모형 및 교차효율성 모형에 대한 실증적 비교분석을 위한 모형개발

(1) 설문조사의 방법, 기간 및 설문조사 결과

<표 2>와 관련된 설문지는 2014년 5월 27일부터 2014년 6월 26일 사이에 항만관련 전문가, 교수, 지방해양항만청 담당자, 부산항만공사, 인천항만공사, 여수광양항만공사, 대표적인 세 곳의 해운회사 담당자들에게 전화를 이용한 직접 면담방법을 이용하였다. 대상은 해운회사 3명, 한국항만경제학회 회원교수 4명, 항만분야전문가(한국해양수산개발원) 1명, 지방해양수산청 3명, 항만공사(부산, 인천, 여수광양) 3명으로 총14명에게 설문지를 받았다. 다음과 같은 설문지 내용에 대한 의견이 제기되었다. 첫째, 투입요소에 대해서는 시스템, 항만입지, 야드장비, 선석길이, 선석수도 단순 개수는 않됨, 규모로 구분이 필요함, 크레인도 성능이 18열 또는 24

열인지의 구분이 필요함, 총면적도 야적장인지 구분이 필요함, 크레인 수 대신에 하역장비들이 포함되어야만 함, 인건비, 물류비항만투자비가 포함되어야만 함. 둘째, 산출요소에 대해서는 컨테이너화물처리에 대한 생산성, 처리시간이 포함되어야만 함, 안벽생산성, 하역료가 포함되어야만 한다. VEN이 포함되어야만 함. 셋째, 해양수산부의 정책적인 지원요청사항에 대한 질문의 답은 다음과 같다. ① 신규터미널 설립 시 일정기간 기항비를 보조를 하거나 면제해 주어야만 함. ② 일정물량이상 화물유치시에는 효율을 인하하거나 환적화물 유치에 대해서는 인센티브를 제공해야만 함. ③ 비용측면에서 환적화물에 대한 제도적인 뒷받침이 있어야만 함. ④ 항만에 물동량이 많아야 되는데 정부지원정책으로는 되지 않으며, 항만 자체적으로 자구책을 구해야만 함. ⑤ 항만재개발 촉진, 친수공간항만 부족, 녹

색항만 건설에 정부의 지원요청, ⑥ 항만의 물동량을 증대시키기 위해서는 선사와 하주에 대한 면밀한 분석 및 마케팅이 필요함, ⑦ 환적화물은 싱가포르와 같으며, 항만에서의 화물처리 정시성, 서비스 개선을 확대시켜야만 함, ⑧ 항만이 화물을 창출할 수 있는 지원정책이 필요함, ⑨ 추세가 대형화하기 때문에 준설을 통한 수심확보가 필요함. ⑩ 항만공사의 경우에는 항만건설비를 차입에 의존함으로써 경영재무구조가 악화되고 있는데, 정부의 재정적인 지원이 필요함, ⑪ 광양항의 경우에는 대형 컨테이너선을 유치하기 위해서 24열의 크레인이 더 필요함.

위와 같은 지적에도 불구하고 본 논문에서 Containerization International Yearbook을 활용하여 <표 3>과 같은 투입-산출요소에 대한 만족도 결과에 의거하여 1개의 산출물(컨테이너화물처리량)과 4개의 투입물(선석 수, 수심, 총면적, 크레인 수)을

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

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				②			①		싱가포르, 홍콩, 상해
2						①	②		싱가포르, 상해, 양산
3							②	①	싱가포르, 홍콩, 로테르담
4							①②		상해, 싱가포르, 사히드 라자이
5						①	②		상해, 오사카, 홍콩
6							②	①	홍콩, 싱가포르, 선전
7							①	②	싱가포르, 로테르담, 카오슝
8					②		①		싱가포르, 홍콩, 상해
9					①			②	상해, 청도, 싱가포르
10							①②		상해, 선전, 홍콩
11							①	②	클러스터링 항 없음.
12							①	②	싱가포르, 함부르크, 뉴욕
13						①		②	싱가포르, 상해, 오사카
14							①	②	상해, 포트클랑, 로테르담
합계				1	2	3	14	8	28

이용한 <표 3>과 같은 모형으로 결정하였다. [컨테이너항만의 효율성 측정에 사용된 기존모형들은 Wang, Cullinane, and Song(2005, p.67), Table 3.5를 참조요망]. 클러스터링 해야만 한다고 생각되는 선호항만으로는 싱가포르항과 상해항이 압도적이었으며, 홍콩, 로테르담 항이 선호되었다. 일본항 중에서는 오사카항이 선호되고 있는 것으로 나타났다. 투입-산출요소에 대해서는 78.57%의 전문가들이 80% 이상의 수준에서 만족하고 있는 것으로 나타났다.

(2) 설문조사결과에 의한 퍼지(평균지수변환)DEA 모형과 교차효율성 모형 개발

<표 2>의 결과에 의해서 <표 3>과 같은 아시아항만들의 클러스터링을 측정 할 수 있는 새로운 모형을 개발하였다. 대상항만 수가 456개인 것은 38개 항만에 12년간을 곱한 수치이다.

4. 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 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 456개 항만)의 12년간(2001년-2012년)으로 하였다. 각 변수의 단위는 다음과 같다. 투입요소는 선석길이(m), 수심(m)(평균치, 총면적(평방미터), 크

레인 수(개)(갠트리, Quay, 모바일, 플로팅 크레인)수로 하였으며, 산출요소는 컨테이너화물처리량(TEU)이다. 또한 2011년 자료는 통계자료의 발표 지연 및 변경 때문에, 박노경(2014: 71)의 방법으로 계산하였다. 11년간의 자료를 수집하고 정리하는 과정에서 오류가 발생할 수도 있었음을 밝혀둔다. 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.

실증분석은 첫째, 2010년도의 자료를 이용하여 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 이용하여 클러스터링 측정방법을 보여 준다. 둘째, 참조집단을 중심으로 국내항만들이 클러스터링 할 수 있는 벤치마킹항만들을 제시한다. 또한 클러스터링 후의 효율성 변화를 측정한다. 셋째, 전체년도를 대상으로 하여, 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 이용하여 효율적인 항만을 중심으로, 클러스터링 추세분석을 제시하고자 한다. 넷째, 두 가지 교차효율성 모형을 이용하여 효율성을 측정하고, 효율성 수치의 상관계수 값을 도출하여 Sarkis and Talluri(2004: 341)이 제시한 방법(척도 조정된 거리군집조합 방법)으로 클러스터링을 측정한다. 다섯째, 전체년도를 대상으로 하여 교차효율성모형을 이용하여 클러스터링을 측정한다. 또한 클러스터링 후의 효율성 변화를 측정한다. 여

표 3. 아시아 항만들의 클러스터링 측정을 위해 개발된 모형

모형	대상기간	산출요소	투입요소	대상항만 수
퍼지(평균지수변환)DEA 모형과 교차효율성 모형	2000~2012	컨테이너화물처리량 (TEU)	선석길이(m)	456개
			수심(m)	
			총면적(평방미터)	
			크레인수(개)	

첫째, 위의 실증분석결과에 의거하여 여러 가지 측면에서 양 측정방법을 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 Fakkan, 10. Aden, 11. Hongkong, 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(201537)에 제시하였다.

2) 퍼지(평균지수변환)DEA 모형을 이용한 투입지향모형(CCR, 규모수확 불변)에 대한 효율성 측정 및 참조집단을 통한 클러스터링 결과(2010년도 자료이용)

〈표 4〉에는 2010년도 퍼지(평균지수변환)DEA모형으로 산출한 자료에 의한 CCR효율성 및 퍼지(평균지수변환모형)DEA의 λ 수치별 효율성 측정결과를 제시하였다. λ 값의 변화에 따른 효율성 수치의 측정에 관한 실증분석은 임성묵(2008)의 연구에서 사용된 Excel프로그램(임성묵교수가 직접 프로그래밍화 함)을 이용하였다.

〈표 4〉에서 λ 값은 퍼지숫자 값에 대한 의사결정자의 낙관-비관정도를 표현하는 매개변수이다. 즉, λ 값(0, 0.25, 0.50, 0.75, 1)의 숫자가 클수록 낙관적인 것을 의미한다.

표 4. 퍼지(평균지수변환)DEA자료에 의한 CCR효율성 및 퍼지(평균지수변환모형)DEA의 λ 수치별 효율성 측정결과
[2009년과 2010년의 퍼지(평균지수변환)DEA모형자료 이용]

항만/구분	퍼지자료에 의한 일반 CCR효율성 수치	퍼지(평균지수변환모형)DEA의 람다별 효율성 수치					평균
		$\lambda=0$	$\lambda=0.25$	$\lambda=0.5$	$\lambda=0.75$	$\lambda=1$	
1	0.3050	0.6292	0.6325	0.6322	0.5867	0.5641	0.6089
2	0.1495	0.4210	0.3905	0.3104	0.2689	0.2331	0.3248
3	0.3418	0.9163	0.9358	0.9410	0.8101	0.7666	0.8740
4	0.2141	0.6301	0.5858	0.5774	0.7227	1	0.7032
5	0.1075	0.6913	0.5997	0.5921	0.4665	0.3924	0.5484
6	0.3156	1	0.9140	0.8331	0.7062	0.6374	0.8181
7	0.2724	0.7068	0.6829	0.5632	0.5012	0.4258	0.5760
8	0.9002	0.6974	0.5437	0.3498	0.2673	0.2273	0.4171
9	0.5040	0.5634	0.6581	0.5951	0.5499	0.4676	0.5668
10	0.0758	0.5144	0.3349	0.3536	0.2824	0.2430	0.3457
11	1	0.4720	0.6663	0.7171	0.7425	0.7574	0.6711
12	1	1	1	1	1	1	1
13	0.8312	0.5507	0.6511	0.7379	0.6555	0.6242	0.6439
14	1	0.2836	0.2155	0.2131	0.1700	0.1418	0.2048
15	0.7856	0.5197	0.5850	0.5547	0.5391	0.5188	0.5435
16	0.4904	0.3075	0.3086	0.3069	0.2884	0.2836	0.2990

항만/구분	퍼지자료에 의한 일반 CCR효율성 수치	퍼지(평균지수변환모형)DEA의 램다별 효율성 수치					평균
		$\lambda=0$	$\lambda=0.25$	$\lambda=0.5$	$\lambda=0.75$	$\lambda=1$	
17	0.5279	0.5533	0.5623	0.6026	0.6513	0.6720	0.6083
18	0.4154	0.5577	0.5776	0.5842	0.6058	0.6328	0.5916
19	0.3159	0.4471	0.4714	0.4577	0.4595	0.4529	0.4577
20	0.2153	0.4468	0.4496	0.4485	0.4059	0.3968	0.4295
21	0.1713	0.4556	0.4846	0.4372	0.3958	0.3579	0.4262
22	0.2130	1	0.7889	0.5100	0.4125	0.3563	0.6135
23	0.1118	0.3247	0.3032	0.3039	0.2749	0.2575	0.2928
24	0.5793	0.5876	0.6450	0.6284	0.6065	0.5839	0.6103
25	0.2327	0.2722	0.2499	0.2284	0.2232	0.2170	0.2381
26	0.1636	0.3951	0.3959	0.3920	0.3390	0.3144	0.3673
27	0.4730	0.4167	0.6615	1	1	1	0.8156
28	0.8892	0.6158	0.6954	0.7168	0.7299	0.6773	0.6870
29	0.3388	0.6062	0.7384	0.7127	0.6984	0.6143	0.6740
30	0.3863	0.6274	0.8105	0.8110	0.8113	0.6562	0.7433
31	0.0726	0.3063	0.4037	0.4497	0.4818	0.5086	0.4300
32	0.1729	0.2331	0.2669	0.2563	0.2508	0.2189	0.2452
33	1	1	0.6934	0.6602	0.6290	0.5783	0.7122
34	0.3861	0.4712	0.6934	0.6602	0.6290	0.5783	0.6064
35	0.2287	0.1921	0.1813	0.1636	0.1544	0.1493	0.1681
36	0.6500	0.2257	0.2258	0.2243	0.2026	0.1919	0.2141
37	0.2323	0.4475	0.4598	0.4706	0.4464	0.4304	0.4509
38	0.1607	0.2176	0.3076	0.3940	0.4808	0.5669	0.3934

실증분석의 주요한 결과를 살펴보면, 첫째, 퍼지(평균지수변환)자료에 의한 일반 CCR모형에 의한 국내항만들의 효율성을 살펴보면, 24번 부산항, 25번 인천항, 26번 광양항의 순서로 나타났다. 둘째, λ 값의 변화를 통해서 도출한 평균효율성의 값이 부산항과 인천항은 일반 CCR모형의 효율성 수치보다 작게 나타났으며, 광양항은 그 값이 더 크게 나타났다. 셋째, 부산항은 아시아 컨테이너항만들과의 경쟁에서 우위를 가지고 있지만, 인천항과 광양항은 그렇지 못한 것으로 나타났다.

3) 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 항만의 클러스터링 측정

(1) 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 클러스터링에 관한 실증분석 결과

〈표 5〉에는 12년 동안의 퍼지(평균지수변환) DEA 모형에 의한 클러스터링 측정결과를 제시하였다. 단, 여기에서 2001년이 누락된 이유는 2001년과 2002년 자료를 퍼지(평균지수변환)DEA모형으로 새로운 2002년 자료를 생성시켰기 때문이다.

단, λ 값은 0.75로 주어진 경우의 퍼지(평균지수변환)DEA 자료를 생성시킨 후에 그러한 자료를 이

표 5. 12년 동안의 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 클러스터링 측정결과
 [숫자는 클러스터링 할 수 있는 벤치마킹(참조집단) 항만번호를 표시함]

항만/ 구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	12,15	12	2,13	8,18,36	12	12	14	14	14	27	27
2	12	12	2	11,15,35	12	12	14	14	14	27	14,27
3	12,15	12	2,13	18,33	12	12	14	14	14	27	27
4	12	12,33	2,13	11,15,33	12	12	11,12,14,33	12,14	14	27	14,27
5	12	12	2,13	13,18,33	12	12	14	14	14	27	14,27
6	12,15,37	12	11,13	18,33	12	12	11,12,14	14	14	27	27
7	12,15	12	2,13	15,33	12	12	14	14	14	27	27
8	12,33	12,33,38	8	11,18,33	12	12	12,14,33	12,14,33	12,14	27	27
9	12	12	2,13	11,15,35	12	12	14	14	14	27	14,27
10	12,15	12	2,13	11,15,33	12	12	14	14	14	27	27
11	12,33	12,33,38	11	11	12	12	11	11	11	27	27
12	12	12	12	11,33	12	12	12	12	12	27	27
13	12	12	13	18,33	12	12	11,12,14	13	12,14,33	27	27
14	12	12	11,13	11,18,35	12	12	14	14	14	27	14
15	15	12	11,13	15	12	12	11,14,33	11,14,33	11,14	27	27
16	12	12	2,13	11,18,35	12	12	14	14	14	27	27
17	12	12,33,38	11,13	18,33	12	12	11,12,14	12,14	14	27	27
18	12	12	18	18	12	12	11,12,14	12,14	14	27	27
19	12	12	11,13	11,18,35	12	12	11,12,14,33	11,12,14,33	11,13,14	27	27
20	12,33	12,33,38	11,13	11,18,36	12	12	11,12,14	11,12,13,14	12,14,33	27	14,27
21	12,33	12,33	2,13	11,18,35	12	12	11,12,14,33	12,14	11,12,14,33	27	14,27
22	12,33	12,33	2,13	11,18,35	12	12	11,14,33	12,14,33	14	27	14,27
23	12	12,33	2,13	11,18,35,36	12	12	11,12,14	11,12,13,14	11,12,14,33	27	14,27
24	12,33	12,33,38	11,13	11,36	12	12	11,12,14,33	11,12,13	11,12,33	27	27
25	12	12	2,13	11,18,35	12	12	14	14	14	27	14,27
26	12,15	12	2,13	11,18,36	12	12	14	14	14	27	14,27
27	12,33	12,33	11,13	11,15,35	12	12	11,12,14,33	11,12,14,33	12,14,33	27	27
28	12,15,33	12	11,13	11,18,33	12	12	11,12,14	14	14	27	27
29	12	12	2,13	11,15,35	12	12	14	14	14	27	27
30	12,15	12	2,13	11,13,33	12	12	14	14	14	27	27
31	12,33	12,33,38	11,13	11,36	12	12	11,12,14,33	11,13,14	11,14,33	27	27
32	12	12	11,13	15,33	12	12	14	14	14	27	14,27
33	33	33	33	33	12	12	33	33	33	27	14,27
34	12	12	2,13	11,15,35	12	12	14	14	14	27	27
35	12	12	35	35	12	12	14	14	14	27	14,27

항만/ 구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
36	12,33	12,33,38	11,13	36	12	12	11,14	11,13,14	11,14,33	27	14,27
37	12	12	11,13	11,36	12	12	11,12,14,33	11,12,14,33	12,14,33	27	14,27
38	12	38	2,13	18,36	12	12	11,14	14	11,12,14	27	27

용하여 일반 투입지향 불변수확하의 CCR모형으로 측정하였다. 왜냐하면, 자료에 대하여 연구자가 비교적 낙관적으로 판단하기 때문이다. 실증분석결과를 통해서, 국내항만들의 클러스터링을 중심으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 부산항의 경우에는 11번, 12번, 13번, 14번, 27번, 33번, 36번, 38번 항만들과 클러스터링을 하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

둘째, 인천항의 경우에는 2번, 11번, 12번, 13번, 14번, 18번, 27번, 35번 항만들과 클러스터링을 하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 광양항과 거의 동일한 결과를 보였다.

셋째, 광양항의 경우에는 2번, 11번, 12번, 13번, 14번, 18번, 27번, 36번 항만들과 클러스터링을 하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 인천항과 동일한 결과를 보였다.

넷째, 국내항만들은 홍콩항, 상해항, 광저우항, 닝보항, 포트클랑항, 싱가포르항, 카오슝항,基隆항, 링차방항, 방콕항과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

(2) 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 클러스터링 후의 국내항만들의 효율성 변화 측정

〈표 6〉에는 퍼지(평균지수변환)DEA모형으로 생성시킨 자료에 의한 CCR효율성 측정후에 참조집단을 고려한 클러스터링 측정결과를 제시하였다. 단, 여기서는 클러스터링 전의 참조집단으로 나타난 홍콩항, 상해항, 닝보항을 함께 제거하는 방식으로 클러스터링을 한 후의 측정결과임을 밝혀 둔다. 그 이유는 참조집단이 제거되면, DEA모형의 특성상 효율성이 증대되지만, 그러한 참조집단들과 가상적으로 클러스터링 하는 것이므로, 참조집단이 제거되는 것이 타당하다고 사료되었기 때문이다. 주목할 만한 결과는 다음과 같다.

첫째, 부산항은 1차적으로 홍콩항, 상해항, 싱가포르항과 클러스터링을 하는 것이 효율성을 약 72.6%가량 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

둘째, 인천항은 1차적으로 닝보항과 클러스터링을 하는 것이 효율성을 약 36.3%만큼 향상시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 2차적으로 두바이항과 클러스터링 하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

표 6. 퍼지(평균지수변환)DEA 모형으로 생성시킨 자료(투입지향, 규모수확불변, λ 값이 0.75인 조건)에 의한 클러스터링 측정결과(2010년 자료)

국내항만 번호 및 항만명	클러스터링 전의 효율성	클러스터링 전의 참조집단과 람다값	클러스터링 후의 효율성 수치	클러스터링 후의 참조집단과 람다값
24. 부산항	0.57930	11;0.333, 12;0.018, 33;0.197	1	24; 1.0
25. 인천항	0.2327	14;0.145	0.3171	8;0.158
26. 광양항	0.162	14;0.122	0.1821	8;0.176

셋째, 광양항은 1차적으로 Ningbo항과 클러스터링을 하는 것이 효율성을 약12.4%만큼 향상시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 2차적으로 두바이항과 클러스터링 하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

(3) 퍼지(평균지수변환)DEA모형으로 생성시킨 자료에 의한 12년간의 효율성 측정과 클러스터링에 관한 실증분석 결과

〈표 7〉은 12년 동안의 퍼지(평균지수변환)DEA 모형에 의한 효율성 수치와 함께 국내 항만들의 클러스터링 후의 효율성변화를 제시하였다. 전체적인 추세를 보면, 중국항만들(11번-15번), 33번 싱가포르

르 항만, 36번 카오슝항만들의 효율성이 높게 나타났다. 즉, 부산항은 평균적으로 보면 0.4971에서 클러스터링 후에 0.7769로 56.29%만큼 효율성이 증대되었으며, 인천항은 0.2565에서 클러스터링 후에 0.4052로 57.96%만큼 증대되었고, 광양항은 0.2312에서 클러스터링 후에 0.3856로 66.80%만큼 효율성이 증대되었다. 요컨대, 클러스터링 후에 광양항, 인천항, 부산항의 순서로 효율성이 증대되었다. 따라서, 부산항, 인천항, 광양항은 〈표 9〉에서 년도별로 같은 클러스터링 영역에 속한 항만들끼리 클러스터링을 고려하는 것이 효율성을 높이는데 좋을 것으로 판단된다.

표 7. 퍼지(평균지수변환)DEA 모형으로 생성시킨 자료에 의한 12년간의 효율성 측정 (투입지항, 규모수확불변, λ값이 0.75인 조건)

항만/구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	0.3133	0.1799	0.7311	0.2151	0.0599	0.1801	0.2928	0.2246	0.3050	0.0669	0.1557
2	0.8616	0.7336	1	0.2321	0.0427	0.1915	0.1736	0.1659	0.1495	0.0577	0.0813
3	0.1269	0.1076	0.6195	0.2096	0.0271	0.1338	0.2595	0.3518	0.3418	0.0578	0.1275
4	0.354	0.0242	0.2223	0.0393	0.0078	0.0506	0.0717	0.0877	0.2141	0.0345	0.0657
5	0.1151	0.1120	0.6767	0.1003	0.0099	0.0481	0.0690	0.1118	0.1075	0.0469	0.0886
6	0.1240	0.1242	0.5342	0.3514	0.1048	0.2659	0.2939	0.3681	0.3156	0.0569	0.1777
7	0.1406	0.1378	0.6391	0.1920	0.0371	0.1789	0.1699	0.2680	0.2724	0.0651	0.1688
8	0.4044	0.3811		0.6329	0.0820	0.4649	0.7757	0.9670	0.9002	0.1329	0.2971
9	0.4346	0.3673	0.9097	0.7196	0.0861	0.3821	0.3761	0.5766	0.5040	0.1888	0.3386
10	0.1182	0.0420	0.4151	0.0812	0.0177	0.0962	0.0829	0.0865	0.0758	0.0095	0.0253
11	0.3818	0.9661	1	1	0.1665	0.6205	1	1	1	0.2149	0.4978
12	1	1	1	0.9697	1	1	1	1	1	0.2851	0.7727
13	0.9826	0.9011	1	0.5399	0.1027	0.5183	0.9567	1	0.8312	0.1476	0.4192
14	0.2408	0.2639	0.8696	0.9170	0.1741	0.9880	1	1	1	0.6948	1
15	1	0.3019	0.9425	1	0.0869	0.5541	0.7559	0.8184	0.7856	0.2946	0.3995
16	0.2877	0.2165	0.8060	0.6139	0.1515	0.5849	0.8379	0.9078	0.4904	0.1855	0.2705
17	0.9570	0.2770	0.5590	0.4303	0.0577	0.1985	0.3619	0.3841	0.5279	0.1230	0.2708
18	0.4777	0.6512	1	1	0.0298	0.1390	0.2405	0.2672	0.4154	0.1156	0.2127
19	0.3150	0.2779	0.8813	0.4581	0.0706	0.2394	0.3032	0.3088	0.3159	0.1367	0.1726
20	0.2030	0.1709	0.6705	0.2752	0.0428	0.1648	0.2891	0.2507	0.2153	0.0544	0.1226

항만/ 구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
21	0.1641	0.1385	0.6638	0.2338	0.0347	0.1532	0.1968	0.1964	0.1713	0.0411	0.0763	
22	0.1944	0.1621	0.7254	0.2888	0.0341	0.1507	0.2014	0.1937	0.2130	0.0626	0.1529	
23	0.1899	0.1328	0.6998	0.2332	0.0357	0.1543	0.2061	0.1837	0.1118	0.0478	0.1162	
24	전	0.6537	0.6193	0.8754	0.6248	0.0692	0.2672	0.6728	0.6195	0.5793	0.1277	0.3594
	후	1.0	0.6791	0.9153	0.6766	0.4028	0.6624	1.0	0.8862	1.0	0.6361	0.6877
25	전	0.2104	0.1715	0.7355	0.2975	0.0527	0.2672	0.2699	0.2678	0.2327	0.1203	0.1960
	후	0.3288	0.3582	0.7500	0.3232	0.3236	0.2878	0.4740	0.4714	0.3717	0.2209	0.5472
26	전	0.3852	0.3513	0.6460	0.2277	0.0410	0.1395	0.1836	0.1937	0.1636	0.0595	0.1521
	후	0.7337	0.8118	0.6577	0.2549	0.2582	0.2026	0.2678	0.2680	0.1820	0.2240	0.3813
27	0.3991	0.3380	0.8739	0.4358	0.0783	0.3393	0.5109	0.5328	0.4730	1	1	
28	0.2964	0.3264	0.8346	0.7316	0.0956	0.3772	0.4811	0.8554	0.8892	0.1343	0.2728	
29	0.2078	0.1098	0.7332	0.3578	0.0616	0.2906	0.2139	0.3374	0.3388	0.0952	0.1471	
30	0.0974	0.1097	0.6878	0.2655	0.0507	0.2467	0.2035	0.3836	0.3863	0.0946	0.1870	
31	0.3263	0.2688	0.6384	0.2647	0.0337	0.1846	0.4029	0.3269	0.0726	0.0631	0.1364	
32	0.3043	0.4206	0.8630	0.5482	0.0856	0.4093	0.1930	0.1507	0.1729	0.1356	0.2001	
33	1	1	1	1	0.1676	0.5612	1	1	1	0.2435	0.6846	
34	0.7783	0.4071	0.9001	0.3670	0.1173	0.5958	0.5379	0.5413	0.3861	0.1779	0.2341	
35	0.5957	0.4586	1	1	0.3561	0.4095	0.3019	0.2542	0.2287	0.1661	0.2911	
36	0.7957	0.6612	0.9639	1	0.1552	0.6070	0.8118	0.8066	0.6500	0.2293	0.4739	
37	0.4839	0.3450	0.6873	0.2142	0.0256	0.0878	0.2354	0.2661	0.2323	0.0448	0.1263	
38	0.2488	1	0.6539	0.3000	0.0479	0.1741	0.2152	0.2072	0.1607	0.0542	0.0877	

4) 원 자료와 퍼지(평균지수변환)DEA 접목시킨 자료에 의한 교차효율성 모형을 이용한 항만의 클러스터링 측정

〈표 8〉은 원래의 자료에 의한 교차효율성 모형을 이용한 항만의 클러스터링 분석은 다음과 같은 순서로 진행을 하였다. 첫째, 년도 별 교차효율성을 측정하였다. 둘째, 년도 별 교차효율성을 측정하는 과정에서 교차효율성 매트릭스(가로 38개, 세로 38개)를 도출하였다. 셋째, 교차효율성 매트릭스 수치를 이용하여 상관분석을 실시하고, 상관계수 값을 도출하였다. 넷째, 상관계수 값을 이용하여 분류분석 중에서 계층적 군집분석을 실시하여 평균연결을

사용한 덴드로그램을 도출하였다. 다섯째, 덴드로그램의 군집 형태에 따라서 국내항만들의 클러스터링을 단계별로 제시하였다.

〈표 8〉에는 원 자료인 12년 동안의 교차효율성 모형에 의한 교차 효율성 수치를 제시하였다. 다음과 같은 점들에 주목할 필요가 있다. 첫째, 상해항을 포함하여 중국항만들의 효율성 수치가 평균적으로 높게 나타났다. 즉, 표에는 직접 표시하지 않았지만, 11번 홍콩항(61.39%), 12번 상해항(78.19%), 13번 광저우항(54.05%), 14번 Ningbo항(62.09%), 15번 칭타오항(50.14%), 둘째, 싱가포르항(60.76%), 카오슝항(50.49%)의 평균효율성이 비교적 높게 나타났다. 셋째, 국내항만 중에서는 부산항(35.61%), 인천

표 8. 교차효율성모형에 의한 효율성 측정결과

항만/ 구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	0,146	0,219	0,097	0,355	0,146	0,085	0,211	0,187	0,230	0,230	0,047	0,175
2	0,267	0,426	0,284	0,179	0,172	0,020	0,134	0,123	0,136	0,134	0,020	0,097
3	0,092	0,084	0,059	0,138	0,132	0,018	0,087	0,121	0,243	0,173	0,029	0,102
4	0,091	0,165	0,017	0,030	0,037	0,005	0,061	0,056	0,076	0,258	0,019	0,067
5	0,063	0,074	0,061	0,132	0,066	0,008	0,042	0,052	0,070	0,066	0,024	0,059
6	0,075	0,080	0,084	0,228	0,251	0,090	0,271	0,226	0,291	0,236	0,035	0,235
7	0,099	0,098	0,080	0,127	0,156	0,020	0,157	0,122	0,192	0,186	0,035	0,183
8	0,272	0,275	0,270	0,762	0,524	0,051	0,569	0,589	0,785	0,814	0,058	0,375
9	0,297	0,290	0,220	0,490	0,600	0,041	0,305	0,276	0,446	0,350	0,076	0,388
10	0,089	0,088	0,020	0,066	0,068	0,010	0,070	0,061	0,066	0,056	0,004	0,031
11	0,881	0,050	0,717	0,968	0,933	0,108	0,812	0,705	0,722	0,702	0,093	0,678
12	0,938	1	0,990	0,789	0,715	1	0,645	0,707	0,763	0,844	0,134	0,857
13	0,541	0,603	0,476	0,931	0,380	0,064	0,665	0,720	0,769	0,621	0,102	0,614
14	0,163	0,207	0,220	0,725	0,787	0,125	1	0,985	0,960	0,988	0,302	0,989
15	0,530	0,538	0,240	0,625	0,780	0,049	0,665	0,543	0,603	0,641	0,101	0,703
16	0,195	0,187	0,121	0,289	0,426	0,093	0,322	0,326	0,410	0,322	0,057	0,264
17	0,493	0,445	0,177	0,259	0,236	0,039	0,290	0,292	0,341	0,454	0,060	0,399
18	0,239	0,293	0,253	0,601	0,681	0,015	0,203	0,201	0,227	0,359	0,076	0,250
19	0,251	0,249	0,220	0,363	0,412	0,050	0,266	0,236	0,255	0,289	0,045	0,278
20	0,142	0,132	0,115	0,193	0,182	0,030	0,235	0,221	0,192	0,184	0,032	0,146
21	0,082	0,124	0,101	0,186	0,211	0,026	0,178	0,165	0,174	0,129	0,019	0,111
22	0,168	0,161	0,129	0,213	0,270	0,023	0,186	0,125	0,139	0,189	0,039	0,187
23	0,226	0,139	0,108	0,208	0,189	0,027	0,193	0,166	0,147	0,082	0,028	0,123
24	0,420	0,370	0,319	0,418	0,491	0,047	0,485	0,456	0,378	0,363	0,065	0,461
25	0,155	0,156	0,113	0,180	0,268	0,039	0,230	0,200	0,219	0,201	0,058	0,177
26	0,429	0,220	0,180	0,148	0,183	0,027	0,150	0,141	0,160	0,143	0,040	0,146
27	0,280	0,328	0,260	0,337	0,404	0,047	0,403	0,397	0,401	0,339	1	0,398
28	0,208	0,230	0,232	0,536	0,572	0,069	0,467	0,441	0,683	0,627	0,063	0,382
29	0,178	0,150	0,063	0,301	0,270	0,029	0,190	0,153	0,251	0,228	0,034	0,1667
30	0,065	0,071	0,071	0,181	0,207	0,033	0,153	0,133	0,260	0,225	0,034	0,172
31	0,148	0,149	0,129	0,181	0,196	0,024	0,338	0,295	0,191	0,006	0,029	0,214
32	0,106	0,205	0,175	0,275	0,247	0,044	0,149	0,104	0,094	0,106	0,045	0,133
33	0,755	0,677	0,608	0,723	0,996	0,104	0,686	0,693	0,535	0,668	0,146	0,702
34	0,359	0,514	0,197	0,241	0,293	0,056	0,356	0,313	0,394	0,335	0,056	0,328
35	0,405	0,360	0,265	0,574	0,850	0,189	0,296	0,223	0,179	0,167	0,060	0,190
36	0,477	0,487	0,456	0,634	0,891	0,109	0,779	0,627	0,573	0,461	0,116	0,448
37	0,709	0,280	0,234	0,180	0,161	0,018	0,160	0,166	0,185	0,171	0,032	0,172
38	0,197	0,174	0,094	0,179	0,226	0,031	0,192	0,156	0,136	0,153	0,028	0,118

항(16.63%), 광양항(16.39%)은 낮은 평균교차효율성을 보였다.

〈표 9〉에는 퍼지(평균지수변환)DEA모형에서 도출된 자료를 접목시킨 교차 효율성 측정결과를 제시하였다. 다음과 같은 점들에 주목할 필요가 있다. 첫째, 상해항을 포함하여 중국항만들의 효율성 수치가 평균적으로 높게 나타났다. 즉, 11번 홍콩항(56.29%), 12번 상해항(78.95%), 13번 광저우항(50.41%), 14번 닝보항(67.74%), 15번 칭타오항(50.14%), 둘째, 싱가포르항(59.17%), 카오슝항(52.03%)이 평균효율성

이 비교적 높게 나타났다. 둘째, 국내항만 중에서는 부산항(35.90%), 인천항(21.66%), 광양항(17.86%)의 낮은 평균교차효율성을 보였다. 셋째, 24번 부산항, 25번 인천항, 26번 광양항은 두 개의 효율성을 제시하고 있는데, 위쪽의 자료는 클러스터링 전의 자료이고, 아래 쪽의 자료는 클러스터링 후의 자료이다. 클러스터링 전과 후의 평균효율성을 살펴보면, 부산항은 71.38% 증가, 인천항은 103.89%증가, 광양항은 168.55%증가되었다. 여기서는 〈표 9〉에 제시한 클러스터링 결과로 나타난 항만그룹 내에서의

표 9. 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 접목시킨 경우의 교차효율성모형에 의한 효율성 측정결과

항만/구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	0.1991	0.1214	0.6979	0.1834	0.0381	0.1777	0.1924	0.2004	0.2397	0.0595	0.1242
2	0.4630	0.3126	0.8868	0.1741	0.0273	0.1621	0.1322	0.1343	0.1385	0.0461	0.0643
3	0.0881	0.0662	0.5402	0.1531	0.0223	0.0852	0.0966	0.2058	0.2015	0.0358	0.0776
4	0.1851	0.0214	0.1968	0.0366	0.0064	0.0451	0.0585	0.0740	0.1506	0.0275	0.0486
5	0.0754	0.0641	0.5884	0.0851	0.0098	0.0456	0.0473	0.0684	0.0714	0.0279	0.0514
6	0.0791	0.0887	0.5131	0.2794	0.0768	0.1693	0.2284	0.2846	0.2562	0.0415	0.1353
7	0.1010	0.0878	0.5779	0.1514	0.0272	0.1641	0.1280	0.1800	0.1992	0.0560	0.1225
8	0.2766	0.2789	0.8234	0.5938	0.0685	0.4088	0.5958	0.7782	0.8493	0.1136	0.1900
9	0.3061	0.2380	0.8736	0.5974	0.0622	0.3473	0.2828	0.4053	0.3876	0.1469	0.2672
10	0.0882	0.0321	0.3661	0.0689	0.0123	0.0833	0.0643	0.0668	0.0598	0.0084	0.0181
11	0.2694	0.6396	0.9912	0.9884	0.1380	0.5717	0.7795	0.6258	0.7171	0.1660	0.3057
12	1	1	0.9194	0.8112	1	1	0.6882	0.8728	0.8728	0.1256	0.4602
13	0.6321	0.5055	0.9929	0.4787	0.0629	0.2971	0.7114	0.6585	0.6585	0.1076	0.3483
14	0.2039	0.2234	0.8561	0.8298	0.1491	0.9171	1	0.9789	0.9789	0.5489	0.7585
15	0.5260	0.2735	0.9031	0.7189	0.0703	0.4932	0.5950	0.6535	0.6535	0.2182	0.3733
16	0.1956	0.1293	0.7409	0.4421	0.0991	0.3996	0.2936	0.3377	0.3377	0.1359	0.1876
17	0.4555	0.2140	0.5454	0.2949	0.0418	0.1909	0.2929	0.4363	0.4363	0.0900	0.2175
18	0.2876	0.2496	0.8138	0.8052	0.0257	0.1329	0.2031	0.3378	0.3378	0.1048	0.1785
19	0.2623	0.2309	0.8331	0.4235	0.0615	0.2216	0.2499	0.2881	0.2880	0.1017	0.1551
20	0.1393	0.1242	0.6190	0.2136	0.0326	0.1459	0.2271	0.1882	0.1882	0.0459	0.0944
21	0.1135	0.1112	0.6131	0.2190	0.0315	0.1433	0.1706	0.1396	0.1396	0.0347	0.0631
22	0.1678	0.1399	0.6748	0.2714	0.0294	0.1367	0.1396	0.1888	0.1888	0.0546	0.1228
23	0.1604	0.1168	0.6477	0.2098	0.0315	0.1486	0.1766	0.0967	0.0967	0.0338	0.0837

항만/ 구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
24	0.3837	0.3599	0.8277	0.5117	0.0581	0.2591	0.4789	0.3727	0.3727	0.1003	0.2243
	0.6424	0.5689	0.8514	0.7275	0.4018	0.2660	0.6534	0.6045	0.5043	0.8003	0.7473
25	0.1607	0.1234	0.6730	0.2597	0.0466	0.2509	0.2103	0.2053	0.2053	0.1055	0.1415
	0.6234	0.3175	0.8514	0.3012	0.7814	0.2660	0.8181	0.2546	0.2845	0.1903	0.1686
26	0.2525	0.1958	0.5966	0.1949	0.0301	0.1144	0.1424	0.1478	0.1478	0.0293	0.1128
	0.9394	1	0.8514	0.2036	0.1285	0.2660	0.8254	0.1603	0.1744	0.3430	0.3834
27	0.3332	0.2832	0.8253	0.4021	0.0600	0.3067	0.4144	0.3631	0.3631	1	1
28	0.2284	0.2396	0.8197	0.6284	0.0847	0.3720	0.4388	0.6689	0.6689	0.1107	0.2167
29	0.1615	0.0811	0.6775	0.2824	0.0409	0.2494	0.1610	0.2304	0.2464	0.0720	0.1128
30	0.0718	0.0735	0.6249	0.2077	0.0409	0.2194	0.1331	0.2266	0.2510	0.0703	0.1173
31	0.1549	0.1421	0.5828	0.2068	0.0283	0.1815	0.3144	0.2094	0.0432	0.0475	0.1006
32	0.1806	0.1971	0.7664	0.2508	0.0599	0.3383	0.1083	0.0915	0.1048	0.1019	0.1138
33	0.6880	0.7084	0.9264	0.9458	0.1371	0.4866	0.7120	0.6093	0.6807	0.1761	0.4386
34	0.4914	0.2378	0.8242	0.2807	0.0705	0.4889	0.3492	0.3714	0.3573	0.1272	0.1899
35	0.3935	0.2751	0.9083	0.7940	0.2062	0.3863	0.2472	0.1822	0.1665	0.1323	0.1491
36	0.4993	0.4797	0.9330	0.8609	0.1309	0.5932	0.6841	0.5683	0.4751	0.1924	0.3069
37	0.3453	0.2471	0.6354	0.1814	0.0215	0.0855	0.1700	0.1813	0.1761	0.0403	0.1000
38	0.1875	0.3888	0.5983	0.2320	0.0350	0.1241	0.1650	0.1357	0.1417	0.0446	0.0743

효율성 측정결과임을 밝혀 둔다.

[그림 1]에는 Sarkis and Talluri(2004, p.341)가 제시한 방법대로, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의거하여 도출된 자료를 이용한 2010년도 교차효율성 상관관계수 값에 의해서 도출된 덴드로그램이다. 국내항만들의 경우를 대표적으로 설명해 보면 다음과 같다. 첫째, 부산항(24번)의 경우에는 1단계로 33번(싱가포르항), 11번(홍콩항), 31번(마닐라항), 36번(카오슝항)항과 클러스터링하고, 2단계로 20번(요코하마항), 38(방콕항), 12번(상하이항), 13번(광저우항), 27번(포트 클랑항), 15번(칭타오항), 23번(오사카항), 21번(코베항), 37번(립 찬방항)항들과 클러스터링하는 것으로 나타났다. 둘째, 인천항(25번)의 경우에는 1단계로 2번(하이파항), 34번(콜롬보항), 2단계로 4번(베이루트항), 29번(카라치항), 7번(담만항), 3번(아카바항), 5번(포트술탄카부스항), 9번(크

호르 파칸항), 30번(포트 모하마드 빈 오아심항), 16번(첸나이항), 10번(아덴항), 28번(탄중 페레파스항), 3단계로 32번(다바오항)항과 클러스터링 하였다. 셋째, 광양항(26번)은 1단계로 22번(나고야항), 8번(두바이항), 19번(동경항), 2단계로 17번(탄중 푸리옥항), 18번(탄중 피락항), 6번(젠다항), 1번(사히드 라자이항)항들과 클러스터링하는 것으로 나타났다.

〈표 10〉은 [그림 1]을 도출한 동일한 방법으로 2002년부터 2012년까지의 11개 년도에 대해서 덴드로그램을 도출한 후에 그러한 덴드로그램에 의거하여 국내항만들에 대한 클러스터링 집단을 제시하였다.

〈표 11〉은 원 자료를 이용하여 [그림 1]을 도출한 동일한 방법으로 2002년부터 2012년까지의 11개 년도에 대해서 덴드로그램을 도출한 후에 그러한 덴드로그램에 의거하여 국내항만들에 대한 클러스터링 집단을 제시하였다.

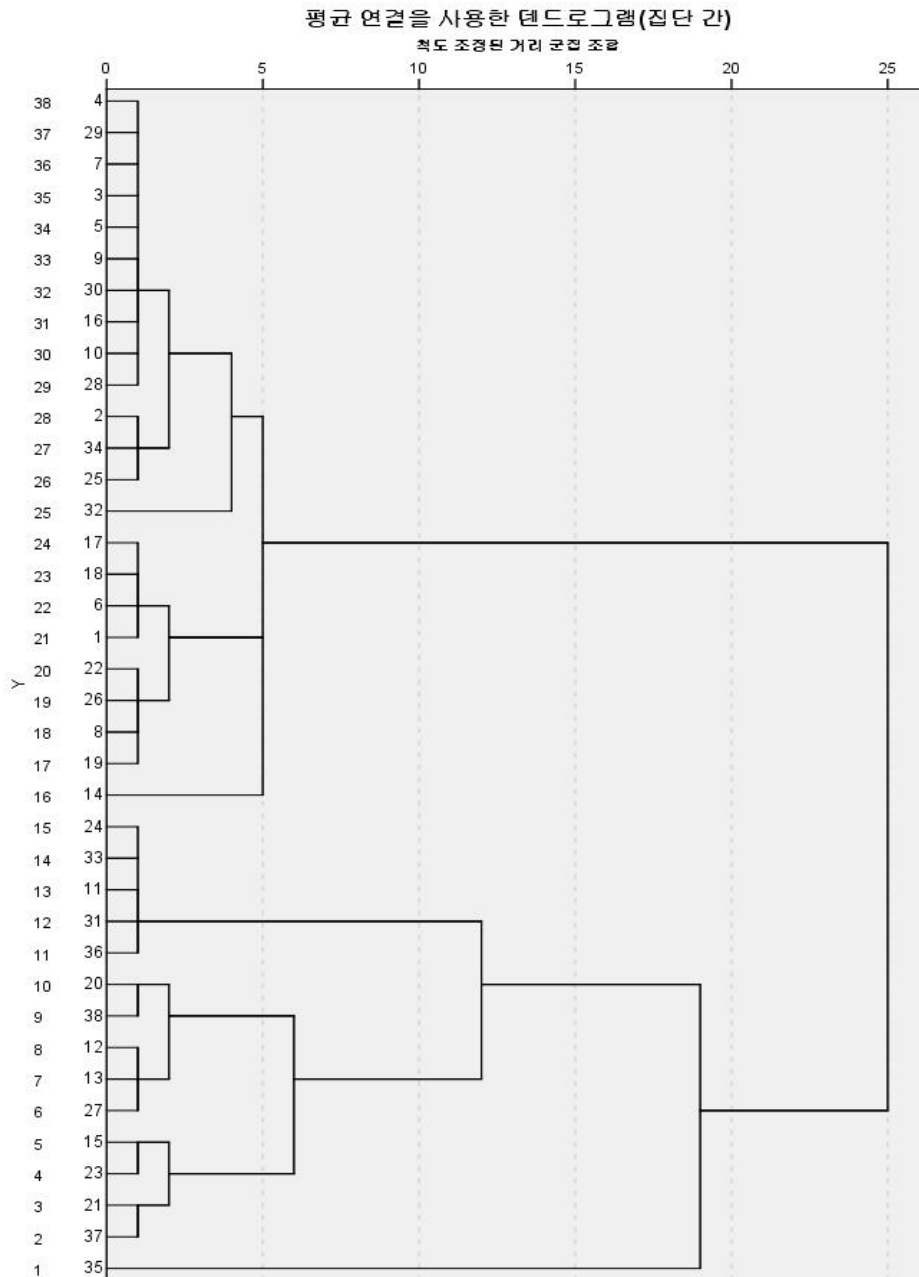


그림 1. 교차효율성 매트릭스의 상관계수 값에 의거한 클러스터링을 보여주는 덴드로그램 (2010년 자료)

표 11. 원 자료를 이용한 교차효율성 모형에 의한 국내항만들의 클러스터링
[교차효율성 상관계수에 의한 덴드로그램에 의거함]

연도	단계	클러스터링 항만 번호(표 4)에 표시된 항만 번호임]		
		24번 부산항	25번 인천항	26번 광양항
2001	1	6,24	3,30,25,29,9,10	1,26
	2	15,28	7,14,	3,30,25,29,9,10
	3		1,26	7,14
2002	1	24,36,31,11,20,21,	9,25,29,3,30,32,10,26	9,25,29,3,30,32,10,26
	2	8	7,14	7,14
	3	6,33		
2003	1	31,38,8,17,20,36,11,22,15,4,21,33	34,37,2,25,29,14,19,12,13,9,10,5	30,32,1,26,28,6,7,3
	2	24		
2004	1	24,31	14,25,19	8,26,18
	2	20,23,8,26,18,37,38,36,35	21,22,1,28,5,16	20,23
	3			37,38,36,35
2005	1	24,37	22,25,19,21	1,26,31,38,13
	2	1,26,31,38,13	5,16	24,37
	3			23,35,36,28
2006	1	23,31,36,24,18	19,25,21	26,35,16,20,38,17
	2	19,25,21	23,31,36,24,18	5,6,28,37,13,22,3
2007	1	17,36,20,11,21,19,23,31,24,37,12,18	9,25,5,7	13,28,6,26,38
	2	4,33,27,8,22,15	3,16	4,33,27,8,22,15
	3		29,32,30,35	17,36,20,11,21,19,23,31,24,37,12,18
2008	1	24,37,19,31,27,11,18,21,17	25,35	26,38
	2	4,33,8,15	3,16,32	1
	3	23,36,13,20	9,29,30,5	6,28
2009	1	11,24,	14,25	26,
	2	37,31	3,16,32	20,23,13
	3	36,38	35	12,27,15,33
2010	1	24,33,31,36	25	22,26
	2	21,37,11,	3,5,4,30,7,29,9,16,10	8,19,34
	3	15,23,12,13,20,27	32	2
2011	1	24	2,25,5,32,20,23,4,14,21,36,35,	7,29,38,15,1,18,26,
	2	8,31,27	33,37	9,19,22
	3	11,12		3,10,28,6,16,34,17,30
2012	1	15,19,11,27,21,8,24,36,33,31,37	9,29,30,16,3,5,7,25,10,26,1	9,29,30,16,3,5,7,25,10,26,1
	2	35	32	32
	3		18,22,6,28,34	18,22,6,28,34

5) 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만들의 클러스터링 측정결과 비교분석

퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 모형, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의해서 도출된 자료를 교차효율성 모형에 접목시킨 모형의 측정결과를 첫째, 효율성 측정결과 비교, 둘째, 클러스터링 측정결과, 셋째, 국내항만들의 클러스터링 후의 효율성 변화, 넷째, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 효율성 순위와 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의해서 도출된 자료를 교차효율성 모형에 접목시킨 후 효율성 순위를 윌콕슨부호순위검정을 통해서 세 가지 모형을 서로 비교해 보고자 한다.

(1) 효율성 측정결과 비교분석

세 가지 모형, 즉, 퍼지(평균지수변환)DEA모형, 교차효율성 모형, 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 접목시킨 교차효율성 모형에 대한 효율성 측정결과를 간단하게 비교해 보면 다음과 같다. 즉, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 대한 평균 효율성 수치는 0.3829, 원자료에 의한 교차효율성 수치는 0.2760, 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 접목시킨 교차효율성 수치는 0.3042로 나타났다. 모형별로 평균효율성에서 차이가 나는 이유는 모형의 특성에 기인하는 것으로 추정된다. 특히 원자료를 이용한 교차효율성 수치는 일반적인 CCR모형보다 효율성 수치가 낮아지는 것이 일반적이다.

원자료에 의한 교차효율성 수치는 0.3042로 나타났다. 모형별로 평균효율성에서 차이가 나는 이유는 모형의 특성에 기인하는 것으로 추정된다. 특히 원자료를 이용한 교차효율성 수치는 일반적인 CCR모형보다 효율성 수치가 낮아지는 것이 일반적이다.

(2) 클러스터링 측정결과 비교분석

〈표 12〉에는 퍼지(평균지수변환)DEA 모형과 교차효율성 모형에 의한 클러스터링 측정결과를 각각 제시하였다. 실증분석결과를 살펴보면 다음과 같은 두 가지 특성을 발견할 수 있었다. 첫째, 퍼지(평균지수변환)DEA모형으로 도출한 자료를 교차효율성 모형에 접목시킨 모형이 퍼지DEA모형에 의한 클러스터링을 더 포괄적으로 포함하고 있음을 발견할 수 있었다. 둘째, 퍼지DEA모형을 접목시킨 교차효율성 측정결과에서 2004년도에는 모두 동일하게 나타났다으며, 2007년도에는 부산항과 인천항이 동일하고, 광양항도 거의 동일하게 나타났다. 셋째, 부산항의 경우에는 양 모형에서 동일한 항만이 출현하는 경우가 11개년 중에서 7개년에서 나타났으며,

표 12. 퍼지(평균지수변환)모형, 교차효율성모형, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의해 도출된 자료에 교차효율성 모형을 접목시킨 자료에 의한 클러스터링 측정결과

항만	구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
부산	퍼지DEA	12,33	12,33,38	11,13	11,36	12	12	11,12,14,33	11,12,13	11,12,33	27	27
	교차효율성	24,36,31,11,20,21,8,6,33	31,38,8,17,20,36,11,22,15,4,21,33	24,31,20,23,8,26,18,37,38,36,35	24,37,1,26,31,38,13	23,31,36,24,18,19,25,21	17,36,20,11,21,19,23,31,24,37,12,18	24,37,19,31,27,11,18,21,17	11,24,37,31,36,38	24,33,31,36,21,37,11	24,8,31,27	15,19,11,27,21,8,24,36,33,31,37
	퍼지DEA를 접목시킨 교차효율성	24,36,31,11,20,21,33	31,38,24,11,20,36	〈표12〉내용	24,31,20,37	23,36,24,31	〈표12〉내용,12	21,31,24,37,19,12,18,11	37,24,11,31,20,23,13	24,33,11,31,36	24,11,10,18,7	24,8,31,33,37

항만	구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
인천	폐지DEA	12	12	2,13	11,18,35	12	12	14	14	14	27	14,27
	교차효율성	9,25,29,3,30,32,10,26	34,37,2,25,29,14,19,12,13,9,10,5	14,25,19,21,22,1,28,5,1622,25,19,21,5,16	22,25,19,21,5,16	19,25,21,23,31,36,24,18	9,25,5,7,3,16	25,35,3,16,32,9,29,30,5	14,25,3,16,32,35	25,3,5,4,30,7,29,9,16,10,32	2,25,5,32,20,23,4,14,21,36,35,33,37	9,29,30,16,3,5,7,25,10,26,1
	폐지 DEA를 접목시킨 교차효율성	3,10,30,9,25,29,16	9,25,29,10,5,13	<표 12>내용	14,16,25	19,25,1	<표12>내용 및 12	25,35,3,16,5	16,25,32,35,14,26	2,34,25	25	2,25,14,20,23,4,21,36,27,35
광양	폐지DEA	12,15	12	2,13	11,18,36	12	12	14	14	14	27	14,27
	교차효율성	9,25,29,3,30,32,10,26	30,32,1,26,28,6,7,3	8,26,18,20,23	1,26,31,38,13	26,35,16,20,38,17	13,28,6,26,38,4,33,27,8,22,15	26,38,1,6,28	26,20,23,13,12,27,15,33	22,26,8,19,34,2	7,29,38,15,1,18,26,9,12,22	9,29,30,16,3,5,7,25,10,26,1,32
	폐지 DEA를 접목시킨 교차효율성	1,26	3,30,32,26,32,1,7	<표12>내용	1,26,18,33,36,38	16,20,35,26,18,38,22,28,17,37,13,3,6,12	26,38,3,17,20,1	26,38,1	14,26,	22,26,8,19	26,13,5,23,33,37,12	5,22,26

인천항과 광양항은 각각 4개 년도에서 동일한 항만이 출현하였다. 요컨대, 폐지(평균지수변환)DEA모형과 폐지DEA모형에 의거하여 도출한 자료를 접목시킨 교차효율성모형에 의한 클러스터링결과가 어느 정도의 유사성을 가지고 있음을 확인하였다.

(3) 국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화비교분석

첫째, 폐지(평균지수변환)DEA모형을 이용한 클러스터링 분석에서 부산항은 평균적으로 보면 0.4971에서 클러스터링 후에 0.7769로 56.29%만큼 효율성이 증대되었으며, 인천항은 0.2565에서 클러스터링 후에 0.4052로 57.96%만큼 증대되었고, 광양항은

0.2312에서 클러스터링 후에 0.3856로 66.80%만큼 효율성이 증대되었다.

둘째, 폐지(평균지수변환)DEA모형에 의거하여 도출한 자료를 접목시킨 교차효율성 분석에서는 부산항은 71.38% 증가, 인천항은 103.89%증가, 광양항은 168.55%증가되었다.

셋째, 폐지DEA모형을 접목시킨 자료를 이용한 교차효율성 분석의 클러스터링 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 즉, 도출된 클러스터링 그룹 내에서의 항만들끼리의 클러스터링 후의 효율성 분석에서 효율성이 훨씬 더 큰 폭의 증대가 이루어 졌다.

4) 효율성 순위 비교분석

퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 효율성 분석과 원자료에 의한 교차효율성분석에 의해서 도출된 각 항만 별로 순위를 정하였다. 그러한 순위를 근거로 윌콕스부호순위검정을 실시하였다. 다년도 측정결과 중에서 P값, 유의수준, 귀무가설의 기각여부는 <표 14>에 제시하였다. <표 12>에서는 첫째, P값이 의미 하는 유의확율이 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, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 효율성 순위와 원자료를 이용한 교차효율성분석에 의한 순위에는 차이가 있다고 할 수 없다. 즉, 본 연구에서 사용한 두 개의 모형은 효율성을 측정하는데 유효한 방법이라고 할 수 있다. 둘째, 2005-2006년, 2009-2010년, 2010-2011년도의 유의확율이 다른 년도에 비해서 상대적으로 높게 나타나서, 본 연구에서 사용된 두 가지 모형에 의한 항만별 효율성 순위에 대한 측정결과가 매우 유사함을 보여주

었다. 셋째, 2001-2002년, 2002-2003년, 2006-2007년, 2007-2008년의 유의확율이 상대적으로 낮게 나타났다. 넷째, 평균적으로 보았을 때, P값(유의확율)이 평균 0.6775 수준에서 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위가 서로 일치함을 보여 주었다.

동일한 방법으로 <표 13>에는 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 효율성 순위와 퍼지DEA모형을 접목시킨 자료를 이용한 교차효율성분석에 의한 순위에 의한 윌콕스부호순위검정결과를 제시하였다. 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 첫째, P값이 의미 하는 유의확율이 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, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 효율성 순위와 퍼지DEA모형을 접목시킨 자료를 이용한 교차효율성분석에 의한 순위에는 차이가 있다고 할 수 없다. 즉, 본 연구에서 사용한 두 개의 모형은 효율성을 측정하는데 유효한 방법이라고 할 수 있다. 둘째, 2005-2006년, 2009-2010년도의 유의확율이 다

표 13. 2002년-2012년까지의 윌콕스 부호순위 검정결과
(퍼지(평균지수변환)DEA모형과 원자료에 의한 교차효율성 모형)

측정년도	P값	유의수준	귀무가설의 채택 여부
2001-2002	0.256	0.05	귀무가설 채택
2002-2003	0.230	0.05	귀무가설 채택
2003-2004	0.733	0.05	귀무가설 채택
2004-2005	0.639	0.05	귀무가설 채택
2005-2006	1.000	0.05	귀무가설 채택
2006-2007	0.560	0.05	귀무가설 채택
2007-2008	0.581	0.05	귀무가설 채택
2008-2009	0.827	0.05	귀무가설 채택
2009-2010	0.955	0.05	귀무가설 채택
2010-2011	0.964	0.05	귀무가설 채택
2011-2012	0.708	0.05	귀무가설 채택
평균	0.6775	0.05	귀무가설 채택

표 14. 2002년-2012년까지의 윌콕슨 부호순위 검정결과
 [퍼지(평균지수변환)DEA모형과 퍼지DEA모형에 의해서 도출된 자료를 교차효율성 모형에 접목시킨 모형]

측정년도	P값	유의수준	귀무가설의 채택 여부
2001-2002	0.596	0.05	귀무가설 채택
2002-2003	0.739	0.05	귀무가설 채택
2003-2004	0.422	0.05	귀무가설 채택
2004-2005	0.644	0.05	귀무가설 채택
2005-2006	0.961	0.05	귀무가설 채택
2006-2007	0.482	0.05	귀무가설 채택
2007-2008	0.484	0.05	귀무가설 채택
2008-2009	0.756	0.05	귀무가설 채택
2009-2010	0.913	0.05	귀무가설 채택
2010-2011	0.665	0.05	귀무가설 채택
2011-2012	0.650	0.05	귀무가설 채택
평균	0.6667	0.05	귀무가설 채택

른 년도에 비해서 상대적으로 높게 나타나서, 본 연구에서 사용된 두 가지 측정결과가 매우 유사함을 보여주었다. 셋째, 2003-2004년, 2006-2007년, 2007-2008년의 유의확율이 상대적으로 낮게 나타났다.

넷째, 평균적으로 보았을 때, P값(유의확율)이 평균 0.6667 수준에서 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위가 서로 일치함을 보여 주었다.

IV. 결론

본 논문에서는 아시아 항만들 간의 클러스터링을 측정된 후에 비교분석하기 위해서 첫째, 기존연구에서는 다루지 못한 새로운 방법인 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 모형에 대해서 이론적으로 설명하였으며, 둘째, 아시아 38개 항만들의 12년간 자료를 4개의 투입요소(선석길이, 수심, 총면적, 크레인수), 1개의 산출요소(컨테이너화물처리량)를 이용하여 셋째, 퍼지(평균지수변환)DEA모형의 측정방법 및 실제적용, 교차효율성 모형 측정방법 및 실제적용 넷째, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에

의해서 도출된 자료를 교차효율성모형에 접목시킨 모형의 실제적용, 다섯째, 2001년부터 2012년까지의 추세도 분석, 여섯째, 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 모형(원자료를 이용한 일반 교차효율성 모형, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 교차효율성을 접목시킨 모형)에 의한 실증분석결과를 비교분석하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 클러스터링 추세분석을 측정된 결과를 보면, 부산항은 평균적으로 보면 0.4971에서 클러스터링 후에 0.7769로 56.29%만큼 효율성이 증대되었으며, 인천항은 0.2065에서 클러스터링 후에 0.4052로 57.96%만큼 증대되었고, 광양항은 0.2312에서 클러스터링 후에 0.3856로 66.80%만큼 효율성이 증대되었다.

둘째, 원자료를 이용한 교차효율성모형으로 도출한 텐드로그램에 의거한 클러스터링 추세분석을 측정된 결과에 의하면, 부산항(홍콩, 코오베, 마닐라, 싱가포르, 카오슝, 립찬방, 방콕), 인천항(아카바, 담만, 닝보, 카라치, 모하메드 빈 오아심, 다바오), 광양항(담만, 요코하마, 나고야, 킬롱, 카오슝, 방콕)들

과 개략적으로 클러스터링되는 것으로 나타났다.

셋째, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의거하여 도출한 자료를 이용한 교차효율성 분석에 접목시킨 모형의 클러스터링 측정결과를 살펴보면, 부산항은 71.38% 증가, 인천항은 103.89%증가, 광양항은 168.55%증가되었다.

넷째, 퍼지DEA모형을 접목시킨 자료를 이용한 교차효율성 분석의 클러스터링 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

다섯째, 효율성 순위를 김정환 윌콕스부호순위검정에서는 세 가지 모형[퍼지(평균지수변환)DEA모형과 원자료를 이용한 교차효율성 모형(67.75%), 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 퍼지(평균지수변환)DEA모형을 교차효율성에 접목시킨 모형(66.67%)]사이의 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, 세 가지 모형에 의한 클러스터링을 개략적으로 살펴보았을 때, 부산항은 홍콩, 상해, 싱가포르 항과 클러스터링 하고, 인천항은 크호르 파칸, 상해, 닝보, 킬롱항과 클러스터링 하고, 광양항은 상해, 칭타오, 모하메드 빈 오아심항들과, 각각 클러스터링을 하는 정책을 도입하여 시행해야만 한다. 여기서 부산항의 경우에는 클러스터링 후에 홍콩항의 강점(지리적 위치, 원활한 환적, 발달된 터미널 시스템) 중에서 특히 화주들의 시간을 절감할 수 있는 원활한 세관 절차 등을 벤치마킹하는 정책을 도입하고 시행해야만 한다. 둘째, 부산항과 상해항의 경쟁여건을 분석한 연구(윤송봉, 2013: 31)에 의하면, 부산항은 미주노선, 상해항은 구주노선에 우위에 있는 것으로 나타났으므로 그러한 노선에 대한 화물에 대해서 서로 상생하는 정책을 시행해야만 한다. 또한 상해항의 SWOT분석에서 나타난 분석 중에서 특히 약

점(얇은 수심, 정보서비스 제공의 미흡, 항만물류 기업의 낮은 경영관리 수준, 물류서비스 규범, 관리 규정 부족)에 해당하는 사항들에 대해서 부산항이 보완해 줄 수 있는 부분을 검토하여 상해항과 상호 협력전략을 시행해야만 한다.(윤송봉, 2013:27). 둘째, 부산항은 상해항이나 기타 항들과의 클러스터링을 통해서 ①경쟁력을 증대시키기 위해서는 자체적으로 북항과 신항의 Two-Port체제 운영에 따른 항내 서틀서비스비용 증가 등 물류저해요인을 발굴개선하고, FTA 등 자유무역제도와 연계해 분류제포장, 임가공 작업이 이루어지는 고부가가치 화물유치에 노력해야만 한다. 부산세관도 빠르고 효율적인 화물처리체계를 구축함과 아울러 물류업계의 애로사항을 광범위하게 수렴하고 과감한 규제개혁을 병행함으로써 항만의 경쟁력을 증대시켜야만 한다. ② 선박관리산업에 더욱 확대시켜야만 한다. 왜냐하면, 부산지역 선박관리업체가 관리하는 선박은 업체당 평균 13.7척에 그치고 있는데, 이는 홍콩의 25척, 싱가포르의 20척, 모나코 V.Ships 1천척과 비교하면 크게 낮기 때문이다. ③ 부산항 ITT(Inter-Terminal Transaction; 터미널 간 운영) 효율화 방안을 위해서 홍콩과 중국 양산항을 벤치마킹한 결과를 과감하게 도입하여야만 하며, 신규환적 물동량 유치를 위해서 위험물 장치장을 설치해야만 하고, 선사간 선박공유협정을 맺어야만 한다. ④ 항만서비스수준의 획기적 향상, 신항의 배후단지 조기개발에 의한 자체 물동량 확보를 해야만 한다. ⑤ 초대형선에 대한 서비스 유치를 강화하고, 클러스터링 항만들과의 국제운송네트워크도 확충해야만 한다.(원 출처는 박노경, 2015: 58).

셋째, 인천항은 상해항과는 부산항이 사용하는 동일한 방법의 협력전략을 시행해야만 한다. 또한 경쟁력을 증대시키기 위해서는 우선 기항하는 선사[상해항(15개-20개선사), 홍콩항(15선사), 닝보항(5개선사)]의 숫자를 증대시켜야만 하며, 물동량 유치노력과 함께 항만사용료와 하역료를 부산항, 광양항

수준으로 낮추어야만 한다. 또한 인천항에 다양한 선박이 접안할 수 있도록 항만의 시설을 확충해야만 한다. 넷째, 광양항은 상해항과는 부산항이 사용하는 동일한 방법의 협력전략을 시행해야만 한다. 또한 경쟁력을 증대시키기 위해서 장비의 현대화(클레인, 야드장비), 숙련된 드라이버의 채용과 양성, 일정량 이상의 환적화물에 대해서는 파격적인 디스카운트 정책(현재 중국항만들이 사용하는 방법)을 신속하게 도입해야만 한다. 가장 중요한 것은 화주 분들의 광양항에 대한 애정이다. 즉, 조금 불편하다고 부산항으로 갈 것이 아니고 광양항에서 화물을 처리할 수 있도록 정책적인 측면에서 그러한 부분에 대해서는 인센티브를 부여해야만 한다.

본 논문은 다음과 같은 한계점들을 가지고 있다. 첫째, 실증분석 결과에 대한 해석이 충분히 다루어지지 못했으며, 둘째, 항만 간 클러스터링을 한 후 구체적으로 개별항만 들이 어떠한 노력과 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, 두 가지 모형의 장단점을 제시하였지만, 그러한 장단점을 보완할 수 있는 내용은 설명하지 못했다. 더욱 정밀한 부분에 대한 연구는 차후 연구의 과제로 삼고자 한다.

참고문헌

- 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.
- 김충영(2012), “폐지자료 포괄분석 문헌 고찰 및 분류: 연구혜 온 20년, ReSEAT 분석 리포트”, 한국과학기술정보연구원, 1-7.
- 박노경(2010), “폐지DEA에 의한 항만의 효율성 및 순위 측정방법: 평균지수변환모형 접근”, 『한국항만경제학회지』, 제26권 제2호, 82-98.
- 박노경(2015), “폐지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성 모형을 이용한 클러스터링측정에 대한 실증적 비교연구”, 『2015년도 경제학 공동학술대회 한국항만경제학회 발표논문집』, 23-63.
- 박노경(2012), “컨텍스트의존 모형 및 측정특유 모형을 이용한 아시아 항만들의 클러스터링 측정 및 추세 분석에 관한 실증적 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제28권 제1호, 53-82.
- 박노경(2013), “교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 측정방법”, 『무역연구』, 제9권 제4호, 279-294.
- 박노경(2013), “컨테이너항만의 클러스터링 측정방법 소고: DEA참조집단모형과 교차효율성 모형을 이용”, 『무역연구』, 제9권 제7호, 439-456.
- 박노경(2003), “컨테이너 항만선택을 위한 선호도 측정방법: 컨텍스트 의존모형 접근”, 『해운물류연구』, 제38호, 87-112.
- 박진철(2010), “교차효율성 기법을 이용한 단위부대의 효율성 측정과 순위결정”, 고려대학교 대학원 석사학위논문.
- 방희석·김새로나(2004), “동북아물류거점의 Cluster접근방안”, 『무역학회지』, 제29권, 제3호, 151-170.
- 여기태(2009), “폐지클러스터링에 의한 중국항만 분류에 관한 연구”, 『해운물류연구』, 제63호, 865-887.
- 윤송봉(2013), “부산항과 상해항의 항만물류서비스에 대한 고객만족도 비교연구”, 중앙대학교 대학원 박사학위 논문
- 이재설·고현우(2009), “교차효율분석을 응용한 우편집중국의 운영효율성 분석”, 『한국경영공학회지』, 제14권 제1호, 159-168.
- 임성묵(2008), “폐지 선형계획법 해법 및 폐지 DEA에의 적용에 관한 연구”, 『한국산업시스템공학회지』, 제31권 제2호, 51-60.
- 임성묵(2008), “DEA에서 교차효율성의 공격적 정형화”, 『한국경영과학회지』, 제33권 제4호, 83-100.
- 한철환(2003), “우리나라 항만클러스터 구축방안에 관한 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제19집 제1호, 1-22.
- Adler, N., Friedman, L. and Sinuany-Stern, Z. (2002), “Review of Ranking Methods in the Data Envelopment Analysis Context”, *European Journal of Operational Research*, 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*, 226,

- 516-521.
- Andersen, P. and Petersen, N.C.(1993), "A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis," *Management Sciences*, 39, 1993, 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*, 30, 1078- 1092.
- Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes(1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Campos, L.M., and A., Gonzalez(1989), "A Subjective Approach for Ranking Fuzzy Numbers," *Fuzzy Sets and Systems*, 29, 145-153.
- Chen, Y.C. et al.(2013), "The Analysis of Bank Business Performance and Market Risk-Applying Fuzzy DEA," *Economic Modelling*, 32, 225-232.
- Doyle, J.R., and R.H. Green(1994), "Efficiency and Cross-efficiency in DEA: Derivations, Meanings, and Uses," *Journal of Operational Research Society*, 45(5), 567-578.
- Global Maritime Logistics Council(2009), *Seaport Cluster Research Programme 2007-2011*, 1-31. <http://www.globEinst.org/portcluster>
- Guo, P. and H. Tanaka(2001), "Fuzzy DEA: A Perceptual Evaluation Method," *Fuzzy Sets and Systems*, 119, 149-160.
- Lertworasirikul, S., S.C. Fang, J.A. Joines, and H.L.W. Nuttle(2003), "Fuzzy Data Envelopment Analysis (DEA): A Possibility Approach," *Fuzzy Sets and Systems*, 139, 379-394.
- Po, R.W., Guh, Y.Y., and Yang, M.S.(2009), "A New Clustering Approach Using Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, 199, 276-284.
- Sarkis, J., and Talluri, S.(2004), "Performance Based Clustering for Benchmarking of US Airports," *Transportation Research Part A*, 38, 329-346.
- Satti, S. et al.(2013), "A Fuzzy Data Envelopment Analysis for Clustering Operating Units with Imprecise Data," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 21(1), 29-54.
- 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.
- Sharma, M.J., and S.J. Yu(2009), "Performance Based Stratification and Clustering for Benchmarking of Container Terminals," *Expert Systems with Applications*, 36, 5016-5022.
- Sirvent, I. and T. Leon(2014), "Cross-Efficiency in Fuzzy Data Envelopment Analysis(FDEA): Some Proposals," in Emrouznejad, A. and Tavana, M. (Ed.), *Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis*, Springer, Berlin, 101-116.
- Wu, Y.C.J., and Goh, M.(2010), "Container Port Efficiency in Emerging and More Advanced Markets," *Transportation Research Part E*, 46, 1030-1042.
- Wu, J., Liang, L. and Song, M.(2010), "Performance Based Clustering for Benchmarking of Container Ports: An Application of DEA and Cluster Analysis Technique," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(6), 709-722.
- Wu, J., Liang, L., Wu, D. and Yang, F.(2000), "Olympics Ranking and Benchmarking Based on Cross Efficiency Evaluation Method and Cluster Analysis: The Case of Sydney 2000," *International Journal of Enterprise Network Management*, 2(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*, 197, 722-730.
- Zhang, W., and Lam, J.S.L.(2013), "Maritime Cluster Evolution based on Symbiosis Theory and LotkaVolterra Model," *Maritime Policy & Management*, 40(2), 161-174.

퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성모형을 이용한 클러스터링 측정에 대한 실증적 비교연구

박노경

국문요약

본 논문에서는 아시아 컨테이너항만들 간의 클러스터링 추세를 분석하기 위해서 퍼지(평균지수변환)DEA모형과 교차효율성모형에 대해서 이론적으로 설명하고, 아시아 38개 컨테이너항만들의 12년간 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, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 의한 클러스터링 추세분석에서 국내항만들은 클러스터링을 통해서 효율성을 증대(부산항(56.29%), 인천항(57.96%), 광양항(66.80%))시킬 수 있는 것으로 나타났다. 둘째, 원자료를 이용한 교차효율성 모형을 이용한 클러스터링분석에서는 부산항(홍콩, 코오베, 마닐라, 싱가포르, 카오슝, 립찬방, 방콕항), 인천항(아카바, 담만, 카라치, 모하메드 빈 오아심, 다바오), 광양항(담만, 요코하마, 나고야, 킬롱, 카오슝, 방콕항)과 각각 클러스터링을 해야만 하는 것으로 나타났다. 셋째, 퍼지(평균지수변환)DEA모형에 교차효율성 모형을 접목시킨 모형에서는 부산항은 71.38%, 인천항은 103.89%, 광양항은 168.55% 증가가 이루어 졌다. 넷째, 효율성 순위를 검정한 윌콕슨부호순위검정에서는, 세 가지 모형사이의 효율성 순위에 대해서는 약 66%-67% 수준에서 순위에 차이가 없는 것으로 나타났다.

본 논문이 갖는 정책적인 함의는 첫째, 항만정책입안자들이 본 연구에서 사용한 두 가지 모형과 접목시킨 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, 퍼지(평균지수변환) 모형, 교차효율성 모형