Journal of Korea Port Economic Association
Vol.34, No.3, 2018, pp.17-52. .

K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형 및 혼합모형을 이용한 컨테이너항만의 클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증에 관한 연구*

박노경**

An Empirical Comparison and Verification Study on the Containerports Clustering Measurement Using K-Means and Hierarchical Clustering(Average Linkage Method Using Cross-Efficiency Metrics, and Ward Method) and Mixed Models

Park, Ro-Kyung

Abstract

The purpose of this paper is to measure the clustering change and analyze empirical results. Additionally, by using k-means, hierarchical, and mixed models on Asian container ports over the period 2006-2015, the study aims to form a cluster comprising Busan, Incheon, and Gwangyang ports. The models consider the number of cranes, depth, birth length, and total area as inputs and container twenty-foot equivalent units(TEU) as output. Following are the main empirical results. First, ranking order according to the increasing ratio during the 10 years analysis shows that the value for average linkage(AL), mixed ward, rule of thumb(RT)& elbow, ward, and mixed AL are 42.04% up, 35.01% up, 30.47%up, and 23.65% up, respectively. Second, according to the RT and elbow models, the three Korean ports can be clustered with Asian ports in the following manner: Busan Port(Hong Kong, Guangzhou, Qingdao, and Singapore), Incheon Port(Tokyo, Nagoya, Osaka, Manila, and Bangkok), and Gwangyang Port(Gungzhou, Ningbo, Qingdao, and Kasiung). Third, optimal clustering numbers are as follows: AL(6), Mixed Ward(5), RT&elbow(4), Ward(5), and Mixed AL(6). Fourth, empirical clustering results match with those of questionnaire-Busan Port(80%), Incheon Port(17%), and Gwangyang Port(50%). The policy implication is that related parties of Korean seaports should introduce port improvement plans like the benchmarking of clustered seaports.

Key words:Seaport Clustering, K-Means Clustering Model, Hierarchical Clustering Model, Average Linkage Method, Ward Method, Cross-efficiency Matrix, Comparative Analysis, Asia Seaports, Trend Analysis, DEA, Data Envelopment Analysis,

▷ 논문접수: 2018.05.21. ▷ 심사완료: 2018.09.15. ▷ 게재확정: 2018.09.28.

* "이 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5A2A01023848)". Elbow Method 측정에 도움을 주신 한림대학교 금융정보통계학과 이윤환교수님께 감사를 드립니다.

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

Ⅰ. 서 론

세계적인 경기침체에 따른 해운시황침체, 선사들의 경영악화, 조선소의 선박수주 격감, 화물물동량 감소 등등 해운항만과 관련된 산업들이 총체적으로 어려움을 겪고 있다. 그런 어려운 상황 속에서 부산항의 2016년도 국가별 컨테이너물동량 비중을 살펴보면, 중국(25.18%), 일본(14.45%), 미국(14.58%), 호주(1.74%), 아랍에미리트연합(1.47%),러시아(1.91%), 베트남(2.80%), 캐나다(2.68%), 싱가포르(1.12%)였다. 아시아지역의 항만들과의 물동량비중이 약 65.93%를 차지함으로써 2015년의 66.63% 비해서 0.70%만큼 감소하였다. 요컨대 국내항만들이 화물물동량을 증대시키기 위해서는 아시아 항만들과의 경쟁 및 협력전략을 구사해야만 한다. 그러기 위해서는 다양한 분석방법들이 있겠지만, 그 중에 한 분야로서 DEA(Data Envelopment Analysis, 자료포괄분석)분석방법을 이용하여 투입-산출 요소에 의한 효율성을 분석하고 더 정밀한 방법으로 클러스터링분석을 통해서 어떤 항만들과 국내대표항만인 부산, 인천, 광양항이 클러스터링을 하는 것이 좋은지를 학술적인 측면에서 밝혀내고 정책적인 함의를 제시할 수 있는 연구가 매우 필요한 상황이다. 요컨대 본 연구에서는 기존의 항만 클러스터링에 대한 심도 있는 기존연구들[방희석・김새로나(2004, 클러스터 이론, 형성요인 및 발전, 지역적 특성), 한철환(2003, 정의, 필요성, 추진절차, 주체별 역할), 고용기・이상현(2005, 클러스터 개념, 구축을 위한 이론적 고찰, 연구가설 및 실증분석)]과는 다르게 DEA분석방법으로 컨테이너항만(터미널)들의 투입 및 산출요소에 의거하여 효율성을 측정하고 클러스터링을 실시한 외국의 선행연구들[Sharma and Yu(2009),층화모형, Tier모형, 자기조직화지도모형을 이용하여 군집 측정), Po, Guh and Yang(2009, 전통적인 DEA 승수모형을 이용하여 참조집단과 어느 정도의 거리에 위치하는지에 따라서 군집 측정)]의 측정방법과 다른 모형들을 새롭게 이용한다. 따라서 본 연구의 범위(목적 포함)는 기존의 항만클러스터링에 대한 상세한 내용은 위쪽에 제시한 국내 기존연구들을 제시하는 것으로 생략하고, 투입 및 산출요소 측면에서 효율성을 측정하며, 새로운 클러스터링 측정방법으로 클러스터링을 측정하고, 클러스터링 전과 후의 효율성을 비교함으로써 이론적인 모델들을 실증적으로 검증하는 것으로 한정한다. 따라서 본 연구에서 사용하는 클러스터링이라는 개념도 국내항만들이 아시아 다른 항만들과의 투입 및 산출요소 측면에서 즉, 효율성 측면에서 전략적 제휴를 하기 위한 의미를 갖는 용어로 사용하는 것으로 한정하고자 한다.

본 연구는 클러스터링과 관련된 두 가지 모형인 K-Means군집모형[Banitaan, Nassif, and Azzeh(2015), Praven and Rama(2016)]과 계층적 군집[Sarkis and Talluri(2004)교차효율성 메트릭스의 덴드로그램에 의한 클러스터링 파트너 선정, Ward모형에 의한 새로운 측정)]모형을 이용하여 10년간(2006년-2015년)의 장기적인 추세 및 검증을 함으로써 앞으로 국내 항만들의 경쟁력을 증진시킬 수 있는 학술적인 근거를 마련하고자 한다. 즉, 연구 flow차트를 그림이 아닌 글로써 간명하게 기술해 보면 다음과 같다.

(1) K-Means군집모형(아세아 38개 항만들을 대상으로 Rule of Thumb, Elbow Method 방법)으로 클러스터링 숫자파악 및 효율성 측정, 한국항만들의 클러스터링 및 벤치마킹항만 파악 및 효율성 측정 ---〉 (2) 계층적 군집모형(교차효율성 메트릭스의 평균연결법에 의한 덴드로그램에 의한 클러스터링, Ward법에 의한 클러스터링)을 이용하여 클러스터링 숫자 및 군집을 도출, 한국항만들의 효율성 측정, 클러스터링 그룹파악---〉 (3) K-Means 군집모형과 계층적 군집모형의 혼합모형을 적용, 즉 계층적 군

집모형에서 도출한 군집 숫자를 K-Means군집모형에 재적용 후 클러스터링 측정, 국내항만들의 클러스터링과 효율성 파악--〉 (4) 실증분석결과를 비교분석하여 두 가지 모형이 갖고 있는 특성이 실증분석에서도 동일하게 나타나는지를 검증한다.

본 논문의 구성은 I장 서론, II장에서는 K-Means 군집모형과 계층적 군집모형(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법) 및 혼합모형을 다룬 기존연구들을 학자별로 살펴보고, 그러한 연구들의 한계점을 제시한다. III장에서는 K-Means 군집모형과 계층적 군집모형을 이용하여 아시아 항만들에 대한 클러스터링을 실증적으로 측정하고, 장기적인 추세도 분석하며, 한편 몇 가지 측면에서 두 모형의 측정결과를 비교하고 검증한다. IV장에서는 요약, 정책적 함의가, 결론과 함께 제시된다.

II. 기존연구에 대한 검토 및 한계점

1. K-Means 군집모형 및 계층적 군집모형(평균연결법, Ward법)의 기존연구에 대한 검토

(1) K-Means 군집모형과 관련된 국내기존연구

박노경(2017)은 국내 항만분야에서는 처음으로 32개 한국과 중국들의 항만에 속해있는 컨테이너터미널에 대해서, 3개년(2013,2014,2015)의 자료로 4개의 투입요소(선석길이, 야드면적, 안벽크레인,야드크레인)와 1개의 산출요소(컨테이너화물처리량)을 이용하여 클러스터링 분석을 시행하였다. K-Means 모형을 이용한 클러스터링 분석을 하면서, 교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결방법에 의해서 도출된 군집 수를 적용하고 효율성 차이가 있는지를 검증(부산항과 평택항의 CCR효율성 수치와 국제경쟁력 순위를 증대시킴)하였다.

신동혁 · 안광규 · 최성춘 · 최형기(2016)는 인터넷 서비스의 질을 떨어뜨리고, 온라인 범죄를 유발시키는 네트워크 공격들의 문제를 해결하기 위해 시그니처 IDS라는 침입탐지 시스템이 개발되었지만 기존의 알려진 유형의 공격만을 탐지하는 문제가 있어서 그러한 단점을 보완하고자 K-평균 알고리즘 기반의 네트워크 유해트래픽 탐지방법을 제안하였다.

이신원(2012)은 클러스터링에는 다양한 기법이 있는데, 그 중에서 K-means 알고리즘은 구현이 쉬우나 할당-재계산을 하는데 있어서 소요되는 시간이 증가하게 된다. 또한 초기 클러스터 중심에 따라서 편차가 커진다. 본 논문에서는 삼각형 높이를 이용하는 방안을 제안하고 실험하여 실제로 감소하는 효과를 보여 주었다.

김우생 · 김수영(2014)은 인터넷 상에서 방대하게 서로 연관된 문서들을 군집할 필요성이 증대되었다. 특징벡터공간상의 벡터들로 표현되는 문서들을 K-평균 알고리즘으로 군집화 할 때, 주성분 분석을 통하여 초기 시드점을 선정함으로써 군집의 효율을 높이는 방법을 제안하였다.

문지원(2006)은 첫 번째 K-평균 군집분석을 통하여 22개국의 a도시 중에서 a도시의 성격에 가까운 a도시를 선별한 후에 군집분석을 실시하여 b개의 도시를 선정하였으며, 그 들을 대상을 두 번째 군집분석을 실시하여 이들 사이에 내재된 차이점을 파악하였다.

류제웅 · 조남익(2014)은 필기문서영상을 분석하여 단어단위로 요소들을 분할하는 방법을 제안하였다. K-평균클러스터링을 이용하여 각 텍스트라인을 구성하는 연결요소 간 간격을 단어사이의 간격과 단어 내부 글자간의 간격으로 분류하였다.

이성규 · 홍성아 · 박수홍(2006)은 개별공시지가 산정 시 유사 가격 권 설정의 문제를 해결하고자 평균연결법과 K-means 혼합클러스터링 기법을 활용하여 유사 가격 권을 설정하여 보고, 이에 대한 타당성을 제시하였다. 이를 위해 실제 사례지역을 선정하고 실험한 결과 유사가격 권역별로 군집화가 가능하였고, 현행 유사가격권역과 많은 차이를 보이지 않아 방법론의 타당성을 제시할 수 있었다.

(2) 계층적 군집(평균연결법, Ward법)모형과 관련된 국내 기존연구

박노경(2017)은 국내 항만분야에서는 처음으로 32개 한국과 중국들의 항만에 속해있는 컨테이너터미널에 대해서, 3개년(2013,2014,2015)의 자료로 4개의 투입요소인 선석길이, 야드면적, 안벽크레인, 야드크레인과 1개의 산출요소인 컨테이너화물처리량을 이용하여 클러스터링 분석을 하였다. K-Means모형을 이용한 클러스터링 분석을 결과에 대해서, 교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결방법에 의해서 도출된 군집 수를 적용하고 양 모형간에 효율성 차이가 있는지를 검증하였다.

박노경(2015b)은 일반적인 교차효율성모형과 메타프론티어 DEA모형으로 개별효율성, 그룹효율성, 기술 갭을 측정하였다. 교차효율성모형에 의해서 측정된 클러스터링의 유효성을 검증하였다.

박노경(2013a)은 교차효율성모형과 자료(12개 컨테이너항만, 단 년도 자료, 수심, 선석 수, 크레인 수, 총 면적을 투입요소, 컨테이너화물 처리량, 화물처리량 변화율을 산출요소)를 이용하여CCR, BCC, 수퍼CCR, BCC모형에 대한 효율성을 측정하고 그 결과를 상호 비교, 분석하였다.

박노경(2013b)은 교차효율성모형 및 참조집단모형과 자료(12개 컨테이너항만의 단 년도 자료, 총면적, 선석수, 수심, 크레인 수를 투입요소, 산출요소는 화물처리량의 변화율, 컨테이너화물처리량,)를 이용하여 CCR, BCC, 수퍼 CCR, BCC모형에 의한 효율성을 측정하는 한편, 참조집단과 람다 값, 교차효율성을 실증적으로 측정하고 비교하였다.

박노경(2015a)은 정수계획모형과 교차효율성 모형을 이용하여, 한국 · 중국 · 일본 항만간의 효율성을 측정하였다. 특히 평균연결방법(교차효율성 메트릭스)으로 덴드로그램에 의한 클러스터링을 측정하는 방법을 보여 주었다.

계층적 군집모형(Ward법)과 관련된 국내 기존연구는 다음과 같다.

이준호 · 박광호(2012)는 367개의 창업기업 홍보마케팅 지원사업의 수혜기업을 대상으로 군집분석을 하였으며 마케팅 세분화 방안을 제시하였다. 계층적 군집모형과 K-Means를 통해서 3개의 최적군집 수를 도출하였다. 계층적 군집분석은 Ward법을 사용하여 군집 수를 도출하였다.

김기현 · 윤유식 · 윤영혜(2014)는 동대문, 백화점, 인사동, 인천공항면세점, 서울시내 6개 면세점의 외국인 관광객을 대상으로 설문지조사법으로 쇼핑관광 서비스 품질에 의한 시장세분화를 위해 Ward법(4개의 유효군집을 확정)과 계층적 군집방법(K-Means로 군집간 특성파악)을 사용하였다.

김종훈 · 이정학(2014)은 스포츠전문채널 미디어 수용자를 대상으로 편의표본추출을 통하여 설문조사를 실시하여, 7개의 요인을 이용하여 Ward방법과 K-Means방법을 병행하여 스포츠전문채널 미디어수용자를 4개의 적절한 군집으로 분류하였다.

김한수 · 강중혁 · 배영규(2013)는 KTX 경부선, 경전선, 호남선, 전라선의 2012년 1월부터 10월까지의 자료를 이용하여 열차지연을 4개의 유형으로 구분하여 분석하면서, Ward의 계층적 군집분석을 이용하였다. 주말 및 주중 5개의 군집 수를 도출하여

분석하였다.

(3) K-Means 군집모형과 관련된 국외기존연구

K-Means군집모형은 MacQueen(1967)에 의해서 제시된 이후에 많은 산업분야의 다양한 클러스터링 분석에 응용되고 있다. 현재 K-Means군집모형은 Khanmohammadi, Adibeig, and Shanehbandy (2017:12-14)의 기존연구에서처럼 많은 학자들에 의해서 연구되고 있다. 즉, 대표적인 최근의 국외연구를 살펴보면, Banitaan, Nassif, and Azzeh(2015), Praven and Rama(2016), Hong, Wang, and Qi(2014), Murthy, Vamsidhar, Kumar, and Rao(2010), Lu, Tang, Tang, and Yang(2008), Worner, Gevrey, Eschen, Kenis, Daini, Singh, Suiter, and Watts(2013) 등이 있다.

Banitaan, Nassif, and Azzeh(2015)는 Irvine에 소재하는 캘리포니아 대학 Machine Learning 저장소의 자료를 이용하여 훈련세트와 테스팅 세트로 나누고, K평균법과 계층적 군집 기법을 이용하여 군집분석을 하고 비교분석하였다. 분석결과는 K평균과 계층적 군집분석이 Naive Bayes 분석의 F측정결과를 개선시켰다. 최선의 결과는 K평균의 군집이 2일 때 얻어졌다. 그러나 군집 갯수의 분석이 숲 지도 자료에서는 개선시키지 못했다.

Praven and Rama(2016)은 순수한 수치종합자료에 대해서 K평균법과 계층적 군집 앨고리듬을 검증하였다. 수치자료에 대해서 비 계층적 군집분석과 단 연결, 완전 연결, 평균 연결 방법에 대해서 거리측정을 검토하였다. 더 나은 성과를 얻기 위해서 K평균법과 계층적 군집분석을 다른 분석방법과 비교하였다.

Hong, Wang, and Qi(2014)는 e교란분석에서 전통적인 앨고리듬인 계층적 클러스터분석이 중요한 역할을 해 오고 있다. 상이한 클러스터링 방법사이의 차이, 유효성분석은 드물다. 스펙트럼 클러스터링과 다른 방법(K클러스터링, ISODATA, FCM, K-평균), HCA(싱글연결, 완전한 연결, Ward's)들과를 비교분석하였다. 세 개의 독립적인 e교란자료에 대한 클러스터링 성과평가를 이용하였다. 스펙트럼 클러스터링방법이 다른 방법들보다도 알파 0.05의 통계적 유의수준에서 더 우월하였다.

Murthy, Wamsidhar, Kumar, and Rao (2010)는 투입 쿼리로서 이미지를 취하는 이미지 재생시스템을 제시하고 이미지, 컨텐트에 근거하여 이미지를 재생하였다. 컨텐츠에 근거한 이미지 재생은 자동적으로 유도된 이미지 형태에 근거한 이미지 데이터 베이스로부터 semantically 관련 이미지를 재생시키기 위한 접근법이다. 시스템의 독특한 특징은 계층적 분석과 K평균법을 이용한다는 점이다. 제안된 절차는 2단계로 나뉜다. 첫째번은 계층적 군집에서 대부분의 이미지를 필터링 한다. 그리고 군집된 이미지는 K평균법의 더 나은 선호하는 이미지 결과를 얻기위해 적용한다.

Lu, Tang, Tang, and Yang(2008)은 K평균클러스터링을 위한 계층적인 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 더 나은 초기 클러스터링 중심을 제공할 수 있으며, 무작위 적으로 초기화 된 표준적인 K평균 앨고리듬을 사용하는 클러스터링을 수행한다. 일반적으로 신속하다. 이러한 방법은 고차원자료의 클러스터링에도 적합하며, 교란요인의 충격을 감소시킬 수 있다.

Worner, Gevrey, Eschen, Kenis, Daini, Singh, Suiter, and Watts(2013)는 본 논문은 침입성 페스트의 동물무리군집을 국가별, 지역별로 구분해 내기 위해서 자기조직화지수 방법을 이용하였다. 또한 K평균법, 계층적 군집분석에 대해서 논의하였다.

(4) 계층적 군집(평균연결법, Ward법)모형과

관련된 국외 기존연구

Wu, Liang, Wu and Yang(2008)는 시드니 하계 올림픽대회(2000년)의 80개 메달획득 국가를 대상으로, 국민일인당 GNP, 인구수를 투입요소, 금메달, 은메달, 동메달 획득 수의 가중평균치를 산출요소로 하여 교차효율성 및 교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결방법을 클러스터링을 측정하였다.

Sarkis and Talluri(2004)는 미국 공항들(44개)을 대상을 교차효율성 및 교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결방법으로 클러스터링을 측정하였다.

Ma, Liu, Zhou, Zhao and Liu(2014)는 미국 은행들을 대상으로 협력적이지 않는 경우의 게임 하에서 교차효율성을 측정하였다. 게임모형이 개별 은행에 대해서 합리적인 교차효율성을 유도함을 밝혀내었다. 게임교차효율성모형을 다룬 최근 연구라고 할 수 있다.

Wu and Goh(2010)는 선진화된 G7국가와 14개 브릭스 국가의 단 년도 자료를 이용하여 CCR, BCC 교차효율성을 측정하고 클러스터링(3개 그룹) 하는 방법을 보여 주었다.

Wu, Liang, and Yang(2009)는 아테네 하계올림픽대회(2004년)에서 78개 국가를 대상으로 메달 수를 산출물로 하여 교차효율성과 클러스터링을 측정하였다.

계층적 군집모형(Ward법)과 관련된 국외 기존연구는 다음과 같다.

Murtagh and Legendre(2014)는 Ward (1963) 군집방법을 실시하면서, 두 개 의 알고리즘 Ward [Murtagh(1985), Wishart(1969)], Ward[Kaufman and Rousseeuw(1990), Legendre and Legendre (2012)]를 검토하였으며, 동일한 거리 메트릭스에 적용 했을 때 각기 다른 결과가 나타났다. 즉, Ward 2모형이 동일한 유사성 매트릭스에 적용할 때, Ward 클러스터링 범위를 최소화 시킴을 밝혀내었다.

Ferreira and Hitchcock(2009)는 Functional Data Analysis(FDA) 방법으로 토지지수를 이용하여 싱글연결, 완전연결, 평균연결, Ward법을 시뮬레이션으로 검증하였다. Ward법이 대부분의 경우에서 최고 중등 토지지수를 보였다. 기존의 몇몇 연구들 [Kuiper and Fisher(1975), Blashfield(1976)]과 그 결과가 일치하였다.

Punj and Stewart(1983)은 12개의 군집분석모형들을 검토해 본 결과 Ward법이 유클리디안 제곱거리를 이용하기 때문에 평균연결법 보다도 우수하다고 강조하였다.

Kuiper and Fisher(1975)는 몇 개의 묶음 클러스터링에 반하여, 단순연결법은 장기연쇄타입 클러스터링에서 매우 유효하였다. Ward법이 동등한 표본크기에서는 매우 유효하였으나, 표본이 동등하지 않은 쌍 변수 자료의 경우에는 유효하지 않았다. 중심연결법과 평균연결법이 매우 유사한 반면에 완전연결법이 Ward법과 유사하였다. 동등하지 않은 클러스터링의 크기에서는 중심연결법과 평균연결법이 가장 잘 작동함을 밝혀 내었다.

Blashfield(1976)은 원래 모집단에 대한 클러스터링 회복에서 정착성 판정을 하기 위해서 계층적 군집분석(단순연결, 완전연결, 평균연결, Ward' s법)과 비교하였다. Ward법이 다른 클러스터링 측정절차보다도 상당하게 유의하였다는 것을 밝혀내었다.

2. 기존연구의 한계점

첫째, 항만분야에서 DEA기법과 함께, K-Means군집모형과 계층적 군집모형(평균연결법, Ward법)을 함께 고려하여 클러스터링을 측정한 연구는 박노경(2017)을 제외하고 전무하다. 박노경(2017)도 Ward

법은 사용하지 못했으며, 3년의 단기자료를 이용하였다.

둘째, 항만분야에서는 컨테이너 항만들의 클러스터링을 측정함에 있어서 계층적 군집모형(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법)으로 군집의 수를 먼저 결정하고 그러한 군집의 수를 K-Means군집모형에 적용한 연구는 박노경(2017)을 제외하고 전무하다.

셋째, 그 동안 발표된 국내 기존연구 들은 항만 클러스터링과 관련된 연구를 하면서 DEA기법을 거의 사용하지 못했으며, DEA기법을 사용한 박노경(2015a)도 정수계획모형과 교차효율성 모형으로 제한된 자료를 이용하여 한국·중국·일본 항만들 간의 효율성을 측정하였다. 교차효율성 메트릭스 수치를 이용하여 평균연결방법의 덴드로그램을 이용하여 클러스터링을 측정하는 방법을 보여 주었다. 박노경(2015b)도 메타프론티어 DEA모형과 교차효율성모형으로 클러스터링을 측정하고 그러한 측정방법이 메타효율성을 증진시켰는지를 분석하였다. 박노경(2013a,b)도 항만들의 클러스터링을 하는 방법만을 교차효율성을 통해서 보여 주었으며, 박노경(2014)도 항만의 효율성 측정과 클러스터링에 적용하는 방법만을 게임교차효율성 모형을 통해서 보여줌으로써 모형 적용면에서 한계를 갖고 있다.

넷째, 항만과 직접 관련된 Sharma and Yu(2009)의 연구도 자기조직화지도 신경망 모형에 의한 클러스터링과 Tier분석 적용 방법만을 보여 주었을 뿐이다.

다섯째, K-Means군집모형을 이용한 군집 수 결정(Rule of Thumb, Elbow Method) 및 클러스터링, 효율성 분석, 계층적 군집모형(평균연결법, Ward법)을 이용한 클러스터링 및 군집 수 결정, 그리고 효율성을 측정하고, 그러한 측정결과가 적합한 것인지를 K-Means군집모형에 재 적용하여 그 측정결과를 검증하는 연구는 매우 드문 연구이다.

여섯째, 본 연구의 주요한 내용들[기본적인 DEA 모형에 의한 효율성 측정, K-Means 군집모형의 군집 수 결정(Rule of Thumb, Elbow Method) 및 클러스터링과 효율성 측정, 계층적 군집모형에 의한 클러스터링 측정(평균연결법, Ward법), 계층적 군집모형에 의한 클러스터링 측정결과(군집 수)를 다시 K-Means군집모형에 재적용한 클러스터링 측정을 통한 검증, 클러스터링이 국내항만의 효율성을 증대시키는지 여부파악, 모형별 효율성의 장기적인 변화분석]은 매우 새로운 주제이며, 따라서 본 연구는 국외의 항만클러스터링과 직접 관련된 기존연구인 Sharma and Yu(2009), Po, Guh, and Yang(2009)의 연구를 새로운 연구모형의 도입과 적용 면에서 확장시킨 것이라고 확신한다.

Ⅲ. K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형 및 혼합모형을 이용한 컨테이너항만의 클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증

1. K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형에 대한 이론적 접근

(1) K-Means 군집모형에 대한 이론적 접근

위키피디아 백과사전의 내용에 의하면, K-평균 클러스터링 알고리즘은 클러스터링 방법 중 분할법에 속하는데 여기서 분할법은 주어진 데이터를 여러 개의 그룹으로 나누는 방법으로 즉, 데이터를 한 개 이상의 data object로 구성된 k개의 그룹으로

나누는 것이다. 즉, K-평균 알고리즘은 각 그룹의 중심과 그룹 내의 data object와의 거리의 제곱 합을 cost 함수로 정하고, 이 함수 값을 극소화 하는 방향으로 각 data object의 소속 그룹을 업데이트 하여 군집화를 이행하게 된다.

(2) 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형에 대한 이론적 접근

계층적 군집화는 처음에는 개별 대상이 각각 독립된 군집으로 시작하는데(예; 개별 대상이 20개이면 군집도 20개), 거리가 가장 근접한 개별적인 2개의 대상들이 클러스터링을 이루기 시작하여 가까운 클러스터링 된 대상 군들끼리 계속적인 클러스터링화가 이루어지고 이 과정에서 지속적으로 클러스터링의 숫자도 점진적으로 감소한다. 계층적 군집화 모형들에는 거리를 어떻게 계산하는가에 따라서 모형의 형태가 차이가 나게 된다. 즉, 단일계산법, 완전결합법, 평균결합법, Ward법이 있다.[이학식 · 임지훈:472].

2. K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형의 장점과 단점

컨테이너항만의 클러스터링을 측정하기 위해서 본 연구에서 사용하고 있는 K-Means 군집모형과 계층적 군집모형에 대한 장점과 단점을 설명해 보면 〈표 1〉과 같다.[위키피디아 한글사전, 한성대학교 데이터마이닝 강의안].

표 1. K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형의 장점 및 단점

모형/구분	장점	단점
K-Means 군집 모형	• K-평균 알고리즘은 각 data의 object를 클러스터링에 강력하게 결속시킴. • K-평균알고리즘은 클러스터링을 보여주는 것이 쉽고, 패턴의 수가 a개일 때, 시간의 복잡도가 O(a)인 좋은점이 있음.	• 클러스터의 개수 K값을 사전에 지정해 주어야만 함. • 처음 선정한 seed점들에 따라서 군집의 분류가 달라질 가능성이 있음. • 이상 값에 민감함. • 구형(spherical)이 아닌 클러스터링을 구현하는 것은 적합치 않음. • 알고리즘의 error 수렴이 전역 최솟값이 아닌 지역 최솟값으로 수렴할 가능성이 있음.
계층적 군집 모형	• 군집이 형성되는 과정을 정확하게 파악할 수 있음. • 주어진 데이터의 내부구조에 대한 사전 정보 없이 의미 있는 자료구조를 다양한 형태의 자료에 적용이 가능함. • 군집의 수를 명시할 필요 없이 덴드로그램(수상도)을 통해 군집화결과를 표현하여 설명하고 해석하는 가능함.	• 자료의 크기가 크면 분석하기 어려움. • 안정성이 낮음(데이터를 재 정렬 하거나 몇 개의 레코드 제외 시 전혀 다른 결과가 나타날 수 있음). • 군집수와 seed값의 위치의 결합조건이 너무 많은 계산을 필요로 함.

3. 설문조사를 통한 K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형의 실증적 비교분석을 위한 모형개발

(1) 설문조사를 통한 K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형

1) 설문조사의 방법, 기간 및 설문조사 결과

〈표 2〉와 관련된 설문지는 2017년 6월 15일부터 2017년 7월 30일 사이에 항만과 관련된 전공 교수, 항만공사(부산, 인천, 광양), 해운물류회사 담당자들에게 설문지를 받거나, 전화면담의 방법을 이용하였다. 대상은 해운회사 4명, 교수 7명, 항만공사 3명, KMI(한국해양수산개발원)연구원 4명, 총18명에게 설문지를 받았다. 다음은 조사과정에서 제시되었던 내용들이다. ① 부산항만공사 자율성 보장 및 확보, 부산항만공사의 예산, 사업허가를 일일이 해양수산부로부터 하나하나 허가를 받아야만 한다. ② 해양수산부나 인천광역시가 다른 항만들에게 부여하는 정부지원(선사나 포워더에 대한 인센티브)를 인천항에도 지원해야만 한다. 애초에 Two Port지원 시스템 때문에 인천항이 배제되었으며, 선사들의 입장에서 보면 굳이 인천항까지 올 필요가 없다. ③ 항만발전을 위한 인프라가 절대적으로 부족함, 산단을 조성하고 산단 내에 제조업을 유치해야만 함. 부산항만공사의 항만부두에 대한 임대료인상부담, 경기에 맞추어서 동결, 인하, 변동시키는 것이 필요함 ④ 운영사에 대한 저금리 자금지원을 위한 대출조건의 엄격성 완화 ⑤ 선사와 운송사 간의 치열한 경쟁관계 때문에 단가경쟁에서 출혈경쟁이 심하여 수익성 악화해소 방안시행 ⑥ 컨테이너선, 장비구입을 위한 금융지원, 저렴한 금리 상품 절대 부족함 ⑦ 터미널 트리거룰, 항만의 난개발 지양하고 목적성에 부합하는 개발필요, 터미널 경쟁력 약화, 선사입장에서 보면, 서비스향상을 위한 지원정책이 필요함, 선사유치를 위한 단순한 인센티브 정책보다는 고부가가치 물량을 유치하기 위한 지원정책이 필요하다. 화물의 회전율이 빨라야만 한다. 야적장에 1개월 이상 야적시켜놓는 화물은 의미가 없다. 항만지원부분에서는 임대료가 높아서 출혈경쟁이 생기고 운영사 들이 적자에 허덕인다. ⑧ 클러스터링은 공간적 개념으로 터미널과 배후단지까지 확장하는 것이 바람직함, ⑨ 투입요소에 접근성, 인력, 마케팅비용, 상하차시간문제, 선석운영부분, 장비, 최신시스템을 도입해야만 하고, 산출요소에는 박스단위가 도입되어야만 함, 즉, 40 Feet도 고려해야만 한다는 의견이 제시되었다. 위와 같은 내용은 방희석・김새로나(2004:165-167)에서 클러스터링 측정지표를 4가지(국지화, 네트워킹, 착근성, 집단학습)로 제시하고 있는데 본 설문조사의 내용은 국내항만들이 타 항만들과 네트워킹을 증진시킴으로써 더 나아가서는 클러스터링 항만들과의 국지화, 착근성, 집단학습의 시너지 효과와도 연계될 수 있어서 고려해야만 하는 내용들이다.

위와 같은 의견들이 제시되었음에도 불구하고 본 논문에서 〈표 2〉와 같은 결과에 의거하여 컨테이너화물처리량을 산출물로 하고, 선석 길이, 수심, 총면적, 크레인 수를 투입물로 하는 모형을 이용하기로 결정하였다. 국내항만들과 클러스터링 해야만 한다고 선정된 항만을 순서대로 제시해 보면 상해, 싱가포르, 홍콩항의 순서였다. 일본항 중에서는 동경항과 오사카항이 선호되고 있었으며, 베트남의 호치민항, 중동의 두바이항, 미국 롱비치항, 네델란드 로테르담항이 선호되었다. 투입-산출요소에 대해서

는 약 68.57%의 전문가들이 70% 이상의 수준에서 만족하고 있는 반면에 25.71%가 59%이하의 수준에서 만족하는 것으로 나타났다. 단, 여기서 군집분석은 최종결과에 대한 통계적 유의성을 평가할 수 있는 통계량이 없기 때문에 변수의 선택에 있어서 세심한 주의 가 필요하다. 또한 부적절한 변수의 선택은 군집화 과정에도 영향을 미쳐 연구목적과는 다른 군집을 만들어 낼 수 있다. 이런 측면에서 18명을 대상으로 한 샘플크기는 본 연구의 주장을 일반화하는데 근본적인 한계로 작용할 수 있다.

표 2. K-Means 군집모형과 계층적 군집모형 이용한 클러스터링을 분석하기 위한 모형개발(투입-산출요소)에 대한 만족도 및 선호항만에 대한 설문조사 결과

만족도 /응답자	①투입요소, ②산출요소에 대한 만족도 조사결과								
	0–29 %	30–39 %	40–49 %	50–59 %	60–69 %	70–79 %	80–89 %	90–100 %	클러스터링 선호항만 (선호 우선순위에 의한 3개 항만)
1			①			②			상해, 홍콩, 싱가포르
2							①②		싱가포르, 상해, 홍콩
3							①②		상해, 홍콩, 카오슝
4							①	②	홍콩, 싱가포르, 상해
5							②	①	상해, 홍콩, 싱가포르,
6		①			②				상해, 오사카, 동경
7				①	②				두바이, 상해, 동경
8						①	②		상해, 포트클랑, 싱가포르
9							①	②	싱가포르, 홍콩, 두바이
10			①	②					상해, 카오슝, 오사카
11				①		②			상해, 홍콩, 오사카
12					①②				니카다, 가나자와, 대련
13					①			②	호치민(하이퐁), 상해, 홍콩
14						②	①		상해, 롱비치, 로테르담
15							②	①	상해, 오사카, 칭타오
16						①②			마닐라, 동경, 상해
17							①②		상해, 닝보, 롱비치
18						①	②		상해, 닝보
합계		1	2	3	5	7	13	5	36

2) 본 연구에서 사용할 모형

본 연구에서는 K-Means 군집모형과 계층적 군집모형을 이용하고 10년 동안의 컨테이너화물처리량을 산출물로 하고 선석 길이, 수심, 총면적, 크레인 수를 투입물로 하여 38개 항만에 적용한 효율성과 클러스터링을 측정하는 모형을 이용한다.

4. K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형에 의한 아시아 컨테이너항만의 클러스터링 측정, 실증적 비교 및 검증

(1) 실증분석에 이용된 자료 및 실증분석 방법

분석대상은 아시아 38개 항만의 10년간(2006년-2015년)으로 하였다. 각 변수의 단위는 다음과 같다. 투입요소는 수심(m)[평균치], 선석길이(m), 총면적(평방미터), 크레인 수(개)[갠트리, Quay, 모바일, 플로팅 크레인 수]로 하였으며, 컨테이너화물처리량(TEU)을 산출요소로 하였다. 연구대상기간의 장기간으로 인해서 자료를 수집, 정리, 엑셀자료화 하는 과정에서 오류가 발생할 수도 있었음을 밝혀둔다. 특히, 2011년의 임의적인 자료 조정을 포함하여 2012년 이후의 투입요소에 대한 공식적인 자료는 구 할 수 없는 상황이 되었다. 산출요소인 컨테이너화물처리량은 CIY가 발표한 자료를 이용하였으며, 누락된 자료는 해당항만의 홈페이지에서 구하였으나, 해당 항만들의 홈페이지 정보에 대한 늦은 업데이트, 폐쇄성 때문에 정보가 없는 경우에는 전년도 자료를 그대로 적용하였다. 또한 투입요소에 대해서는 2011년 이후는 고정시키거나 비율별로 증가시킨 수치를 이용하였다. 이와 같은 이유들 때문에 연구결과의 객관성이 저해될 수 있다. 또한 최근 항만효율성을 개선하고자 하는 항만당국의 노력이 본 논문에서 제시하고 있는 4개의 투입변수 보다는 이러한 투입변수를 포함한 전반적인 항만운영 효율성 측면의 개선을 통해 진행되고 있다는 점도 감안해야 할 것이다. 실증분석은 첫째, 2006년도의 자료를 이용하여 K-Means 군집모형을 이용하여 클러스터링 측정방법을 보여 준다. 둘째, 전체년도를 대상으로 하여, K-Means 군집모형을 이용하여 효율성 추세분석을 제시하고자 한다. 셋째, 계층적 군집모형을 이용하여 클러스터링을 측정한다. 넷째, 계층적 군집모형에 의해서 추출된 클러스터링 숫자를 이용하여 K-Means 군집모형을 이용하여 다시 한 번 클러스터링 후의 효율성을 측정한다. 다섯째, 국내항만들의 클러스터링 전과 후의 효율성 변화 여부를 측정한다. 여섯째, 위의 실증분석결과에 근거하여 측정방법을 비교한다. 각 국가별 아시아 컨테이너 항만들의 항만번호, 한글표기, 영문표기는 다음과 같다. 1. 사히드 라자이 Shahid Rajaee, 2. 하이파 Haifa, 3. 아카바 Aqaba, 4. 베이루트 Beirut, 5. 포트 술탄 카부스 Port Sultan Qaboos, 6. 젯다 Jeddah, 7. 담만 Damman, 8. 두바이 Duabi, 9. 크호르 파칸 Khor Fakkan, 10. 아덴 Aden, 11. 홍콩 Hong kong, 12. 상하이 Shanghai, 13. 광저우 Guangzhou, 14. 닝보 Ningbo, 15. 칭타오Qingdao, 16. 첸나이 Chennai, 17. 탄중 푸리옥 Tanjung Priok, 18. 탄중 퍼락 Tanjung Perak, 19. 토쿄 Tokyo, 20. 요코하마 Yokohama, 21. 코베 Kobe, 22. 나고야 Nagoya, 23. 오사카 Osaka, 24. 부산 Busan, 25. 인천 Incheon, 26. 광양 Gwangyang, 27. 포트 클랑 Port Klang, 28. 탄중 펠파스 Tanjung Pelpas, 29. 카라치 Karachi, 30. 포트 모하메드 빈 오아심 Port Mohammad Byin Oasim, 31. 마닐라 Manila, 32. 다바오 Davao, 33. 싱가포르 Singapore, 34. 콜롬보 Colombo, 35. 키

롱 Keelong, 36. 카오슝 Kaosiung, 37. 림 참방 Leam Chanbang, 38. 방콕 Bangkok. 또한 본 연구에서 사용한 자료의 기술적인 통계 수치에 대한 내용은 〈표 4〉와 같다.

(2) 실증분석에 사용한 자료에 대한 기술통계치

실증분석에 사용된 자료에 대한 기술통계치는 〈표 3〉에 제시하였다.

5개의 변수들(선석길이, 수심, 총면적, 크레인 수, 총 처리량)에 대한 첨도수치는 모두 정규분포 모형보다는 더 뾰족한 모형을 갖고 있으며, 왜도수치는 왼쪽꼬리를 보이는 수심을 제외하고 오른쪽 꼬리 모양을 갖고 있어서 평균이 중앙값보다 크게 나타났다. 최솟값과 최댓값은, DEA기법, K-Means법, 교차효율성 측정 등, 년도 별 상대적 효율성을 측정하는 데는 큰 문제는 없다고 본다.

(3) K-Means 군집모형(Rule of Thumb, Elbow Method)에 의한 군집 수의 도출 및 투입지향모형(CRS, 규모수확 불변)에 대한 군집 전과 후의 효율성 측정결과

1) Rule of Thumb과 Elbow Method에 의한 군집 수 도출

Rule of Thumb에 의한 군집 수 도출은 2006년의 경우 38개 항만임으로 2로 나누고 루트 값을 구하면 4.358개가 도출된다. 따라서 4개가 된다.

Elbow Method는 군집수를 2개부터 하나씩 증대시켜가면서 설명된 분산의 백분비(총 분산에 대한 그룹 간 분산의 비율)의 급격한 변화가 거의 없어질 때의 군집 수를 선택하는 것을 의미한다. 여기서는 그룹 내에서의 제곱 합(sum of squares)[원래의 값에서 평균을 빼서 나온 편차 값들을 제곱하여 모두 더한 값이다. 분산을 구하는 공식의 분자부분에 해당하는 값이다. 특히 분산분석에서 제곱 합이

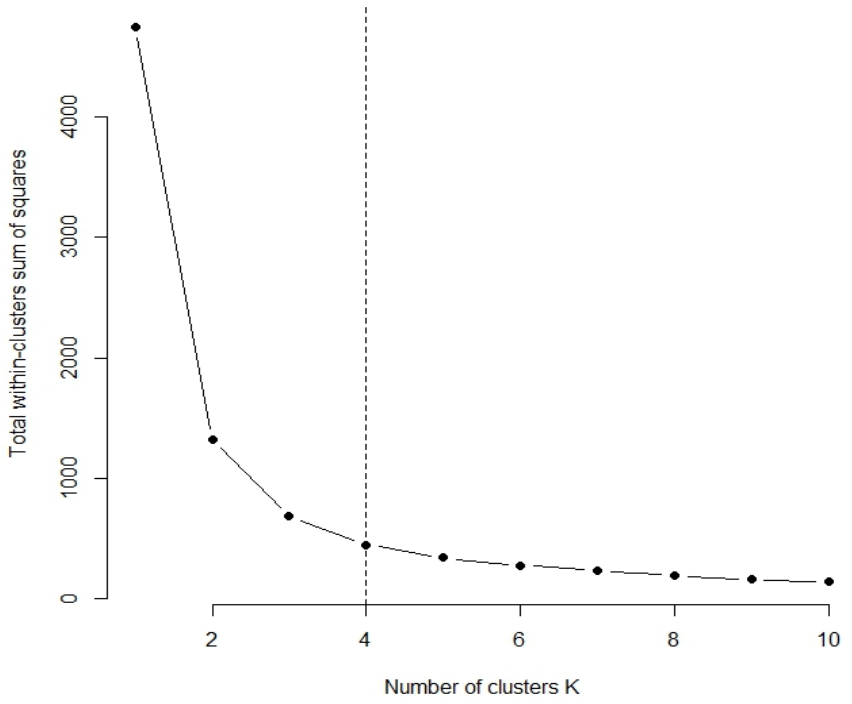
표 3. 실증분석에 사용된 기술통계치

구분/요소	선석길이	수심	총면적	크레인수	총처리량
평균	4638.60	12.99	1810226	81.50	7324203.87
표준편차	4386.32	1.91	1877079	97.99	17631353.76
분산	19239778	3.64	3.52343E+12	9602.01	3.10865E+14
중앙값	3624	13	1292310	46.46	2884114.5
첨도	17.99	1.05	4.46	6.45	150.54
왜도	3.23	-0.57	2.09	2.42	11.02
최소값	100	6.67	60000	2	125042
최대값	38109	18.95	10050300	507	271710000
관측수	380	380	380	380	380

사용되는데, 전체 제곱 합을 각 요인별 제곱 합과 오차 제곱 합으로 분해하여 각 요인의 효과를 분석함. 네이버 지식백과에서 인용함]을 이용하였다. 프로그램 R을 이용하여 도출한 그래프는 [그림 1]과 같다. 결론적으로 Elbow Method에 의해서 도출된 군집 수 도 4개가 되었다. 동일한 방법으로 2007년부터 2015년까지 실시하였으나 모두 유사한 그래프 형태를 보였다.

2) Rule of Thumb과 Elbow Method에 의한 클러스터링과 클러스터링 전과 후의 효율성 측정

4개의 군집 수를 적용한 K-Means모형에 의한 클러스터링은 〈표 4〉와 같으며, 클러스터링 전과 후의 효율성 측정결과는 〈표 5〉과 같다.



[그림 1] Elbow Method에 의한 총 클러스터 내의 제곱 합과 클러스터 수와의 그래프

표 4. 4개의 군집 수를 이용한 Rule of Thumb과 Elbow Method에 의한 클러스터링 결과

항만/구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	4	3	3	3	2	1	2	2	2	2
2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
3	4	2	3	3	2	2	2	2	2	2
4	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
5	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
6	4	3	3	3	2	1	1	1	1	1
7	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2
8	1	2	3	3	2	3	4	4	4	4
9	4	2	3	3	2	2	2	2	2	2
10	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2
11	1	4	1	3	1	3	4	4	4	3
12	3	1	4	1	1	3	3	3	3	3
13	1	2	3	3	3	1	4	4	4	1
14	4	2	3	3	2	1	2	2	2	1
15	4	2	3	3	2	1	4	4	4	1
16	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
17	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
18	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
19	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
20	2	2	3	3	2	1	2	2	2	2
21	2	2	3	3	2	1	2	2	2	2
22	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
23	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
24	1	2	4	3	4	3	4	4	4	4
25	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
26	4	2	3	3	2	1	1	1	1	1
27	4	2	3	3	3	4	4	4	4	1
28	4	2	3	3	2	1	1	1	1	1
29	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
30	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
31	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
32	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
33	1	1	4	4	4	3	4	4	4	4
34	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
35	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
36	2	2	3	3	2	1	2	2	2	1
37	1	2	3	3	3	3	4	4	4	1
38	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2

표 5. 10년 동안의 불변수확하의 투입지향모형에 대한 효율성 측정결과

항만/구분		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	군집 전	0.1983	0.3221	0.2851	0.3167	0.3009	0.0551	0.2256	0.1550	0.1445	0.1241
	RT	0.0549	0.5490	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7897	0.5757
	Elbow	0.0549	0.5490	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7897	0.5757
2	군집 전	0.0317	0.1858	0.1702	0.1643	0.1455	0.0284	0.1023	0.0917	0.0722	0.0682
	RT	0.0352	0.5490	0.4290	0.6431	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.4290	0.6431	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
3	군집 전	0.0221	0.2064	0.0277	0.4136	0.3221	0.0445	0.1860	0.2970	0.2649	0.2499
	RT	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
4	군집 전	0.0062	0.0759	0.0704	0.0972	0.4511	0.0285	0.0745	0.0727	0.0708	0.0628
	RT	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
5	군집 전	0.0078	0.0518	0.0820	0.1163	0.1045	0.0388	0.0965	0.0871	0.0777	0.0885
	RT	0.0352	0.5490	0.4298	0.6431	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	1.0
	Elbow	0.0352	0.5490	0.4298	0.6431	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	1.0
6	군집 전	0.1153	0.3556	0.2779	0.4072	0.2927	0.0449	0.2891	0.2514	0.2096	0.1942
	RT	0.0549	0.5490	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.5688	0.5459	0.5715	0.5757
	Elbow	0.0549	0.5490	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.5688	0.5459	0.5715	0.5757
7	군집 전	0.0284	0.2033	0.1682	0.2948	0.2640	0.0457	0.2694	0.2489	0.2339	0.2467
	RT	0.0352	0.5490	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	1.0
	Elbow	0.0352	0.5490	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	1.0
8	군집 전	0.0654	0.7648	0.8115	1.0	0.8641	0.0863	0.5902	0.5880	0.5958	0.6143
	RT	0.6831	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.1320	1.0	1.0	1.0	0.5757
	Elbow	0.6831	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.1320	1.0	1.0	1.0	0.5757
9	군집 전	0.0580	0.3957	0.3749	0.6587	0.4634	0.0915	0.5139	0.4413	0.3937	0.4048
	RT	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
10	군집 전	0.0140	0.0969	0.0790	0.0902	0.0725	0.0056	0.0426	0.0424	0.0379	0.0220
	RT	0.0549	0.5490	0.4298	0.6431	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0549	0.5490	0.4298	0.6431	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
11	군집 전	0.1272	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1528	1.0	0.9412	0.8739	0.7694
	RT	0.0683	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1320	1.0	1.0	0.9520	0.5757
	Elbow	0.0683	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1320	1.0	1.0	0.9520	0.5757
12	군집 전	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2238	1.0	1.0	1.0	1.0
	RT	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1320	1.0	1.0	1.0	1.0
	Elbow	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1320	1.0	1.0	1.0	1.0

13	군집 전	0.0999	0.8847	0.9800	1.0	0.8075	0.1204	0.7222	0.7040	0.6871	0.7159
	RT	0.0683	0.7949	0.8442	1.0	1.0	0.0823	1.0	1.0	0.9520	1.0
	Elbow	0.0683	0.7949	0.8442	1.0	1.0	0.0823	1.0	1.0	0.9520	1.0
14	군집 전	0.1407	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5035	1.0	1.0	1.0	1.0
	RT	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7399	1.0
	Elbow	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7399	1.0
15	군집 전	0.0543	0.8166	0.7389	0.8167	0.7761	0.1086	0.8343	0.8228	0.7955	0.7965
	RT	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	1.0	1.0	0.9520	1.0
	Elbow	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	1.0	1.0	0.9520	1.0
16	군집 전	0.0543	0.8166	0.7389	0.8167	0.7761	0.1086	0.8343	0.8228	0.7955	0.7965
	RT	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
17	군집 전	0.0467	0.3578	0.3633	0.4220	0.5750	0.0745	0.4448	0.4327	0.3856	0.2921
	RT	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
18	군집 전	0.0160	0.2406	0.2409	0.2900	0.4620	0.0872	0.2875	0.2735	0.2525	0.2393
	RT	0.0352	0.5490	0.4298	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.4298	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
19	군집 전	0.0541	0.3205	0.2979	0.3114	0.3176	0.0500	0.3287	0.3085	0.2857	0.2511
	RT	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
20	군집 전	0.0363	0.2958	0.2871	0.2382	0.2121	0.0434	0.1722	0.1513	0.1377	0.1297
	RT	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
21	군집 전	0.0266	0.2043	0.1946	0.2070	0.1685	0.0235	0.1460	0.1359	0.1272	0.1261
	RT	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
22	군집 전	0.0267	0.2371	0.1929	0.1966	0.2170	0.0475	0.2175	0.2004	0.1807	0.1638
	RT	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
23	군집 전	0.0304	0.2205	0.2017	0.1770	0.0955	0.0411	0.1496	0.1425	0.1293	0.1121
	RT	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
24	군집 전	0.0538	0.6796	0.6716	0.6214	0.5682	0.1020	0.6973	0.7048	0.6995	0.7123
	RT	0.6831	0.7949	1.0	1.0	0.7551	0.1320	1.0	1.0	0.9520	1.0
	Elbow	0.6831	0.7949	1.0	1.0	0.7551	0.1320	1.0	1.0	0.9520	1.0
25	군집 전	0.0417	0.2715	0.2698	0.2671	0.2304	0.0937	0.2030	0.1999	0.1927	0.1850
	RT	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.5459	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.5459	0.7399	0.5757

26	군집 전	0.0342	0.1823	0.1843	0.1970	0.1607	0.0475	0.2290	0.2193	0.2003	0.1880
	RT	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.5688	0.5459	0.5459	1.0
	Elbow	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.5688	0.5459	0.5459	1.0
27	군집 전	0.0549	0.4974	0.5152	0.5150	0.4731	1.0	0.5323	0.5157	0.4970	0.5162
	RT	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9592	1.0
	Elbow	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9592	1.0
28	군집 전	0.0764	0.5090	0.4938	0.9777	0.8621	0.0789	0.4263	0.3814	0.3814	0.3837
	RT	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.5688	0.5459	0.5459	1.0
	Elbow	0.0549	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.5688	0.5459	0.5459	1.0
29	군집 전	0.0464	0.2851	0.1986	0.3803	0.3256	0.0436	0.2280	0.2199	0.1962	0.1850
	RT	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
30	군집 전	0.0398	0.2413	0.2180	0.4370	0.3702	0.0554	0.2898	0.2178	0.1943	0.2942
	RT	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
31	군집 전	0.0275	0.4328	0.3958	0.3167	0.0111	0.0383	0.3515	0.3365	0.4319	0.3110
	RT	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
32	군집 전	0.0716	0.4026	0.1970	0.1449	0.1803	0.0690	0.2357	1.0	1.0	1.0
	RT	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
33	군집 전	0.1307	1.0	1.0	0.9943	1.0	0.1996	1.0	1.0	1.0	1.0
	RT	0.6831	1.0	1.0	1.0	0.9838	0.0479	1.0	1.0	0.9520	1.0
	Elbow	0.6831	1.0	1.0	1.0	0.9838	0.0479	1.0	1.0	0.9520	1.0
34	군집 전	0.0982	0.5791	0.5265	0.5464	0.3634	0.0701	0.3617	0.3365	0.3422	0.3410
	RT	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
35	군집 전	0.2899	0.3620	0.2929	0.2404	0.2284	0.1050	0.3292	0.2692	0.2779	0.2380
	RT	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.8442	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
36	군집 전	0.1268	0.8992	0.7854	0.8068	0.6298	0.1849	0.5829	0.5464	0.5275	0.4918
	RT	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7399	1.0
	Elbow	0.0352	0.7949	0.8442	1.0	0.9838	0.0823	0.7288	0.7723	0.7399	1.0
37	군집 전	0.0212	0.2272	0.2381	0.2744	0.2279	0.0374	0.2282	0.2264	0.2312	0.2397
	RT	0.6831	0.7949	0.8442	1.0	1.0	0.1320	1.0	1.0	0.9520	1.0
	Elbow	0.6831	0.7949	0.8442	1.0	1.0	0.1320	1.0	1.0	0.9520	1.0
38	군집 전	0.0395	0.2437	0.2069	0.2069	0.1727	0.0320	0.1281	0.1382	0.1265	0.1214
	RT	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757
	Elbow	0.0352	0.5490	0.4299	0.6432	0.9838	0.0479	0.7288	0.7723	0.7399	0.5757

〈표 5〉에서 군집전의 효율성과 군집후의 효율성 변화를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 가장 크게 효율성이 향상된 항만은 림차방항 37번(0.6455 증가), 베이루트항 4번(0.5513 증가)항만이었으며, 효율성이 하락한 항만들은 홍콩항 11번(-0.1365 감소), 상하이항 12번(-0.0092 감소), 닝보항 14번(-0.1643 감소), 첸나이항 16번(-0.0640 감소) 항만이었다. 그 이유는 상대적으로 효율성이 낮았던 항만들은 클러스터링을 통해서 효율성이 상승하였으며, 상대적으로 높았던 항만들은 클러스터링을 함으로써 효율성이 낮아진 이유 때문으로 추정된다. 둘째, 클러스터링을 한 후에 전체 항만들의 10년 동안 평균 효율성 상승률은 약 30.47%로 나타났다.

(4) 계층적 군집모형(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)에 의한 군집 수의 도출 및 투입지향모형(CRS, 규모수확 불변)에 대한 효율성 측정결과

표 6. 평균연결법과 Ward법에 의한 클러스터링 결과

항만/구분	2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W
1	5	2	3	3	4	1	2	3	2	4	3	1	1	1	1	1	3	1	2	1
2	6	3	3	1	5	4	1	4	3	1	5	2	3	1	4	2	1	2	4	2
3	3	1	1	3	7	2	5	1	1	4	1	1	1	1	1	1	4	1	2	1
4	5	4	5	5	2	1	2	1	1	4	5	2	4	1	3	2	5	2	3	2
5	3	2	1	1	6	1	1	1	1	1	5	3	1	3	1	3	4	3	2	3
6	3	1	4	5	4	2	2	3	2	4	1	4	2	4	2	4	6	4	1	4
7	5	2	1	3	5	2	1	1	1	4	3	1	1	1	1	1	4	1	2	1
8	4	5	5	4	2	3	1	2	3	3	7	5	6	5	4	5	1	5	4	5
9	5	1	1	3	6	2	1	1	1	4	2	1	1	1	1	1	4	1	2	1
10	6	1	3	1	5	4	1	4	1	1	1	3	1	3	1	3	3	3	2	3
11	6	5	6	6	1	5	6	5	6	6	6	5	6	5	4	5	1	5	4	5
12	6	6	6	6	2	5	3	5	4	6	6	5	5	5	5	5	2	5	5	5
13	3	4	4	4	3	3	4	2	4	5	3	4	4	4	3	4	5	4	3	4
14	6	1	3	4	5	3	5	2	5	3	5	1	3	4	3	4	6	4	6	4
15	6	5	5	4	2	3	3	2	4	3	3	4	6	4	4	4	1	4	4	4
16	2	2	1	3	7	2	5	1	1	4	1	1	1	1	1	1	4	1	2	1
17	2	4	6	5	1	1	2	1	2	2	1	2	4	2	3	2	5	2	3	2
18	1	3	6	2	1	4	2	4	2	1	3	3	2	3	2	3	6	3	1	3
19	1	4	6	5	1	2	2	3	3	4	2	2	6	2	4	2	1	2	4	2
20	2	4	6	5	3	2	4	3	4	4	5	4	5	2	5	2	2	2	5	2
21	1	4	6	3	1	2	2	3	6	2	5	4	6	2	4	2	1	2	4	2
22	3	4	5	5	3	3	1	3	3	4	2	2	2	1	2	2	6	2	1	2
23	1	4	6	5	3	1	4	1	4	2	5	4	5	2	5	2	2	2	5	2
24	1	6	6	6	1	5	6	5	6	6	7	5	6	5	4	5	1	5	4	5
25	1	2	1	3	7	1	5	1	1	2	5	2	1	1	1	2	4	2	2	2
26	2	1	4	3	4	2	4	3	3	4	3	4	1	4	1	4	3	4	2	4
27	6	5	5	4	1	3	3	2	4	5	7	5	6	4	4	4	1	4	4	4
28	3	1	4	3	4	2	2	2	2	4	1	4	2	4	2	4	6	4	1	4

29	5	2	2	1	6	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	2	4	2	2	2
30	5	3	2	1	6	4	1	4	1	1	1	3	1	3	1	3	4	3	2	3
31	1	4	6	2	1	4	6	4	6	2	7	3	6	3	4	3	1	3	4	3
32	4	3	2	1	7	4	5	4	1	1	5	3	1	3	1	3	4	3	2	3
33	4	5	5	6	2	5	3	5	6	6	4	5	6	5	4	5	1	5	4	5
34	5	2	3	5	5	1	1	1	3	2	1	2	2	2	1	2	3	2	2	2
35	2	2	2	3	7	1	5	1	5	2	5	2	6	1	5	2	2	2	6	2
36	1	4	6	4	3	3	6	2	6	3	5	4	6	4	4	2	1	2	4	2
37	3	5	6	6	1	5	6	5	6	5	4	4	6	4	4	4	1	4	4	4
38	2	3	4	2	4	4	6	4	3	1	3	3	4	3	3	3	5	3	3	3

표 7. 클러스터링 전과 교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결모형과 Ward 모형에 의한 클러스터링 후의 불변수확하의 투입지향모형에 의한 효율성 측정결과

항만/구분		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	전	0.1983	0.3221	0.2851	0.3167	0.3009	0.0551	0.2256	0.1550	0.1445	0.1241
	AL	0.0808	1.0000	0.7570	0.5988	0.7926	0.8705	0.4315	0.5715	0.4753	0.4696
	W	0.1057	0.5981	0.4860	0.3710	0.4735	0.3462	0.5328	0.7004	0.7004	0.7004
2	전	0.0317	0.1858	0.1702	0.1643	0.1455	0.0284	0.1023	0.0917	0.0722	0.0682
	AL	1.0000	1.0000	1.0000	0.9793	0.5705	1.0000	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.0445	0.3418	0.4345	0.2967	0.3252	0.2924	0.5328	0.6561	0.6561	0.6561
3	전	0.0221	0.2064	0.0277	0.4136	0.3221	0.0445	0.1860	0.2970	0.2649	0.2499
	AL	0.1219	0.6704	1.0000	1.0000	0.4737	0.7690	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.1946	0.5981	0.6138	0.4071	0.4735	0.3462	0.5328	0.7004	0.7004	0.7004
4	전	0.0062	0.0759	0.0704	0.0972	0.4511	0.0285	0.0745	0.0727	0.0708	0.0628
	AL	0.0808	1.0000	1.0000	0.5988	0.4737	1.0000	0.7120	1.0000	0.8500	0.6050
	W	0.0831	0.3803	0.4860	0.4071	0.4735	0.2924	0.5328	0.6561	0.6561	0.6561
5	전	0.0078	0.0518	0.0820	0.1163	0.1045	0.0388	0.0965	0.0871	0.0777	0.0885
	AL	0.1219	0.6704	0.6092	0.9793	0.4737	1.0000	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.1057	0.3418	0.4860	0.4071	0.3252	0.2062	0.4522	0.5180	0.5180	0.5180
6	전	0.1153	0.3556	0.2779	0.4072	0.2927	0.0449	0.2891	0.2514	0.2096	0.1942
	AL	0.1219	1.0000	0.7570	0.5988	0.7926	0.7690	0.5749	0.5872	1.0000	0.4614
	W	0.1946	0.3803	0.6138	0.3710	0.4735	0.3410	1.0000	0.9837	0.9837	0.9837
7	전	0.0284	0.2033	0.1682	0.2948	0.2640	0.0457	0.2694	0.2489	0.2339	0.2467
	AL	0.0808	0.6704	1.0000	0.5988	0.4737	0.8705	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.1057	0.5981	0.6138	0.4071	0.4735	0.3462	0.5328	0.7004	0.7004	0.7004
8	전	0.0654	0.7648	0.8115	1.0	0.8641	0.0863	0.5902	0.5880	0.5958	0.6143
	AL	0.4122	1.0000	1.0000	0.9793	0.5705	0.7849	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.2311	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

9	전	0.0580	0.3957	0.3749	0.6587	0.4634	0.0915	0.5139	0.4413	0.3937	0.4048
	AL	0.0808	0.6704	0.6092	0.9793	0.4737	0.7006	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.1946	0.5981	0.6138	0.4071	0.4735	0.3462	0.5328	0.7004	0.7004	0.7004
10	전	0.0140	0.0969	0.0790	0.0902	0.0725	0.0056	0.0426	0.0424	0.0379	0.0220
	AL	1.0000	1.0000	1.0000	0.9793	0.4737	0.7690	0.4315	0.5715	0.4753	0.4696
	W	0.1946	0.4456	0.4345	0.2967	0.3252	0.2062	0.4522	0.5180	0.5180	0.5180
11	전	0.1272	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1528	1.0	0.9412	0.8739	0.7694
	AL	1.0000	1.0000	0.8902	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.2311	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
12	전	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2238	1.0	1.0	1.0	1.0
	AL	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	W	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
13	전	0.0999	0.8847	0.9800	1.0	0.8075	0.1204	0.7222	0.7040	0.6871	0.7159
	AL	0.1219	1.0000	0.9028	0.9072	1.0000	0.8705	0.7120	1.0000	0.8500	0.6050
	W	0.0831	1.0000	1.0000	1.0000	0.6103	0.3410	1.0000	0.9837	0.9837	0.9837
14	전	0.1407	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5035	1.0	1.0	1.0	1.0
	AL	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	W	0.1946	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.3462	1.0000	0.9837	0.9837	0.9837
15	전	0.0543	0.8166	0.7389	0.8167	0.7761	0.1086	0.8343	0.8228	0.7955	0.7965
	AL	1.0000	0.9983	1.0000	1.0000	1.0000	0.8705	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.2311	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.3410	1.0000	0.9837	0.9837	0.9837
16	전	0.0543	0.8166	0.7389	0.8167	0.7761	0.1086	0.8343	0.8228	0.7955	0.7965
	AL	0.1570	0.6704	1.0000	1.0000	0.4737	0.7690	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.1057	0.5981	0.6138	0.4071	0.4735	0.3462	0.5328	0.7004	0.7004	0.7004
17	전	0.0467	0.3578	0.3633	0.4220	0.5750	0.0745	0.4448	0.4327	0.3856	0.2921
	AL	0.1570	1.0000	0.8902	0.5988	0.7926	0.7690	0.7120	1.0000	0.8500	0.6050
	W	0.0831	0.3803	0.4860	0.4071	0.2089	0.2924	0.5248	0.6561	0.6561	0.6561
18	전	0.0160	0.2406	0.2409	0.2900	0.4620	0.0872	0.2875	0.2735	0.2525	0.2393
	AL	0.1504	1.0000	0.8902	0.5988	0.7926	0.8705	0.4315	0.5872	1.0000	0.4614
	W	0.0445	0.4591	0.4345	0.2967	0.3252	0.2062	0.4522	0.5180	0.5180	0.5180
19	전	0.0541	0.3205	0.2979	0.3114	0.3176	0.0500	0.3287	0.3085	0.2857	0.2511
	AL	0.1504	1.0000	0.8902	0.5988	0.5705	0.7006	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.0831	0.3803	0.6138	0.3710	0.4735	0.2924	0.5248	0.6561	0.6561	0.6561
20	전	0.0363	0.2958	0.2871	0.2382	0.2121	0.0434	0.1722	0.1513	0.1377	0.1297
	AL	0.1570	1.0000	0.9028	0.9072	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	W	0.0831	0.3803	0.6138	0.3710	0.4735	0.3410	0.5248	0.6561	0.6561	0.6561
21	전	0.0266	0.2043	0.1946	0.2070	0.1685	0.0235	0.1460	0.1359	0.1272	0.1261
	AL	0.1504	1.0000	0.8902	0.9793	1.0000	1.0000	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.0831	0.5981	0.6138	0.3710	0.2089	0.3410	0.5248	0.6561	0.6561	0.6561

22	전	0.0267	0.2371	0.1929	0.1966	0.2170	0.0475	0.2175	0.2004	0.1807	0.1638
	AL	0.1219	1.0000	0.9028	0.9793	0.5705	0.7006	0.4315	0.5872	1.0000	0.4614
	W	0.0831	0.3803	1.0000	0.3710	0.4735	0.2924	0.5328	0.6561	0.6561	0.6561
23	전	0.0304	0.2205	0.2017	0.1770	0.0955	0.0411	0.1496	0.1425	0.1293	0.1121
	AL	0.1504	1.0000	0.9028	0.9072	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	W	0.0831	0.3803	0.4860	0.4071	0.2089	0.3410	0.5248	0.6561	0.6561	0.6561
24	전	0.0538	0.6796	0.6716	0.6214	0.5682	0.1020	0.6973	0.7048	0.6995	0.7123
	AL	0.1504	1.0000	0.8902	1.0000	1.0000	0.7849	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
25	전	0.0417	0.2715	0.2698	0.2671	0.2304	0.0937	0.2030	0.1999	0.1927	0.1850
	AL	0.1504	0.6704	1.0000	1.0000	0.4737	1.0000	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.1057	0.5981	0.4860	0.4071	0.2089	0.2924	0.5328	0.6561	0.6561	0.6561
26	전	0.0342	0.1823	0.1843	0.1970	0.1607	0.0475	0.2290	0.2193	0.2003	0.1880
	AL	0.1570	1.0000	0.7570	0.9072	0.5705	0.8705	0.4315	0.5715	0.4753	0.4696
	W	0.1946	0.5981	0.6138	0.3710	0.4735	0.3410	1.0000	0.9837	0.9837	0.9837
27	전	0.0549	0.4974	0.5152	0.5150	0.4731	1.0	0.5323	0.5157	0.4970	0.5162
	AL	1.0000	0.7364	0.8902	1.0000	1.0000	0.7849	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.2311	1.0000	1.0000	1.0000	0.6103	1.0000	1.0000	0.9837	0.9837	0.9837
28	전	0.0764	0.5090	0.4938	0.9777	0.8621	0.0789	0.4263	0.3814	0.3814	0.3837
	AL	0.1219	1.0000	0.7570	0.5988	0.7926	0.7690	0.4315	0.5872	1.0000	0.4614
	W	0.1946	0.5981	0.6138	1.0000	0.4735	0.3410	1.0000	0.9837	0.9837	0.9837
29	전	0.0464	0.2851	0.1986	0.3803	0.3256	0.0436	0.2280	0.2199	0.1962	0.1850
	AL	0.0808	0.7621	0.6092	0.9793	0.4737	0.8705	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.1057	0.2571	0.4860	0.4071	0.3252	0.2924	0.5328	0.6561	0.6561	0.6561
30	전	0.0398	0.2413	0.2180	0.4370	0.3702	0.0554	0.2898	0.2178	0.1943	0.2942
	AL	0.0808	0.7621	0.6092	0.9793	0.4737	0.7690	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.0445	1.0000	0.4345	0.2967	0.3252	0.2062	0.4522	0.5180	0.5180	0.5180
31	전	0.0275	0.4328	0.3958	0.3167	0.0111	0.0383	0.3515	0.3365	0.4319	0.3110
	AL	0.0808	1.0000	0.8902	1.0000	1.0000	0.6182	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.0831	0.4591	0.4345	0.2967	0.2089	0.2062	0.4522	0.5180	0.5180	0.5180
32	전	0.0716	0.4026	0.1970	0.1449	0.1803	0.0690	0.2357	1.0	1.0	1.0
	AL	0.4122	1.0000	1.0000	1.0000	0.4737	1.0000	0.4315	0.5715	0.9578	0.4696
	W	0.0445	0.7572	0.4345	0.2967	0.3252	0.2062	0.4522	0.5180	0.5180	0.5180
33	전	0.1307	1.0	1.0	0.9943	1.0	0.1996	1.0	1.0	1.0	1.0
	AL	0.4122	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.2311	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
34	전	0.0982	0.5791	0.5265	0.5464	0.3634	0.0701	0.3617	0.3365	0.3422	0.3410
	AL	0.0808	1.0000	1.0000	0.9793	0.5705	0.7690	0.4315	0.5715	0.4753	0.4696
	W	0.1057	0.3803	0.4860	0.4071	0.2089	0.2924	0.5248	0.6561	0.6561	0.6561

35	전	0.2899	0.3620	0.2929	0.2404	0.2284	0.1050	0.3292	0.2692	0.2779	0.2380
	AL	0.1570	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	W	0.1057	0.5981	0.4860	0.4071	0.2089	0.2924	0.5328	0.6561	0.6561	0.6561
36	전	0.1268	0.8992	0.7854	0.8068	0.6298	0.1849	0.5829	0.5464	0.5275	0.4918
	AL	0.0808	1.0000	0.9028	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.0831	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.3410	1.0000	0.6561	0.6561	0.6561
37	전	0.0212	0.2272	0.2381	0.2744	0.2279	0.0374	0.2282	0.2264	0.2312	0.2397
	AL	0.1219	1.0000	0.8902	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9305	1.0000	0.9379
	W	0.2311	1.0000	1.0000	1.0000	0.6103	0.3410	1.0000	0.9837	0.9837	0.9837
38	전	0.0395	0.2437	0.2069	0.2069	0.1727	0.0320	0.1281	0.1382	0.1265	0.1214
	AL	0.1570	1.0000	0.7570	1.0000	0.5705	0.8705	0.7120	1.0000	0.8500	0.6050
	W	0.0445	0.4591	0.4345	0.2967	0.3252	0.2062	0.4522	0.5180	0.5180	0.5180

〈표 7〉에서 군집전의 효율성과 군집후의 효율성 변화를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 평균연결법에 의한 클러스터링 후의 분석에을 검토해 보면 ①가장 크게 효율성이 향상된 항만은 하이파항 2번(83.58%), 오사카항 23번(76.61%), 코베항 21번(75.29%), 요코하마항 20번(72.63%)항만이었으며, 가장 적게 증진된 곳은 상해항 12번(7.76%)이었다. ②효율성이 하락한 항만들은 첸나이항 16번(-0.0598%) 항만이었다. ③ 전체 평균적으로 42.04%의 효율성 증가를 시현하였다. 둘째, Ward법에 의한 클러스터링을 한 후에 ① 가장 효율성이 크게 증가한 항만은 림차방항 37번(61.82%), 광양항 26번(49.01%), 제다항 6번(38.87%) 항만들로 나타났다. ② 효율성이 감소한 항만들은 닝보항 14번(-1.52%), 첸나이항 16번(13.82%), 다바오항 32번(2.31%)항만들로 나타났다. ③ 전체 평균적으로 23.65%의 효율성 상승을 나타냈다. 두 가지 모형을 통한 클러스터링 후의 효율성 변화를 살펴보면, 평균연결법에 의한 클러스터링을 통한 효율성 증진이 Ward법에 의한 효율성 증진보다 더 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 항만클러스터링 전후에 따라 항만효율성이 차이가 나는 이유는 첫째는 측정모형이 가지고 있는 특성 때문에 발생되는 이유이며, 둘째, 벤치마킹 또는 최적클러스터링 모형에 근거하여, 클러스터링 된 후에 효율성을 측정하기 때문에 발생하는 자연스러운 현상이라고 볼 수 있다. 단, 본 연구에서 제시된 최적군집 수는 모형에 따라서 측정한 측정결과이며, 다른 갯수의 군집 수가 개별 항만에 따라서 최적군집이 될 수 도 있으므로 절대적이 아님을 유념해야만 한다.

(5) 혼합모형[계층적 군집모형(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)에 의해 도출된 군집 수를 K-Means군집모형에 적용한 모형]에 의한 클러스터링 및 효율성 측정

표 8. 평균연결법과 Ward법에 의해서 도출된 군집 수를 K-Means법에 적용한 후에 도출된 혼합모형에 대한 클러스터링

항만/년도/구분/군집수	2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W	AL	W
	6	5	6	6	7	5	6	5	6	6	7	5	6	5	5	5	6	5	6	5
1	5	3	5	5	3	3	4	3	3	3	5	2	5	2	2	2	5	2	5	2
2	2	5	6	6	2	2	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	3	5	5	3	3	1	3	3	3	5	5	5	2	2	2	5	2	5	2
4	4	5	5	5	3	3	4	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	2	5	6	6	3	2	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	5	3	6	6	4	3	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	5	5	5	3	3	1	3	3	3	5	2	5	2	2	2	5	2	5	2
8	1	4	5	5	4	3	4	3	3	3	7	3	4	3	3	3	4	3	4	3
9	5	3	5	5	3	3	1	3	3	3	5	2	5	2	2	2	5	2	5	2
10	5	3	6	6	2	2	1	2	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11	1	4	4	4	7	5	5	1	1	1	4	1	4	1	1	1	4	1	4	1
12	6	2	1	1	1	1	6	4	1	1	4	1	3	1	1	1	3	1	3	1
13	4	4	5	5	4	4	4	3	4	4	6	2	2	3	3	3	2	3	2	3
14	5	3	5	5	4	3	4	3	3	3	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15	1	4	5	5	4	3	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
16	5	3	5	5	3	3	1	3	5	5	5	5	5	2	2	2	5	2	5	2
17	4	5	5	5	3	3	1	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
18	2	5	6	6	2	2	2	2	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
19	4	5	5	5	4	3	4	3	3	3	5	5	5	2	2	2	5	2	5	2
20	4	5	5	5	4	3	4	3	3	3	5	2	2	2	2	2	2	2	5	2
21	4	5	5	5	4	3	4	3	5	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
22	4	5	5	5	4	3	4	3	3	3	5	5	5	2	2	2	5	2	5	2
23	4	5	5	5	3	3	1	3	5	5	5	2	5	2	2	2	5	2	5	2
24	3	1	2	2	6	4	5	1	2	2	7	3	4	3	3	3	4	3	4	3
25	2	5	5	5	3	3	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
26	5	3	5	5	3	3	4	3	3	3	6	2	6	4	4	4	6	4	6	4
27	4	4	5	5	4	3	4	3	4	4	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2
28	5	3	5	5	4	3	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
29	2	5	6	6	3	2	1	2	5	5	5	5	5	2	2	2	5	2	5	2
30	2	5	6	6	2	2	1	2	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
31	2	5	6	6	2	2	2	2	6	6	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
32	2	5	6	6	2	2	1	2	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
33	1	4	3	3	5	1	3	5	2	2	7	3	1	3	3	3	1	3	1	3
34	2	5	5	5	3	3	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
35	2	5	5	5	3	3	1	3	5	5	5	5	5	2	2	2	5	2	5	2
36	4	5	5	5	4	3	4	3	3	3	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
37	1	4	2	2	6	4	4	1	4	4	7	3	2	3	3	3	2	3	2	3
38	2	5	6	6	2	2	2	2	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5

표 9. 클러스터링 전과 교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결모형과 Ward 모형에 의한 군집 수를 K-Means 군집모형에 적용한 후의 클러스터링 후의 불변수확하의 투입지향모형에 의한 효율성 측정결과

항만/구분		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	전	0.1983	0.3221	0.2851	0.3167	0.3009	0.0551	0.2256	0.1550	0.1445	0.1241
	혼합AL	0.0551	0.8144	0.4823	0.8259	1.0000	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0551	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
2	전	0.0317	0.1858	0.1702	0.1643	0.1455	0.0284	0.1023	0.0917	0.0722	0.0682
	혼합AL	0.0330	0.4537	0.4176	0.6281	0.6591	0.0686	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.4537	0.4806	0.4699	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
3	전	0.0221	0.2064	0.0277	0.4136	0.3221	0.0445	0.1860	0.2970	0.2649	0.2499
	혼합AL	0.0551	0.8144	0.4823	0.6281	1.0000	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0551	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0445	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
4	전	0.0062	0.0759	0.0704	0.0972	0.4511	0.0285	0.0745	0.0727	0.0708	0.0628
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.4823	0.8259	1.0000	0.0686	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
5	전	0.0078	0.0518	0.0820	0.1163	0.1045	0.0388	0.0965	0.0871	0.0777	0.0885
	혼합AL	0.0330	0.4537	0.4823	0.6281	0.6591	0.0686	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.4537	0.5679	0.4899	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
6	전	0.1153	0.3556	0.2779	0.4072	0.2927	0.0449	0.2891	0.2514	0.2096	0.1942
	혼합AL	0.0551	0.4537	0.8467	0.8259	1.0000	0.0810	0.7392	0.9317	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0551	0.4537	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
7	전	0.0284	0.2033	0.1682	0.2948	0.2640	0.0457	0.2694	0.2489	0.2339	0.2467
	혼합AL	0.0330	0.8144	0.4823	0.6281	1.0000	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
8	전	0.0654	0.7648	0.8115	1.0	0.8641	0.0863	0.5902	0.5880	0.5958	0.6143
	혼합AL	0.0672	0.8144	0.6577	0.8259	1.0000	0.0988	0.9255	1.0000	0.9255	0.9255
	혼합W	0.0672	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0988	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
9	전	0.0580	0.3957	0.3749	0.6587	0.4634	0.0915	0.5139	0.4413	0.3937	0.4048
	혼합AL	0.0551	0.8144	0.4823	0.6281	1.0000	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0551	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
10	전	0.0140	0.0969	0.0790	0.0902	0.0725	0.0056	0.0426	0.0424	0.0379	0.0220
	혼합AL	0.0551	0.4537	0.4176	0.6281	0.6591	0.0413	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0551	0.4537	0.4806	0.4899	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
11	전	0.1272	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1528	1.0	0.9412	0.8739	0.7694
	혼합AL	0.0672	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1862	0.9255	1.0000	0.9255	0.9255
	혼합W	0.0672	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1862	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
12	전	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2238	1.0	1.0	1.0	1.0
	혼합AL	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1862	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	혼합W	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1862	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
13	전	0.0999	0.8847	0.9800	1.0	0.8075	0.1204	0.7222	0.7040	0.6871	0.7159
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.8467	0.8259	0.7786	0.0985	0.7392	1.0000	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0448	0.8144	0.6979	1.0000	0.7786	0.0833	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
14	전	0.1407	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5035	1.0	1.0	1.0	1.0
	혼합AL	0.0551	0.8144	0.8467	0.8259	1.0000	0.0686	0.7392	0.9317	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0551	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
15	전	0.0543	0.8166	0.7389	0.8167	0.7761	0.1086	0.8343	0.8228	0.7955	0.7965
	혼합AL	0.0672	0.8144	0.8467	0.8259	1.0000	0.0810	0.7392	0.9317	0.7392	0.7392

	혼합W	0.0672	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
16	전	0.0543	0.8166	0.7389	0.8167	0.7761	0.1086	0.8343	0.8228	0.7955	0.7965
	혼합AL	0.0551	0.8144	0.4823	0.6281	0.6591	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0551	0.8144	0.9006	1.0000	0.6591	0.0445	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
17	전	0.0467	0.3578	0.3633	0.4220	0.5750	0.0745	0.4448	0.4327	0.3856	0.2921
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.4823	0.6281	0.6591	0.0413	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
18	전	0.0160	0.2406	0.2409	0.2900	0.4620	0.0872	0.2875	0.2735	0.2525	0.2393
	혼합AL	0.0330	0.4537	0.4176	0.4963	0.6591	0.0413	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.4537	0.4806	0.4899	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
19	전	0.0541	0.3205	0.2979	0.3114	0.3176	0.0500	0.3287	0.3085	0.2857	0.2511
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.8467	0.8259	1.0000	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0445	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
20	전	0.0363	0.2958	0.2871	0.2382	0.2121	0.0434	0.1722	0.1513	0.1377	0.1297
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.8467	0.8259	1.0000	0.0686	0.7392	0.9317	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
21	전	0.0266	0.2043	0.1946	0.2070	0.1685	0.0235	0.1460	0.1359	0.1272	0.1261
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.8467	0.8259	0.6591	0.0686	0.7392	0.9317	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	0.6591	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
22	전	0.0267	0.2371	0.1929	0.1966	0.2170	0.0475	0.2175	0.2004	0.1807	0.1638
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.8467	0.8259	1.0000	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	1.000	0.0445	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
23	전	0.0304	0.2205	0.2017	0.1770	0.0955	0.0411	0.1496	0.1425	0.1293	0.1121
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.4823	0.6281	0.8591	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	0.6591	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
24	전	0.0538	0.6796	0.6716	0.6214	0.5682	0.1020	0.6973	0.7048	0.6995	0.7123
	혼합AL	0.0538	0.5208	0.5121	1.0000	1.0000	0.0988	0.9255	1.0000	0.9255	0.9255
	혼합W	0.0538	0.5208	0.6979	1.0000	1.0000	0.0988	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
25	전	0.0417	0.2715	0.2698	0.2671	0.2304	0.0937	0.2030	0.1999	0.1927	0.1850
	혼합AL	0.0330	0.8144	0.4823	0.6281	0.6591	0.0686	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.8144	0.9006	1.0000	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
26	전	0.0342	0.1823	0.1843	0.1970	0.1607	0.0475	0.2290	0.2193	0.2003	0.1880
	혼합AL	0.0551	0.8144	0.8423	0.8259	1.0000	0.0985	0.3719	0.5430	0.3719	0.3719
	혼합W	0.0551	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.5430	0.5430	0.5430	0.5430
27	전	0.0549	0.4974	0.5152	0.5150	0.4731	1.0	0.5323	0.5157	0.4970	0.5162
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.8467	0.8259	0.7786	1.0000	0.7392	0.9317	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	0.7786	1.0000	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
28	전	0.0764	0.5090	0.4938	0.9777	0.8621	0.0789	0.4263	0.3814	0.3814	0.3837
	혼합AL	0.0551	0.8144	0.8467	0.8259	1.0000	0.0810	0.7392	0.9317	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0551	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
29	전	0.0464	0.2851	0.1986	0.3803	0.3256	0.0436	0.2280	0.2199	0.1962	0.1850
	혼합AL	0.0330	0.4537	0.4823	0.6281	0.6591	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.4537	0.4806	0.4899	0.6591	0.0445	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
30	전	0.0398	0.2413	0.2180	0.4370	0.3702	0.0554	0.2898	0.2178	0.1943	0.2942
	혼합AL	0.0330	0.4537	0.4176	0.6281	0.6591	0.0413	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.4537	0.4806	0.4899	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
31	전	0.0275	0.4328	0.3958	0.3167	0.0111	0.0383	0.3515	0.3365	0.4319	0.3110
	혼합AL	0.0330	0.4537	0.4176	0.4963	0.0158	0.0413	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897

	혼합W	0.0330	0.4537	0.4806	0.4899	0.0158	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
32	전	0.0716	0.4026	0.1970	0.1449	0.1803	0.0690	0.2357	1.0	1.0	1.0
	혼합AL	0.0330	0.4537	0.4176	0.6281	0.6591	0.0413	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.4537	0.4806	0.4899	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
33	전	0.1307	1.0	1.0	0.9943	1.0	0.1996	1.0	1.0	1.0	1.0
	혼합AL	0.0672	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0988	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	혼합W	0.0672	1.0000	1.0000	1.0000	1.000	0.0988	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
34	전	0.0982	0.5791	0.5265	0.5464	0.3634	0.0701	0.3617	0.3365	0.3422	0.3410
	혼합AL	0.0330	0.8144	0.4823	0.6281	0.6591	0.0686	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.8144	0.9006	1.0000	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901
35	전	0.2899	0.3620	0.2929	0.2404	0.2284	0.1050	0.3292	0.2692	0.2779	0.2380
	혼합AL	0.0330	0.8144	0.4823	0.6281	0.6591	0.0686	0.4897	0.9317	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.8144	0.9006	1.0000	0.6591	0.0445	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
36	전	0.1268	0.8992	0.7854	0.8068	0.6298	0.1849	0.5829	0.5464	0.5275	0.4918
	혼합AL	0.0448	0.8144	0.8467	0.8259	1.0000	0.0686	0.7392	0.9317	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0448	0.8144	0.9006	1.0000	1.0000	0.0833	0.9317	0.9317	0.9317	0.9317
37	전	0.0212	0.2272	0.2381	0.2744	0.2279	0.0374	0.2282	0.2264	0.2312	0.2397
	혼합AL	0.0672	0.4537	0.5121	0.8259	0.7786	0.0988	0.7392	1.0000	0.7392	0.7392
	혼합W	0.0672	0.4537	0.6979	1.0000	0.7786	0.0988	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
38	전	0.0395	0.2437	0.2069	0.2069	0.1727	0.0320	0.1281	0.1382	0.1265	0.1214
	혼합AL	0.0330	0.4537	0.4176	0.4963	0.6591	0.0413	0.4897	0.8901	0.4897	0.4897
	혼합W	0.0330	0.4537	0.4806	0.4899	0.6591	0.0445	0.8901	0.8901	0.8901	0.8901

〈표 9〉에는 혼합모형에 의한 클러스터링의 결과를 평균연결법에 의한 경우와 Ward법에 의한 경우를 제시하였다. 첫째, 평균연결법을 이용한 혼합모형에 의한 클러스터링은 평균적으로 58.86%만큼 효율성을 증가시켰으며, 가장 크게 증가한 항만들은 12번(91.86%), 33번(81.66%), 11번(80.30%) 항만들이었고, 가장 적게 증가한 항만은 31번(38.17%)이었다. 둘째, Ward법을 이용한 혼합모형에 의한 클러스터링은 평균적으로 70.65%만큼 효율성을 증가시켰다. 가장 크게 증가한 항만들은 12번(91.86%), 27번(82.65%), 11번(80.53%)항만들이었으며, 가장 적게 증가한 항만은 31번(50.78%)으로 나타났다. 〈표 7〉의 결과에 의거하여 〈표 9〉의 내용을 비교하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 첫째, 평균연결에 의한 혼합모형효율성에서 클러스터링 전 효율성을 마이너스한 결과 평균적으로 20.50%만큼 효율성이 증가[증가항만; 21번(50.48%), 20번(50.45%), 25번(50.07%), 감소항만; 37번(-29.27%), 14번(-18.84%), 16번(-14.52%)]하였으며, 평균연결에 의한 혼합모형효율성에서 평균연결모형에 의한 효율성을 마이너스한 결과 평균적으로 -18.81% 만큼 효율성이 감소하였다[감소폭이 가장 큰 항만;2번(-47.99%), 31번(-46.41%), 23번(-38.62%), 증가항만; 28번(2.53%)], 둘째, Ward모형에 의한 혼합모형효율성에서 클러스터링 전 효율성을 마이너스한 결과 평균적으로 35.83% 만큼 효율성이 증가[증가폭이 가장 큰 항만; 4번(63.55%), 23번(62.70%), 감소항만; 14번(-10.64%), 12번(-0.38%)]하였으며, Ward모형에 의한 혼합모형효율성에서 Ward모형에 의한 효율성을 마이너스한 결과 평균적으로 12.17% 만큼 효율성이 증가[증가폭이 가장 큰 항만; 23번(31.70%), 19번(28.24%), 감소항만; 24번(26.29%)]하였다.

(5) K-Means 군집모형, 계층적 군집모형, 혼합모형을 이용한 컨테이너 항만들의 클러스터링 측정결과 비교분석을 통한 검증

K-Means 군집모형, 계층적 군집모형, 혼합모형에 의한 측정결과를 국내항만들을 중심으로 다음과 같이 비교한다. 첫째, 원 자료를 이용한 군집 전의 효율성, K-Means 군집모형, 계층적 군집모형, 혼합모형에 의한 클러스터링 전과 후의 효율성 측정결과 비교, 둘째, 국내항만들의 클러스터링 전과 후의 효율성 변화 비교, 셋째, 측정방법 별 국내항만들의 클러스터링 항만들에 대한 검증 넷째, 효율성 순위의 윌콕슨부호순위검정을 통한 비교 등, 세 가지 모형을 서로 비교 및 검증해 보고자 한다.

1) K-Means 군집모형, 계층적 군집모형, 혼합모형에 의한 효율성 측정결과 비교 분석을 통한 검증

원 자료를 이용한 군집 전의 효율성, K-Means 군집모형(RT & ELBOW), 계층적 군집모형(AL, Ward), 혼합모형(Mixed AL, Mixed Ward)에 의한 효율성 측정 결과를 살펴보면 다음과 같다.

클러스터링 전의 원 자료에 의한 평균 효율성은 0.3561, RT&ELBOW 평균효율성은 0.6608, AL평균효율성은 0.7765, Ward 평균효율성은 0.5926, Mixed AL 평균효율성은 0.5886, Mixed Ward 평균효율성은 0.7065로 나타났다. 결과적으로 클러스터링 후의 효율성 증가폭이 큰 순서대로 살펴보면 AL(42.04% 상승), Mixed Ward(35.01% 상승), RT&ELBOW(30.47% 상승), Ward(23.65% 상승), Mixed AL(23.25% 상승)의 순서로 나타났다. 즉, 평균연결법을 이용한 클러스터링이 가장 효율성을 높일 수 있는 클러스터링 측정방법임을 밝혀내었다. 그러나 나머지 클러스터링 측정방법도 충분하게 효율성을 높일 수 있는 좋은 측정방법임이 검증되었다.

2) 국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화비교분석을 통한 검증

〈표 10〉에는 〈표 5〉,〈표 7〉, 〈표 8〉에 의거하여 계산한 클러스터링 전과 후의 국내항만들의 효율성 측정결과와 변화율을 제시하였다. 다음과 같은 사실을 발견할 수 있다. 첫째, 클러스터링 후에 효율성이 개선된 순서는 광양항(370.84%), 인천항(312.76%), 부산항(150.25%)로 나타났다. 그 이유는 클러스터링 전에 효율성이 높았던 부산항이 클러스터링을 통해서 효율성이 증진은 되었지만, 상대적으로 더 작게 증가된 것으로 추정된다. 둘째, 측정방법별로 효율성이 개선된 순서를 살펴보면, AL(293.24%), Mixed Ward(286.43), RT&ELBOW(277.66%), Ward(271.64%), Mixed AL(261.07%)였다. 평균연결방법으로 군집 수를 결정하는 것이 다른 방법들 보다 도 더 효율성을 증진시키는 것으로 나타났다. 여기서 국내항만들이 외국항만들과 클러스터링 한 것이 갖는 의미는 유사한 투입-산출요소의 구조를 갖는 외국항만들의 실제적인 항만운영관리 방법을 도입하여 시행함으로써 국내항만들도 효율성을 높일 수 있다는 것을 의미한다.

표 10. K-Means, 계층적, 혼합모형으로 클러스터링 한 후의 국내항만들의 평균 효율성 변화 측정결과

국내항만 번호 및 항만명			평균효율성	변화율
24. 부산항	전		0.5511	
	RT		0.8317	1.5092
	Elbow		0.8317	1.5092
	AL		0.8694	1.5776
	Ward		1	1.8146
	Mixed	AL	0.6962	1.2669
		Ward	0.7371	1.3377
25. 인천항	전		0.1955	
	RT		0.5694	2.9125
	Elbow		0.5694	2.9125
	AL		0.6725	3.4399
	Ward		0.4599	2.3524
	Mixed	AL	0.6962	3.5614
		Ward	0.7012	3.5871
26. 광양항	전		0.1643	
	RT		0.6421	3.9081
	Elbow		0.6421	3.9081
	AL		0.6210	3.7797
	Ward		0.6543	3.9823
	Mixed	AL	0.4935	3.0037
		Ward	0.6025	3.6682

3) 측정방법별 국내항만들의 클러스터링항만에 대한 검증

〈표 11〉에는 측정방법별 국내항만들의 클러스터링 항만들의 번호를 제시하였다. 공통적으로 포함되는 항만들을 살펴보면 다음과 같다. 부산항[RT&ELBOW; 8, 11, 13, 15, 24, 27, 33, 37, AL; 11, 21, 24, 27, 31, 36, 37, Ward; 8, 11, 12, 24, 33, 37, Mixed AL; 11, 12, 24, 33, Mixed Ward; 2, 4, 5, 18, 25, 30, 31, 32, 34, 38], 인천항[RT&ELBOW; 2, 5, 7, 9, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 38, AL; 5, 7, 9, 10, 16, 25, 26, 30, 32, 34, Ward; 2, 4, 17, 19, 34, 35, Mixed AL; 8, 11, 24, Mixed Ward; 14, 15, 16], 광양항[RT&ELBOW; 3, 9, 13, 14, 15, 26, 27, 36, 37, AL; 13, 26, 34, 38, Ward; 3, 6, 9, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 26, 27, 28, 37, Mixed AL; 2, 13, 14, 15, 20, 28, 36, Mixed Ward; 2, 13, 26, 27]로 나타났다.

결과적으로 부산항은 8번(두바이), 11번(홍콩), 31번(마닐라), 33번(싱가포르), 37번(림찬방) 항과 클러스터링 되고, 인천항은 5번(포트 슐탄 카부스), 7번(담만), 9번(크호르 파칸), 19번(토쿄), 34번(콜롬보), 35번(키롱), 광양항은 3번(아카바), 9번(크호르 파칸), 13번(광저우), 14번(닝보), 15번(칭타오), 27번(포트 클랑), 36번(카오슝), 37번(림찬방)항과 클러스터링 되는 것으로 나타났다.

표 11. K-Means, 계층적, 혼합모형에 의한 클러스터링 측정결과

항만	구분		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
부산	RT, ELBOW		8,11,13,24,33,37	3,4,8,9,14,15,19,20,21,22,24,26,27,28,36,37	12,14,33	1,3,4,6,7,8,9,11,13,14,15,19,20,21,22,24,26,27,28,36,37	24,33	8,11,12,33,37,	8,11,13,15,24,27,33,37	8,11,13,15,24,27,33,37	8,11,13,15,24,27,33,37	8,24,33
	AL		18,19,21,23,24,25,31,36	11,12,17,18,19,20,21,23,24,31,36,37	11,17,18,19,24,27,31,37	2,5,7,8,9,10,22,29,30,34	11,21,24,31,33,36,37	8,24,27,31	8,11,15,19,24,27,31,33,35,36,37	2,8,11,15,19,21,24,27,31,33,36,37	2,8,11,15,19,21,24,27,31,33,36,37	2,8,11,15,19,21,24,27,31,33,36,37
	Ward		12,24	11,12,24,33,37	11,12,24,33,37	11,12,24,33,37	11,12,24,33,	8,11 12,24,27,33,	8,11 12,24,33,	8,11 12,24,33,	8,11 12,24,33,	8,11 12,24,33,
	Mixed	AL	8,11,15,33,37	2,5,6,10,18,29,30,31,32,38	12	12	31	8,24,33,37	26	26	33	11,24
		Ward	2,4,5,7,17,18,19,20,21,22,23,25,34,35,36,38	2,5,6,10,18,29,30,31,32,38	11	33	31	2,3,4,5,10,16,17,18,22,25,29,30,31,32,35,38	2,4,5,10,17,18,25,30,31,34,38	2,4,5,10,17,18,25,30,31,32,34,38	2,4,5,10,17,18,25,30,31,32,34,38	2,4,5,10,17,18,25,30,31,32,34,38
인천	RT, ELBOW		2,4,5,7,16,17,18,19,20,21,22,23,25,29,30,31,32,34,35,36,38	1,2,5,6,7,10,16,17,18,23,25,29,30,31,32,34,35,38	1,3,4,6,7,8,9,13,14,15,16,17,19,20,21,22,23,25,26,27,28,34,35,36,37	2,5,10,16,17,18,23,25,29,30,31,32,34,35,	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,25,26,28,29,30,31,32,34,35,36,38	2,3,4,5,7,9,10,16,17,18,19,22,23,25,29,30,31,32,34,35,38	1,2,3,4,5,7,9,10,14,16,17,18,19,20,21,22,23,25,29,30,31,32,34,35,38	1,2,3,4,5,7,9,10,14,16,17,18,19,20,21,22,23,25,29,30,31,32,34,35,38	1,2,3,4,5,7,9,10,14,16,17,18,19,20,21,22,23,25,29,30,31,32,34,35,38	1,2,3,4,5,7,9,10,16,17,18,19,20,21,22,23,25,29,30,31,32,34,35,38
	AL		18,19,21,24,25,31,36	3,5,7,9,16,25	3,16,25,32,35	14,16,25,32,35	3,4,5,7,9,10,16,25,32,35	2,4,5,14,20,21,23,25,32,35,36	1,3,5,7,9,10,1116,25,26,29,30,32	1,3,5,7,9,10,1116,25,26,29,30,32,34	3,5,7,9,16,25,29,30,32	1,3,5,7,9,10,16,25,26,29,30,32,34
	Ward		1,5,7,16,25,29,34,35	1,3,7,9,16,21,25,26,28,35	1,4,5,17,23,25,29,34,35	3,4,5,7,9,16,17,23,25,29,34,35	21,23,25,31,34,35	2,4,17,19,21,25,29,34,35	1,2,3,4,7,9,16,22,25,29,35	2,4,17,19,20,21,22,23,25,29,34,35,36	2,4,17,19,20,21,22,23,25,29,34,35,36	2,4,17,19,20,21,22,23,25,29,34,35,36

	Mixed	AL	8,11,15,33,37	12	11	11,24	11,12	1,2,3,4,5,7,9,14,16,19,20,21,22,23,25,29,34,35,36	33	11,12	8,11,24	8,11,24
		Ward	12	33	12,33	11,24,37	24,33	2,6,9,13,14,15,20,21,23	11,12	1,3,6,7,9,14,15,16,19,20,21,22,23,27,28,29,35,36	1,3,6,7,9,14,15,16,19,23,27,28,29,35,36	1,3,6,7,9,14,15,16,19,20,21,22,20,21,22,2327,28,29,35,36
광양	RT, ELBOW		1,3,6,9,10,14,15,26,27,28,	3,4,8,9,13,14,15,19,20,21,22,24,26,27,28,36,37	1,3,4,6,7,8,9,13,14,15,16,17,19,20,21,23,25,26,27,28,34,35,36,37	1,3,4,6,7,8,9,11,13,14,15,19,20,21,22,24,26,27,28,36,37	1,2,3,4,5,6,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,25,26,28,29,30,31,32,34,35,36,38	1,6,13,14,15,2021,26,28,36	6,26,28	6,26	6,26,28	6,13,14,15,25,26,27,36,37
	AL		16,17,20,26,35,38	6,13,26,28,38	1,6,26,28,38	13,20,23,26	2,8,19,22,26,34,38	1,7,13,15,18,26,29,38	1,3,5,7,9,10,16,25,26,29,30,32	1,3,5,7,9,10,16,25,26,29,30,32,34	1,10,26,34	1,3,5,7,9,10,16,25,26,29,30,32,34
	Ward		3,6,9,10,14,26,28	1,3,7,9,16,25,26,28,35	3,6,7,9,16,19,20,21,26,28	1,6,19,20,21,26	1,3,4,6,7,9,16,19,20,22,26,28	6,13,15,20,21,23,36,28,36,37	6,13,14,15,26,27,28,36,37	6,13,14,15,26,27,28,37	6,13,14,15,26,27,28,37	6,13,14,15,26,27,28,37
	Mixed	AL	2,5,7,18,25,29,30,31,32,34,35,38	11	6,8,13,14,15,19,20,21,22,27,28,36	2,4,6,8,13,14,15,19,20,22,26,27,28,36,37	2,3,4,6,7,8,9,14,15,19,20,22,26,28,36	10,17,18,30,31,38	33	11,12	12	6,13,14,15,21,27,28,36,37
		Ward	24	33	2,5,10,18,29,30,31,32,38	2,3,4,6,7,8,9,13,14,15,16,17,19,20,21,22,23,25,26,27,28,34,35,36	13,27,37	27	26	26	26	26

4) 효율성 측정결과 비교분석을 통한 최적 군집 수에 대한 검증

앞 1)항에서 각각의 측정방법에 따른 효율성 측정결과를 살펴보면 클러스터링 전의 원 자료에 의한 평균 효율성은 0.3561, RT&ELBOW 평균효율성은 0.6608, AL평균효율성은 0.7765, Ward 평균효율성은 0.5926, Mixed AL 평균효율성은 0.5886, Mixed Ward 평균효율성은 0.7065로 나타났다. 결과적으로 클러스터링 후의 효율성 증가폭이 큰 순서대로 살펴보면 AL(42.04% 상승), Mixed Ward(35.01% 상승), RT&ELBOW(30.47% 상승), Ward(23.65% 상승), Mixed AL(23.25% 상승)의 순서로 나타났다.

따라서 AL은 평균적으로 6개, Mixed Ward는 평균적으로 5개, RT&ELBOW는 평균적으로 4개, Ward는 평균적으로 5개, Mixed AL은 평균적으로 6개가 최적 군집 수인 것으로 검증되었다.

5) 설문조사 결과와 본 실증분석 결과의 일치성에 대한 검증

〈표 1〉에는 KMI, 전문가, 학자, 선사의 직원들로부터 수집한 선호항만에 대한 설문조사 결과를 제시하였다. 종합해 보면, 상해(16회 선호), 홍콩(8회 선호), 싱가포르(6회 선호), 동경(3회 선호), 오사카(3회 선호), 2회 선호 항만(카오슝, 두바이, 닝보, 롱비치 항), 1회 선호 항만(포트 클랑, 칭타오, 마닐라, 호치민, 니카다, 가나자와, 대련, 로테르담)으로 나타났다. 각종 클러스터링 방법을 통해서 얻어진 결과를 살펴보면 부산항은 8번(두바이), 11번(홍콩), 31번(마닐라), 33번(싱가포르), 37번(림찬방)항과 클러스터링 되고, 인천항은 5번(포트 슐탄 카부스), 7번(담만), 9번(크호르 파칸), 19번(토쿄), 34번(콜롬보), 35번(키룽), 광양항은 3번(아카바), 9번(크호르 파칸), 13번(광저우), 14번(닝보), 15번(칭타오), 27번(포트 클랑), 36번(카오슝), 37번(림찬방)항과 클러스터링 되는 것으로 나타났다. 따라서 부산항은 5개 중에서 4개가 일치하고, 인천항은 6개 중에서 1개, 광양항은 8개 중에서 4개가 일치하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 첫째, 아시아 컨테이너항만 들의 클러스터링에 새로운 측정 방법인 K-Means군집모형, 계층적 군집모형, 혼합모형에 대해서 이론적인 내용을 살펴보았으며, 둘째, 아시아 38개 컨테이너항만들의 2006년부터 2015년까지의 자료와 선석길이, 수심, 총면적, 크레인수를 투입물로 하고, 컨테이너화물처리량을 산출물로 하여 적정 군집 수를 도출하는 방법과 각각의 방법들을 이용하여 효율성을 측정하였다. 셋째, 각각의 모형들에 대해서 클러스터링 전과 후의 클러스터링 및 효율성 변화를 검증하였다. 또한 클러스터링에 대한 실증분석결과와 전문가 그룹이 선호한 설문조사결과를 검증 하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, 2006년부터 2015년까지 클러스터링 전의 원 자료에 의한 평균 효율성은 0.3561, 클러스터링 후의 RT&ELBOW 평균효율성은 0.6608, AL평균효율성은 0.7765, Ward 평균효율성은 0.5926, Mixed AL 평균효율성은 0.5886, Mixed Ward 평균효율성은 0.7065로 나타났다. 결과적으로 클러스터링 후의 효율성 증가폭이 큰 순서대로 살펴보면 AL(42.04% 상승), Mixed Ward(35.01% 상승), RT&ELBOW(30.47% 상승), Ward(23.65% 상승),

Mixed AL(23.25% 상승)의 순서로 나타났다. 즉, 평균연결법을 이용한 클러스터링이 가장 효율성을 높일 수 있는 클러스터링 측정방법임을 밝혀내었다. 그러나 나머지 클러스터링 측정방법도 충분하게 효율성을 높일 수 있는 좋은 측정방법임이 검증되었다.

둘째, RT와 ELBOW모형에 의한 국내항만들의 클러스터링을 살펴보면 ①부산항은 두바이, 홍콩, 광저우, 칭타오, 포트 클랑, 싱가포르, 림찬방항과 클러스터링하고, ②인천항은 하이파, 포트슐탄 카부스, 담만, 크호르 파칸, 탄중프리옥, 탄중퍼락, 동경, 나고야, 오사카, 카라치, 오아심, 마닐라, 다바오, 콜롬보, 킬롱, 방콕, ③광양항은 아카바, 크호르파칸, 광정우, 닝보, 칭타오, 포트 클랑, 카오슝, 림찬방 항과 클러스터링 하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

셋째, 효율성 측정에 의한 최적 군집 수를 살펴보면 AL은 평균적으로 6개, Mixed Ward는 평균적으로 5개, RT&ELBOW는 평균적으로 4개, Ward는 평균적으로 5개, Mixed AL은 평균적으로 6개가 최적 군집 수인 것으로 나타났다.

넷째, 전문가 그룹에 의해서 선호되는 항만들과 본 실증분석결과에 의해서 도출된 국내항만들의 클러스터링 되는 항만들과의 일치성 여부는 부산항은 80%, 인천항은 17%, 광양항은 50%수준에서 일치하는 것으로 검증되었다.

본 논문이 갖는 국내항만들에 대한 정책적인 함의를 제시해 본다면, 국내항만들은 본 논문의 주제가 되는 측정방법에 따라서 최적군집 수를 도출하여 클러스터링을 시행하고, 해당 군집에 속한 항만들 중에서 효율성을 높일 수 있는 상대적으로 우월한 항만운영과 관리를 하는 벤치마킹 항만이 있다면, 그러한 항만관리 정책과 운영방안을 도입하고 시행해야만 한다는 점이다. 또한 그러한 벤치마킹 할 수 있는 항만운영 방법을 도입하여 시행하는 한편, 부산항, 인천항, 광양항은 다음과 같은 항만건설을 추진하고 운영을 고도화함으로써 효율성을 증진시켜야만 한다[해당 항만들의 홈페이지에서 인용함]. 즉, 부산항[차별화된 첨단항만건설(신 항의 수심을 16-18미터로 하여 1만 TEU급 초대형 선박의 접안이 편리하게 함), 자동화된 게이트 시스템을 갖추어 연중무휴로 야드 운영, Tandem 크레인 등 최첨단 하역장비를 갖추어 높은 크레인 생산성 제고], 인천항[환 서해권 물류중심항만 건설, 동북아 해양관광 메카로 거듭나기 위해서 인천 신 항 건설, 신국제여객부두터미널 건설], 광양항[고부가가치 항만추구(년간 컨테이너화물 350만 TEU처리), 스마트 항만운영박차(매출액 대비 EBITDA 75%이상), 사회적 가치경영추구(사회적 가치 지수 1등급 달성)].

본 논문의 한계점은 다음과 같다. 즉, 기존의 실증분석 결과와 차별성에 대한 설명 부족, 클러스터링 후에 개별 항만들에 대한 구체적인 정책대안제시 부족, 민간영역, 선사들의 항만선택요인 등에 대한 설명 부족, 실증분석결과에 대한 비교분석의 심도 있는 접근 부족, 다른 연구 분야에서 사용된 방법론을 항만분야에 적용하였지만 분석결과를 내용상 해석할 수 있는 근거가 부족하여 연구결과를 일반화하는데 한계를 보이고 있다. 또한 전반적인 논문 내용이 항만산업에 대한 현실적 시사점(정책대안이나 항만운영전략 등)을 제공하지 못하고 있으며 이론을 위한 이론이라는 느낌을 주고 있는 점, 대상항만인 아시아 항만들을 항만성격에 따라 분류하지 않고 (예를들어 컨테이너항, 벌크항, 유류항, 복합항/ 환적중심항, 수출입관문항 등) 단순히 클러스터링방법에 의해 분류함으로써 정책적 시사점을 도출하지 못하고 있다는 점이다. 또한 클러스터링에 대한 정의, 정책적인 함의와의 연결성 등을 조

금 더 다양하고 치밀하게 제시하지 못했다. 실증분석 한 내용들을 적절하게 연계시켜 가시성을 높이는 노력이 부족했다. 끝으로 연구목적-분석내용-연구결과의 일관성이 조금 더 치밀하지 못했다. 위와 같은 한계점을 극복하기 위한 더욱 치밀한 연구는 차후 연구에서 다루고자 한다.

참고문헌

고용기・이상현(2005), 항만클러스터의 결정요인에 관한 연구-우리나라 부산항과 인천항을 대상으로, 영상저널, 제13집, 영남대학교 산경연구소, 301-325.

김우생・김수영(2014), 주성분분석과 K평균알고리즘을 이용한 문서군집방법, 한국정보통신학회논문지, 제18집 제3호, 625-630.

김기현・윤유식・윤명혜(2014), "방한 외국인 쇼핑관광 서비스품질에 따른 시장세분화연구," 호텔경영학연구, 제23권 제4호, 한국호텔외식관광경영학회, 181-186.

김종훈・이정학(2014), "스포츠 전문채널 미디어 수용자의 라이프 스타일에 따른 시장세분화," 한국체육학회지, 제53권 제3호, 455-468.

김한수・강중혁・배영규(2013), "고속철도 열차지연 유형의 구분지표 및 기준," 한국경영과학회지, 제38권 제3호, 한국경영과학회, 2013, 37-50.

류제웅・조남익(2014), K-평균 클러스터링을 이용한 필기문서 영상의 단어분리법, 한국방송미디어 공학회, 한국방송공학회 학술발표대회 논문집, 38-41.

문지원(2006), K-Means 군집분석을 이용한 U-도시 유형분류에 관한 연구, 성균관대학교 대학원 석사학위논문.

박노경(2017), 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형을 이용한 항만클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증연구, 한국항만경제학회지, 제33집 제2호, 53-82.

박노경(2016), "메타프론티어와 교차효율성 모형을 통한 클러스터링의 실증적 검증소고," 무역연구, 제41권 제3호, 27-42.

박노경(2013a), "교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 측정방법", 『무역연구』 제9권 제4호, 279-294.

박노경(2013b), "컨테이너항만의 클러스터링 측정방법 소고-DEA참조집단모형과 교차효율성 모형을 이용-", 무역연구, 제9권 제7호, 한국무역연구원, 439-456.

박노경(2009), "계층적 군집분석과 DEA Tier 분석에 의한 클러스터링 측정방법: 은행산업적용," 한국산업경제저널, 제1권 제2호, 전북대학교 산업경제연구소, 107-130.

박노경(2015a), "교차효율성 모형과 정수계획법을 이용한 한국주요항만의 클러스터링 및 효율성 변화 측정 소고," 무역통상학회지, 제15권 제2호, 한국무역통상학회, 1-25.

박노경(2015b), "메타프론티어와 교차효율성 모형을 통한 클러스터링의 실증적 검증," 「2015 한국무역학회 동계학술대회 발표논문집」, 2015년12월18일, 한국무역학회, 67-77.

박노경(2016a), "부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 항만클러스터링 측정에 대한 실증적 비교연구," 한국항만경제학회지, 제32집 제1호, 29-58.

박노경(2016b), "평택항 컨테이너 터미널의 효율성 측정을 통한 국제경쟁력 및 클러스터링 측정," 한국항만경제학회 2016년 평택항 개항 30주년 기념 국제세미나 발표논문집, 257-284.

방희석・김새로나(2004), "우리나라 항만클러스터 특성과 발전에 관한 연구," 한국무역학회 국제학술대회 논문집, 159-179.

신동혁・안광규・최성춘・최형기(2016), "K-평균클러스터링을 이용한 네트워크 유해 트래픽 탐지", 한국통신학회논문지, 제41집 제2호, 277-284.

이성규・홍성언・박수홍(2006), "평균연결법과 K-Means 혼합클러스터링 기법을 이용한 공시지가 유사가격 권역의 설정," 대한지리학회지, 대한지리학회, 제41집 제1호, 121-135.

이신원(2012), "K-means 클러스터링에서 초기 중심선정 방법비교," 한국인터넷정보학회논문지, 제13집 제6호, 1-8.

이준호・박광호(2012), "군집분석을 통한 중소기업 온라인 마케팅 지원 수혜기업의 세분화 전략에 관한 연구," e비즈니스연구, 제13권 제4호, 169-194.

이학식・임지훈(2017), SPSS 매뉴얼, 집현재.

한철환(2003), "우리나라 항만클러스터 구축방안에 관한 연구", 한국항만경제학회지, 제19집 제1호, 1-22.

Banitaan, S., A.B. Nassif, and M. Azzeh(2015), "Class Decomposition Using K-Means and Hierarchical Clustering," Proceedings of 2015 IEEE, 14th International Conference on Machine Learning and Application, 1263-1267.

Blashfield, R. K.(1976), "Mixture Model Tests of Cluster Analysis: Accuracy of Four Agglomerative Hierarchical Methods," The Psycological Bulletin, 83, 377-388.

Celebi, M. E., & Kingravi, H. A. (2012), "Deterministic initialization of the k-means algorithm using hierarchical clustering," International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 26(07), 1250018.

Cook, W. D., and J. Zhu(2007), "Classifying Inputs and Outputs in Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, 180, 692-699.

Defay, D.(1977), "An Efficient Algorithm for Complete Link Method", *The Computer Journal*, Vol. 20, No.4, British Computer Society, 364-366.

Ferreira, L, and D.B. Hitchcock, "A Comparison of Hierarchical Methods for Clustering Functional Data," Memeo, 1-31.

Hong, X., J. Wang, and G. Qi(2014), "Comparison of Spectral Clustering, K-Clustering, and Hierarchical Clustering on e-Nose Data Sets: Application to the Recognition of Material Freshness, Adulteration Levels and Pretreatment Approaches for Tomato Juices," Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 133 ,17-24.

Kaufamn, L., and P.J. Rousseeuw(1990), Finding Group in Data: An Introduction to Cluster Analysis, Wiley.

Khanmohammadi, S., N. Adibeig, S. Shanehbandy(2017), "An Improved Overlapping K-Means Clustering Method for Medical Applications," Expert Systems with Applications, 67, 12-18.

Kuiper, F. K., and Fisher, L., "A Monte Carlo Comparison of Six Clustering Procedure," Biometrics, 31, 777-783.

Land, A.H. and A.G. Doig(1969), "An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems," *Econometrica*, 28, 497-520.

Legendre, P.(2012), and Legendre, L., Numerical Ecology, 3rd English ed., Amsterdam, Elsevier, 2012.

Luczak, M.(2016), "Hierarchical Clustering of Time Series Data with Parametric Derivative, Dynamic Time Wrapping," *Export Systems with Application*, 62, 116-130.

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.

Lu, J.F., J.B. Tang, Z.M. Tang, and J.Y.Yang(2008), "Hierarchical Initialization Approach for K-Means Clustering," Pattern Recognition Letters, 29(6), 787-795.

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.

MacQueen, J.(1967), "Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations," Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, 281-297.

Murthy, V.S., E. Vamsidhar, J.N.V.R.S. Kumar, and P.S. Rao(2010), "Content Based Image Retrieval Using Hierarchical and K-Means Clustering Techniques," International Journal of Engineering Science and Technology, 2(3), 209-212.

Murtagh, F.(1985), Multidimensional Clustering Algorithms, Vienna, Physica-Verlag, 1985.

Murtagh, F. and P. Legendrec(2014), "Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion," Journal of Classification, 31, 274-295.

Po, R. W., Guh, Y. Y., & Yang, M. S. (2009), "A

New Clustering Approach Using Data Envelopment Analysis," European Journal of Operational Research, 199(1), 276-284.

Praven, P., and B. Rama(2016), An Empirical Comparison of Clustering Using Hierarchical Methods, and K-Means, Proceedings of IEEZ, 2nd International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics(AEEICB 16), 445-449.

Punj, G., and D.W. Steward(1983), "Cluster Analysis in Marketing Research; Review and Suggestions for Application," Journal of Marketing Research, 20(2), 134-148.

Rios, C.A.M. and R.F.D. Sousa(2014), "Cluster Analysis of the Competitiveness of Container Ports in Brazil," *Transportation Research Part A*, 69, 423-431.

Sarkis, J., and Talluri, S.(2004), "Performance Based Clustering for Benchmarking of US Airports," *Transportation Research Part A*, 38, 329-346.

Sarma, M.J. and S.J. Yu(2009), "Performance based Stratification and Clustering for Benchmarking of Container Terminals," Expert Systems with Application, 36, 5016-5022.

Sakthivel, K., R. Abinaya, I.Nivetha, R.A. Kumar(2014), Region Based Image Retrieval Using K-Means and Hierarchical Clustering Algorithms, 3, Special Issue.

Sibson, R.(1973), "SLINK: An Optimally Efficient Algorithm for the Single-Link Cluster Method," *The Computer Journal*, Vol. 16, No.1, British Computer Society, 30-34.

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*, 38, 68-83.

Wang, S.W., and Y. Fang (2012), "Regularized K-means Clustering of High-dimensional Data and its Asymptotic Consistency," Electronic Journal of Statistics, 6, 148-167.

Ward, J.H.(1963), "Hierarchical Grouping to Optimize and Objective Function," *Journal of American Statistics Association, Vol.69, 86-101.*

Wishart, D.(1969), " An Algorithm for Hierarchical Classifications," Biometrics, Vol.25, 1969, pp.165-170.

Worner, S.P., M.Gevrey, R. Eschen, M.Kenis, D. Paini, S.Singh, K.Suiter, and M.J. Watts(2013), Prioritizing the Risk of Plant Pests by Clustering Methods; Self-Organising Maps, K-Means, and Hierarchical Clustering, NeoBiota, 18, 83-102

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,* Vol. 3, No.6, 709-722.

Wu, J., and Goh, M.G.(2010),"Container Port Efficiency in Emerging and More Advanced Market," Transportation Research Part E, Vol.46, 1030-1042.

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.busanpa.com

http://www.hansung.ac.kr/web/jsum/508214

http://www.icpa.or.kr

https://ko.wikipedia.org

http://www.ygpa.or.kr

K-Means 군집모형과 계층적 군집(교차효율성 메트릭스에 의한 평균연결법, Ward법)모형 및 혼합모형을 이용한 컨테이너항만의 클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증에 관한 연구

박노경

국문요약

본 논문에서는 K-Means 군집모형과 계층적 군집모형, 혼합모형으로, 아시아 38개 컨테이너항만 들의 2006년부터 2015년까지의 자료와 선석길이, 수심, 총면적, 크레인 수를 투입물, 컨테이너화물처리량을 산출물로 하여 국내대표 컨테이너항만 들(부산, 인천, 광양항)이 클러스터링 해야만 하는 항만들을 적출해 내는 측정방법을 보여 주고 비교, 분석, 검증하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, 10년간의 자료를 이용한 분석에서 클러스터링 후의 효율성 증가폭이 큰 순서대로 살펴보면 평균연결법[average linkage(AL)]은 42.04% 상승, Mixed Ward는 35.01% 상승, 경험법칙[rule of thumb(RT)]&Elbow는 30.47% 상승, Ward는23.65% 상승, Mixed AL는 23.25% 상승의 순서였다. 둘째, RT와 Elbow모형에 의한 국내항만들의 클러스터링을 살펴보면 ①부산항은 두바이, 홍콩, 광저우, 칭타오, 포트 클랑, 싱가포르, 림찬방 ②인천항은 하이파, 포트슐탄 카부스, 담만, 크호르 파칸, 탄중프리옥, 탄중퍼락, 동경, 나고야, 오사카, 카라치, 오아심, 마닐라, 다바오, 콜롬보, 킬룽, 방콕, ③광양항은 아카바, 크호르 파칸, 광정우, 닝보, 칭타오, 포트 클랑, 카오슝, 림찬방 항과 클러스터링 해야만 하는 것으로 나타났다. 셋째, 최적 군집 수를 살펴보면 AL(6개), Mixed Ward(5개), RT&ELBOW (4개), Ward(5개), Mixed AL(6개)가 최적 군집 수인 것으로 나타났다. 넷째, 전문가 그룹에 의해서 선호되는 항만들과 본 실증분석결과에 의해서 도출된 국내항만들의 클러스터링 되는 항만들과의 일치성 여부는 부산항은 80%, 인천항은 17%, 광양항은 50%수준에서 일치하는 것으로 검증되었다.

본 논문이 제안하고 있는 정책적인 측면의 의미는 첫째, 항만정책입안자, 항만운영관리자들이 본 연구에서 사용한 모형들을 항만의 클러스터링에 도입하여 벤치마킹항만들을 선정해야만 한다. 둘째, 실증분석의 결과로서 도출된, 국내항만들의 참조항만, 클러스터링항만들에 대하여, 그들 항만들의 항만개발, 운영방안 등에 대한 내용을 비교・분석하고 벤치마킹이 필요한 부분은 신속하게 도입하여 실시하는 것이 필요하다는 점이다.

주제어: 항만 클러스터링, K-Means군집모형, 계층적 군집모형, 평균연결법, Ward 법, 교차효율성 메트릭스, 비교분석, 아시아 항만, 추세분석, 자료포괄분석,