

메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형을 이용한 항만클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증연구*

박노경**

An Empirical Comparison and Verification Study on the Seaport Clustering Measurement Using Meta-Frontier DEA and Integer Programming Models

Park, Ro-Kyung

Abstract

The purpose of this study is to show the clustering trend and compare empirical results, as well as to choose the clustering ports for 3 Korean ports (Busan, Incheon, and Gwangyang) by using meta-frontier DEA (Data Envelopment Analysis) and integer models on 38 Asian container ports over the period 2005-2014. The models consider 4 input variables (birth length, depth, total area, and number of cranes) and 1 output variable (container TEU). The main empirical results of the study are as follows. First, the meta-frontier DEA for Chinese seaports identifies as most efficient ports (in decreasing order) Shanghai, Hongkong, Ningbo, Qingdao, and Guangzhou, while efficient Korean seaports are Busan, Incheon, and Gwangyang. Second, the clustering results of the integer model show that the Busan port should cluster with Dubai, Hongkong, Shanghai, Guangzhou, Ningbo, Qingdao, Singapore, and Kaosiung, while Incheon and Gwangyang should cluster with Shahid Rajaei, Haifa, Khor Fakkan, Tanjung Perak, Osaka, Keelong, and Bangkok ports. Third, clustering through the integer model sharply increases the group efficiency of Incheon (401.84%) and Gwangyang (354.25%), but not that of the Busan port. Fourth, the efficiency ranking comparison between the two models before and after the clustering using the Wilcoxon signed-rank test is matched with the average level of group efficiency (57.88 %) and the technology gap ratio (80.93%). The policy implication of this study is that Korean port policy planners should employ meta-frontier DEA, as well as integer models when clustering is needed among Asian container ports for enhancing the efficiency. In addition Korean seaport managers and port authorities should introduce port development and management plans accounting for the reference and clustered seaports after careful analysis.

Key words: Seaport Efficiency, DEASEaport Clustering, Meta-frontier DEA Model, Integer Programming Model, Comparative and Verification Analysis, Asia Seaports, DEA, Data Envelopment Analysis,

▷ 논문접수: 2017. 4. 24. ▷ 심사완료: 2017. 6. 07. ▷ 게재확정: 2017. 6. 20.

* “이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2016S1A5A2A01021986)”.

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

I. 서론

세계 경기침체에도 불구하고, 여전히 중국 항만들의 성장속도는 지리적으로 근접한 한국, 일본 등을 압도하고 있다. 국내항만들도 화물 유치, 선사유치, 중국항만들과의 자매결연 등의 노력을 계속하고 있지만, 뚜렷한 상황개선은 보이지 않고 있다. 따라서 효율성에 기본을 두면서 그러한 상황을 해결하기 위한 정책적 함의를 도출할 수 있는 발전된 DEA기법을 이용한 항만 간 클러스터링과 그에 따른 효율성 등을 비교분석한 국내연구가 그 어느 때 보다도 필요한 상황이다. 본 연구는 다음과 같은 내용을 연구의 주요한 주제로 삼고자 한다.

첫째, 메타프론티어 DEA모형은 Hayami (1969), Hayami and Ruttan (1970, 1971)에 의해서 제시된 이후에 많은 학자들에 의해서 연구되어 왔다. 본 논문에서는 Hayami (1969), Hayami and Ruttan (1970, 1971)의 기본모형을 이용한다. 그러한 모형은 박노경(2015b)을 제외하고 국내 항만분야에서는 전혀 사용되지 않은 것으로 나타났다. 현재 메타프론티어 DEA 모형은 Wang, Zhao, P.Zhou, and D.Zhou(2013: 283-284)의 기존연구에서 제시하고 있는 여러 학자들에 의해서 모형이 확장되고 사용되고 있다. 한편, Rand and Doig(1960), Gomory(1963)에 의해서 제기되어 산업전반의 성과분석에 이용되어 오고 있는 정수계획 모형은 최적의 클러스터링 파트너를 투입-산출요소에 근거하여 직접 개별적으로 선택할 수 있다는 장점 때문에, Wang and Jiang(2012)의 기존연구에서 처럼 대단히 많이 이용되고 있다. 요컨대, 본 연구는 위와 같은 두 가지 모형인 메타프론티어 DEA모형과 정수

계획 모형을 이용하여 실증적으로 적용하고 클러스터링을 측정하는 것과 그 측정결과를 심도 있게 비교분석하고 검증하는 연구이다. 특히 가장 최근에 외국학자들의 연구 즉, Wang and Jiang(2012)은 메타프론티어 DEA모형의 적용이 가능한 일반 DEA모형에 정수계획모형을 반영한 연구를 처음으로 발표하였다. 그러나 메타프론티어 DEA모형에 정수계획모형을 반영하는데 그쳤다. 본 연구에서는 정수계획모형을 도입하여 메타프론티어 DEA분석에 의한 클러스터링을 측정할 때, 사전적, 사후적인 클러스터링과 그 효과를 검증하는 것까지 확장시키는 것 까지 연구방법의 주제로 삼고 있다. 즉, 항만클러스터링을 정확하게 측정하기 위한 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형을 사용하여 아시아 항만들의 클러스터링을 측정하며, 또한 10년간(2005년-2014년)의 장기적인 추세 및 검증을 함으로써 앞으로 국내항만들의 생존전략을 모색할 수 있도록 학술적인 근거를 마련하고자 한다.

둘째, 본 연구에서는 메타프론티어 DEA모형을 이용함으로써, 일차적으로 아시아 컨테이너항만들의 지역별 클러스터링에 의한 효율성을 측정하고, 이차적으로 정수계획 모형을 이용하여 ① 1:1, 1:2, 1:3 등의 클러스터링 파트너를 선정한다. 특히 1:8의 모형을 이용한다. ② 정수계획모형에 의해서 선정된 클러스터링 파트너를 이용하여 메타프론티어 DEA모형으로 사후적인 효율성을 측정함으로써, 사전적으로 결정하였던 클러스터링이 과연 적정한 것이었는지를 사후적으로 검증하고자 한다. ③ 클러스터링 전과 후의 해당항만의 효율성이 어느 정도로 개선되는지를 파악하는 한편 장기적인 추세변화, 두 가지 모형의 측정결과의 비교분석을 심도 있게 제시할 수 있다.

요컨대 본 논문은 최근의 클러스터링과 관련된 두 가지 모형을 새롭게 적용함으로써, 클러스터링에 대한 국외기존연구들인 Sharma and Yu(2009)[자기조직화지도, 층화, Tier모형 이용], Ulucan and Atici(2010)[컨텍스트 의존형, 특정특유모형], Po, Guh and Yang(2009)[distance-defined 클러스터링], Fang and Wang(2012)[부트스트랩 DEA모형에 교차효율성을 반영하여 클러스터링을 측정]의 연구를 확장시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어서 II장에서는 클러스터링을 다룬 국내와 국외연구들에 대하여 학자별로 간략하게 검토하고 그러한 연구들의 한계점과 함께 본 연구의 핵심을 제시하며, III장에서는 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형을 이용하여 아시아 항만들에 대한 클러스터링을 실증적으로 적용하며, 장기적인 추세도 분석하며, 한편 몇 가지 측면에서 두 모형의 측정결과를 비교하고 검증한다. IV장에서는 요약, 정책적 함의, 결론이 제시된다.

II. 기존연구에 대한 검토 및 한계점

1. 메타프론티어 DEA 모형 및 정수계획 모형의 기존연구에 대한 검토

항만클러스터링과 관련하여 본 연구와 직접 및 간접적으로 관련된 연구에 대한 내용은 다음과 같다.

(1) 메타프론티어 DEA모형과 관련된 국내 기존연구

박노경(2015b)은 교차효율성모형과 메타프론티어 DEA모형의 분석방법으로 아시아 13개 항만의 2009년, 2010년, 2013년의 자료와, 3

개의 투입요소(수심, 총면적 크레인 수)와 1개의 산출요소(컨테이너화물 총처리량)를 이용하여 개별효율성과 그룹효율성, 기술갭을 측정함으로써, 교차효율성모형에 의해서 측정된 클러스터링이 국내항만들의 메타효율성을 증진시켰는지를 실증적으로 검증하였다.

강상목·조상규(2009)는 한국의 동남 권과 일본의 큐슈 권에 대해서 제조업생산성 증가율, 메타생산성 증가율, 생산성 격차를 분석하였다.

강상목·김문위(2010)은 2000-2004년 동안 한국과 중국의 제조업체들에 대해서 메타프론티어 방법으로 기술효율, 기술격차, 생산성, 생산성 격차를 분석하였다. 환경요소를 결합하였다는 점이 가장 큰 특징이다.

황준석·홍아름·이대호(2010)은 국내 케이블 TV중합유선방송사업자들을 기업결합의 형태에 따라 수직결합그룹, 수평결합 그룹, 독립 중합유선방송사업자 그룹으로 나누고, 그룹 간 기술효율성을 메타프론티어 방법으로 분석하였다.

서충원·신연수(2015)는 2013년 영업활동을 하는 87개의 국내 관광호텔업체에 대해서 투입변수(자본금, 면적, 객실수, 직원수), 산출변수(숙박객수, 총수입, 판매객실 수, 객실이용율)을 사용하여 메타프론티어 분석방법으로 4개 권역으로 나누어서 분석하였다.

(2) 정수계획모형과 관련된 국내 기존연구

박노경(2015a)은 교차효율성 모형과 정수계획모형을 이론적으로 소개하였으며, 둘째, 3개의 투입요소(수심, 총면적, 크레인 수)와, 1개의 산출요소(컨테이너화물처리량), 3개년(2009년, 2010년, 2013년)자료, 아시아 13개국의 항만들을 대상으로 하여, 교차효율성모형

과 정수계획모형에 의해서 한·중·일 항만간의 효율성을 측정하였으며, 또한 교차효율성 수치의 메트릭스 값과 평균연결방법의 덴드로그램으로 클러스터링을 측정하였다.

(3) 메타프론티어 DEA모형과 관련된 국외기존연구

메타프론티어 DEA모형은 Hayami (1969) and Hayami and Ruttan (1970, 1971)에 의해서 제시된 이후에 Battese and Rao(2002)를 비롯한 많은 학자들에 의해서 연구되어 왔다. 현재 메타프론티어 DEA 모형은 Wang, Zhao, P.Zhou, and D.Zhou(2013: 283-284)의 기존 연구에서 제시하고 있는 여러 학자들에 의해서 모형이 확장되어 사용되고 있다. 즉, 대표적인 최근의 국외연구를 살펴보면, Makni, Benouda, and Delhoumi(2015), Yao, Zhou, Zhang and Li(2015), Yu, Choi, and Zhang(2015), Wang, Zhao, P. Zhou, and D. Zhou(2013)등이 있다. 관련된 기존연구들의 핵심을 제시하면 다음과 같다.

Hayami(1969)는 선진국과 후진국 사이에 존재하는 커다란 농업생산성 차이를 검증하기 위해서 38개 국가의 1957년부터 1962년까지의 자료를 이용하여 메타프론티어 분석방법을 이용하였다.

Hayami and Ruttan(1970)는 38개국의 선진국과 후진국 사이의 국가 간 생산합수를 측정하기 위해서 3개 기간(1955년(1952-56년 평균), 1960년(1957-62 평균), 1965년(1962-66년 평균))에 대해서 메타프론티어 방법을 이용하였다.

Battese and Rao(2002)는 동일한 기술을 갖지 않을 수 있는 상이한 그룹의 기업들의 기술적인 효율성을 검증하기 위해서 확률적인 메

타프론티어 함수를 고려하였다.

Makni, Benouda, and Delhoumi(2015)는 1993년부터 2013년까지 301개의 이슬람주식 펀드를 위기시와 성장기로 구분하고, 6개 투자 지역으로 구분하여 메타프론티어분석을 실시하였다.

Yao, Zhou, Zhang and Li(2015)는 2011년 자료를 이용하여 중국의 30개지역을 동부, 중부, 서부지역으로 나누고, 투입요소(자본, 노동, 에너지), 산출요소(바람직한 산출물, 바람직스럽지 못한 산출물)을 이용하여 메타프론티어분석방법으로 지역 간 그룹 간 차이를 분석하였다.

Yu, Choi, and Zhang(2015)는 중국의 149개 공기업의 2011년 자료와 메타프론티어 일반화된 거리함수모형으로 투입요소(기업의 총 자산, 총 고용인수), 산출요소(2011년 매출액, 2011년 주당순이익)로 8개 분야(은행, 보험, 건설, 제조, 광산, 전력, 부동산, 소매업, 운송)의 효율성을 측정하였다.

Wang, Zhao, P. Zhou, and D. Zhou(2013)은 2000년에서 2010년까지 중국 29개 지방을 대상으로 3개의 투입요소(자본, 노동, 에너지)와 1개의 산출요소(GDP)를 이용하여 메타프론티어 분석방법으로 효율성을 측정하였다.

(4) 정수계획모형과 관련된 국외 기존연구

한편, Rand and Doig(1960), Gomory (1963)에 의해서 제기되어 산업전반의 성과분석에 이용되어 오고 있는 정수계획 모형은 최적의 클러스터링 파트너를 투입-산출요소에 근거하여 직접 개별적으로 선택할 수 있다는 장점 때문에 Wang and Jiang(2012)의 기존 연구에 대한 검토에서 제시된 것처럼 많은 학자들에 의해서 연구되고 있다. 이하에서는 최근

의 기존연구를 중심으로 검토해 보고자 한다.

Foroughi(2011)는 Amin and Toloo(2007)의 모형이 실행 가능할 때, 단 한 개의 효율적인 DMU만을 파악할 수 있으며, 비선형이 되며, 해를 구할 수 없게 된다고 지적하고 자신이 제시한 모형이 그러한 결함을 극복할 수 있다고 주장하였다.

Wang and Jiang(2012)은 Foroughi(2011)가 제시한 혼합정수계획모형이 가장 효율적인 DMU를 선택하면서 투입요소와 산출요소의 가중치를 측정하기 위해서 불필요한 제약조건과 보장영역(assurance region)을 필요로 한다고 지적하고, 상이한 규모수확조건하에서 가장 효율적인 DMU를 확인하기 위해서 단지 필수적인 제약조건과 의사결정변수가 포함된 훨씬 간단한 대안적인 혼합정수계획모형을 제시하였다.

Amin and Toloo(2007)는 가장 효율적인 DMUs를 찾아내기 위해서 목적함수에 시험적인 방법을 사용하지 않은 개선되고 통합된 모형을 제시하였다.

Cook and Zhu(2007)는 가장 효율적인 DMUs를 찾아내기 위해서 통합된 모형인 혼합정수계획모형을 2가지 단계(최대 입실론 수치 도출, 정수계획모형의 해 도출)로 제시하였다.

2. 기존연구의 한계점

첫째, 앞에 제시한 항만클러스터링과 관련된 국내 기존연구들은 박노경(2010), 박노경(2013a,b), 박노경(2015a,b)을 제외하고 DEA 기법을 사용하지 못했으며, 박노경(2015a)도 교차효율성 모형과 정수계획모형을 이용하여 3개년자료, 아시아 13개국의 항만들을 대상으로 하여, 한·중·일 항만간의 효율성을 측정하였으며, 또한 교차효율성 수치의 매트릭스 값과 평

균연결방법의 텐드로그램으로 클러스터링을 측정하였다. 또한 정수계획모형에 의해서 산출물에 초점을 맞춘 클러스터링을 측정하였다. 박노경(2015b)도 교차효율성모형과 메타프론티어 DEA모형의 분석방법으로 아시아 13개 항만의 3개년의 자료를 이용하여 개별효율성과 그룹효율성, 기술갭을 측정함으로써, 교차효율성모형에 의해서 측정된 클러스터링이 국내항만들의 메타효율성을 증진시켰는지를 실증적으로 검증하였을 뿐이다. R.K. Park(2008)은 부트스트랩DEA모형을 이용하여 효율성을 측정하고, 벤치마킹항만을 적출하고, 항만 간 순위를 결정하는 방법만을 보여주는데 그쳤으며, 박노경(2013a,b)도 교차효율성을 이용하여 항만들의 클러스터링을 하는 방법만을 보여 주었으며, 박노경(2014)도 게임교차효율성 모형을 항만의 효율성 측정과 클러스터링에 적용하는 방법만을 보여 줌으로써 (1) 메타프론티어 DEA모형과 정수계획 모형을 이용한 항만클러스터링을 심도 있게 분석하는 방법을 전혀 다루지 못했다. (2) 단 년도(또는 2-3년)를 대상으로 항만클러스터링 또는 벤치마킹항만, 항만 간 순위를 측정하는 방법만을 보여주는 수준을 뛰어 넘지 못하였으며, (3) 메타프론티어 DEA모형과 정수계획 모형을 이용한 정밀한 클러스터링 측정결과를 비교분석하는 것을 전혀 실증분석에 도입하지도 못함으로써, ① 항만클러스터링을 정확하게 측정하기 위한 새로운 모형 도입, ② 실증적 검증을 위한 대상기간, 투입-산출요소의 정확성 측면 ③ 두 가지 모형의 각각에 대한 정밀한 클러스터링 측정 결과 및 비교 분석 면에서 연구의 절대적인 한계를 보이고 있다.

둘째, 대표적인 항만분야의 국외기존연구인 Sharma and Yu(2009)의 연구도 클러스터링과 Tier분석 적용 방법만을 보여 주었을 뿐이

다.

셋째, 메타프론티어 DEA모형을 이용한 지리적 위치가 근접한 지역끼리의 클러스터링 결과와 정수계획 모형을 이용한 클러스터링을 측정하고 그러한 측정결과가 적합한 것인지를 메타프론티어 DEA모형에 재 적용하여 그 측정결과를 검증하는 한편, 새롭게 도출된 측정결과가 국내항만들의 효율성을 어느 정도로 증대시키는지와, 또한 국내항만들이 어떤 항만들과 클러스터링을 해야 하는지를 항만산업의 클러스터링 분야에 적용한 연구는 국내와 국외에서 시도되지 않은 것으로 나타난다.

넷째, 요컨대, 본 연구에서 다루고자 하는 내용들인 기본적인 DEA모형에 의한 효율성 측정, 메타프론티어 DEA모형에 의한 지리적으로 근접한 항만끼리의 클러스터링 측정, 정수계획 모형에 의한 클러스터링 측정, 정수계획모형에 의한 클러스터링 측정결과를 다시 메타프론티어 DEA모형에 재적용한 클러스터링 측정을 통한 검증, 각각의 모형의 측정결과 비교분석, 각각의 클러스터링이 국내항만의 효율성의 증진에 미친 영향, 장기적 추세분석은 전혀 새로운 주제이며, 따라서 본 연구는 국외의 항만클러스터링과 관련된 기존연구인 Sharma and Yu(2009)Po, Guh, and Yang(2009), Ulucan and Atici(2010)의 연구범위를 확장시킬 수 있다.

III. 메타프론티어 DEA 모형과 정수계획모형을 이용한 컨테이너항만의 클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증

1. 메타프론티어 DEA모형과 정수계획

모형에 대한 이론적 접근

(1) 메타프론티어 DEA모형에 대한 이론적 접근

일반적인 DEA 분석을 통해 추정한 효율성 값은 통계적인 성질을 띠지 못하고 있다.[이하의 내용은 서충원·신연수(2015:198-201)]. 메타프론티어의 방법은 동일한 생산함수를 사용하는 DMU를 같은 그룹으로 구성하고, 같은 그룹에 대해 효율성을 구한 후 각 그룹의 효율성을 포괄하는 효율성을 의미한다. 그러므로 구성된 각 그룹에 대해 자료포괄분석 등의 방법을 사용하여 메타프론티어와 그룹프론티어를 구한 후 DMU의 그룹 내 효율성과 메타프론티어 효율성, 기술격차비율을 구한다. 그러므로 메타프론티어 방법은 동일한 기술을 갖는 DMU들을 하나의 그룹으로 형성하므로 그룹의 구성 기준이 매우 중요하다. 메타프론티어 방법은 Hyami(1969)가 제시한 이후 Battess and Rao(2002)에 의해 DEA, SFA방법으로 구체화하였으며, 그룹프론티어와 메타프론티어를 통해 그룹 내 기술효율성과 메타프론티어 효율성, 기술격차비율을 분리할 수 있다는 장점이 있다. 기존의 많은 효율성의 방법이 동일한 생산함수에 대해 효율성을 비교할 수 있었다면 이 메타프론티어는 상이한 생산함수를 가진 경우에도 비교할 수 있다는 장점이 있다.

(2) 정수계획모형에 대한 이론적 접근

정수계획법이란 선형계획법 문제에서 변수들 중 최소한 하나가 정수 값을 가져야 한다는 전제 조건을 가진 계획법을 의미한다. 정수계획 모형은 크게 세 가지로 분류한다. 순수정수계획법(pure integer programming), 이진정수계

획법(binary integer programming), 혼합정수 계획법(mixed integer programming)으로 분류한다.

이 방법은 전부 또는 전무, 또는 go 또는 not go의 상황을 모델링하는데 사용되었다. 왜냐하면, 자본예산, 입지선택, 스케줄링에서 그러한 상황이 빈번하게 발생되기 때문이다.

본 연구에서 사용될 정수계획모형은 다음 식 (1)과 같다. 본 모형은 박노경·Nishimura (1998: 756)의 연구에서는 2개 은행 간 최적 합병모형으로서 이용되었지만, 본 연구에서는 9개 항만 간 클러스터링의 측정까지 확장시켰다. 본 모형에서 사용한 투입 및 산출요소는 <표 3>에 제시하였다.

$$Max \sum_j^n C_j X_j \quad (식 1)$$

$$s.t \quad \sum_{j=1}^n A_{ij} X_j \leq \text{최저크기 } (i) \quad i = 1, \dots, m$$

$$X_j = 0 \text{ 또는 } 1$$

$$C_j = \text{산출물}$$

$$A_{ij} = \text{이용가능한자원}$$

$$i = \text{투입요소}, j = \text{항만}$$

2. 메타프론티어 DEA 모형과 정수계획 모형의 장점과 단점

항만의 클러스터링과 관련하여 본 연구에 이용된 메타프론티어 DEA모형과 정수계획 모형에 대한 장단점은 <표 1>에 제시하고자 한다. 기타 모형들에 대한 장단점은 박노경 (2012)에 자세하게 제시하였다.

표 1. 메타프론티어 DEA모형과 정수계획 모형의 장점과 단점

모형/구분	장점	단점
메타프론티어 DEA 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 확률적 변경접근에서 서로 다른 생산함수를 가진 집단들의 기술효율성을 비교하고, 집단 간 기술격차를 비교 할 수 있음. • 메타효율성, 그룹효율성, 기술 갭 비율효율성을 측정 할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 동일한 기술을 갖는 DMU들을 하나의 그룹으로 형성하므로 그룹의 구성기준이 매우 중요함. • 동일 그룹 전체에 대해서 하나의 메타효율성이 클러스터링과 상관없이 존재함으로써 클러스터링 전과 후의 메타효율성비교가 어려움.
정수계획 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 주어진 다수 투입물의 제약조건하에서 단수, 또는 다수의 산출물들을 각각 개별적으로 초점을 맞추어서, 최적의 클러스터링 파트너를 단수 또는 다수를 선택할 수 있음. • 국내항만들에 대해서 개별적으로 클러스터링 파트너의 우선순위를 순차적으로 파악하여 제시 할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 각각의 투입물에 중점을 둔 클러스터링 파트너는 제시하지 못한다. • 일반적인 DEA모형들이 적용하고 있는 가중치 적용에 대한 문제를 해결하지 못한다.

3. 설문조사를 통한 메타프론티어 DEA 모형과 정수계획 모형을 이용한 실증

적 비교분석을 위한 모형개발

(1) 설문조사를 통한 메타프론티어 DEA

모형 및 정수계획 모형에 대한 실증적 비교분석을 위한 모형개발

1) 설문조사의 방법, 기간 및 설문조사 결과

〈표 2〉와 관련된 설문지는 2016년 7월 10일부터 2016년 8월 30일 사이에 항만관련 교수, 부산항만공사, 인천항만공사, 여수광양항만공사, 대표적인 해운회사 담당자들에게 직접 조사, 전화를 이용한 직접 면담방법을 이용하였다. 대상은 해운회사 3명, 한국항만경제학회 항만분야 교수 10명, 항만공사(부산, 인천, 여수광양) 3명, KMI(한국해양수산개발원)연구원 2명, 부산테크노파크 직원 1명으로 총19명에게 설문지를 받았다. 다음과 같은 설문문의 내용에 대한 의견이 제기되었다. 첫째, 투입요소에 대해서는 불확실변수인 선박대기시간 등을 고려, 클러스터링에 대한 의미의 정확한 정의 필요성, 인적인 요소를 포함, 선적된 컨테이너의 분포가 작업효율에 영향을 미치는 것을 고려, 시간당 회전율이 중요, 환적화물은 특히 고려, 예선도선, 항로상의 선박교차 시 장애요인 등등을 고려해야만 한다. 야드 백업장비 등이 포함되어야만 한다. 선박운항비용(operational expenditure), 입출항시간, 항만규정, 부패지수, 선용품, 부신, 기항보급품, 블랙머니 등의 요소가 감안해야 한다. 둘째, 산출요소 측면에서는 항만의 자연 상황 즉, 기상상태도 포함되어야만 한다. 셋째, 해양수산부의 정책적인 지원요청사항에 대한 질문의 답은 다음과 같다. ① 정부의 지원정책으로는 항만공사의 자율적인 운영을 보장해야 하고, 중국 SIPG, 싱가포르 PSA International처럼 운영의 민영화가 필요하다. ② 한중항로개방, 업계 민간단체 사전조정을 하여 국가 간 협약을 통해서 항로를 개방해야만 한다. ③ 갠트리크레인 24열 3기로는

부족하고, 추가적인 설치가 필요하고 운영사의 재정상태가 열악해서 재투자가 어려움, 야드 백업장비를 최신화해야만 한다. 운영회사를 지원하는 방안으로는 일정물량을 확보 시에 인센티브를 부여하는 방안도 고려해야만 한다. ④ 해수부가 국토교통부, 다시 해수부로 되면서 정책의 일관성이 결여되어 있다. 부산항의 북항은 일반상업지구로 지정하고, 신항 부근의 교통문제 등등을 해결하기 위해서 선석확장 등의 터미널 개발을 신속하게 추진해야만 한다. ⑤ 해운산업의 구조조정이 부도난 회사들을 막대한 자금을 투자하여 살려내고, 다시 시장에서 치킨게임을 하도록 하여 출혈경쟁이 야기되는 것은 정도경영을 해온 기업들에게는 심정적으로 대단히 큰 불만을 야기하고 있다. 즉, 시장논리에 기반 해야 되지만, 국가지원정책의 합리성이 요구된다. ⑥ 금융적인 부분(선대확보 등을 위해 필요한 자금을 외국계 선사에게는 저리혜택을 부여함)에서 국내선사도 저리혜택을 부여해야만 한다. 해운선사는 고정비 등으로 부채비율이 높을 수밖에 없는데, 신용평가사들은 해운선사의 사정을 고려하지 않고서, 부채비율을 높게 평가함으로써, 국내와 국외에서 자본유치에 어려움이 매우 크다. 프랑스, 중국 등은 국가가 나서서 파산 직전의 해운사(CMACGM)를 국가차원에서 파산을 구제한다.

위와 같은 지적에도 불구하고 본 논문에서 Containerization International Yearbook과 SP-IDC의 자료를 활용하여 〈표 2〉와 같은 투입-산출요소에 대한 만족도 결과에 의거하여 1개의 산출물(컨테이너화물처리량)과 4개의 투입물(선석 길이, 수심, 총면적, 크레인 수)을 이용한 〈표 3〉과 같은 모형으로 결정하였다. 클러스터링 해야만 한다고 생각되는 선호항만으로는 상해, 싱가포르, 홍콩항이 선호

되었다. 일본항 중에서는 오사카항이 선호되 고 있었으며, 베트남의 하이퐁항이 선호되었다. 투입-산출요소에 대해서는 약 78.9%의 전문가들이 70% 이상의 수준에서 만족하고 있는 것으로 나타났다.

표 2. 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형을 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							①②		홍콩, 상해, 싱가포르
2					①②				홍콩, 싱가포르, 두바이
3						①	②		홍콩, 싱가포르, 상해
4				①			②		상해, 홍콩, 싱가포르
5							①②		싱가포르, 카오슝, 홍콩
6							①②		싱가포르, 카오슝, 홍콩
7							①②		상해, 싱가포르, 홍콩
8							①②		두바이, 동경, 오사카, 카오슝
9				②		①			동경, 포트클랑, 카오슝
10					①	②			상해, 홍콩, 싱가포르
11						①	②		싱가포르, 상해, 두바이
12						①		②	동경, 오사카, 싱가포르
13						①②			싱가포르, 상해, 홍콩
14					①②				청도, 대련, 한신케이펄
15					①	②			천진, 롱비치, 로테르담
16							①	②	상해
17						①	②		상해, 홍콩, 싱가포르
18						①		②	상해, 닝보
19						①	②		상해, 홍콩, 싱가포르
합계				2	6	11	16	3	38

2) 설문조사결과에 의한 메타프론티어 DEA 모형과 정수계획 모형 개발

아시아 항만들의 클러스터링을 측정 할 수 있는 새로운 모형을 개발하였다.

〈표 2〉의 결과에 의해서 〈표 3〉과 같은

표 3. 메타프론티어 DEA모형과 정수계획 모형에 의한 클러스터링 측정 모형

모형	대상기간	산출요소	투입요소	대상항만 수
메타프론티어 DEA 모형과 정수계획 모형	2005~2014	컨테이너화물처리량 (TEU)	선석길이(m)	380개
			수심(m)	
			총면적(평방미터)	
			크레인수(개)	

4. 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형을 이용한 아시아 컨테이너항만 들의 클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증

(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 380개 항만)의 10년간(2005년-2014년)으로 하였다. 각 변수의 단위는 다음과 같다. 투입요소는 선석길이(m), 수심(m) [평균치], 총면적(평방미터), 크레인 수(개)[갠트리, Quay, 모바일, 플로팅 크레인 수]로 하였으며, 산출요소는 컨테이너화물처리량(TEU)이다. 또한 2011년 자료는 통계자료의 발표지연 및 변경 때문에, 박노경(2014, p.71)의 방법으로 계산하였다. 10년간의 자료를 수집[자세한 내용은 박노경(2013)참조요망]하고 정리하는 과정에서 오류가 발생할 수도 있었음을 밝혀둔다. 특히, 2012년 이후의 자료는 Containerisation International Yearbook의 발간이 변경됨에 따라서 컨테이너화물처리량(TEU)이외에는 더 이상 자료를 구할 수 없게 되었다. 따라서 산출요소인 컨테이너화물처리량은 미국야후(CIY)가 발표한 세계 100대 컨테

이너항만 순위)에서 구하였으며, 투입요소에 대해서는 2011년 자료에 일괄적으로 1%를 더한 값으로 계산하였다. 2013년 자료는 SP-IDC에서 컨테이너화물처리량(TEU)을 수집하였으며, 구할 수 없는 자료는 2012년 자료를 그대로 이용하였다. 투입요소는 2012년 자료를 그대로 이용하였다. 2014년의 자료도 유사한 방법으로 이용하였다. 실증분석은 첫째, 2005년도의 자료를 이용하여 메타프론티어 DEA모형을 이용하여 클러스터링 측정방법을 보여 준다. 둘째, 전체년도를 대상으로 하여, 메타프론티어 DEA모형을 이용하여 메타효율성 추세분석을 제시하고자 한다. 셋째, 정수계획모형을 이용하여 클러스터링을 측정한다. 넷째, 정수계획모형에 의해서 추출된 클러스터링을 이용하여 메타프론티어 DEA모형을 이용하여 다시 한 번 클러스터링 후의 메타효율성을 측정한다. 다섯째, 국내항만을 대상으로 클러스터링 후의 효율성 변화를 비교한다. 여섯째, 위의 실증분석결과에 의거하여 여러 가지 측면에서 양 측정방법을 비교분석한다.

각 국가별 항만들의 항만번호 및 명칭은 다음과 같다. 1. Shahid Rajacee, 2. Haifa, 3. Aqaba, 4. Beirut, 5. Port Sultan Qaboos, 6. Jeddah, 7. Damman, 8. Duabi, 9. Khor Fakkan, 10. Aden, 11. Hong-kong, 12. Shanghai, 13. Guangzhou, 14. Ningbo, 15.

Qingdao, 16. Chennai, 17. Tanjung Priok, 18. Tanjung Perak, 19. Tokyo, 20. Yokohama, 21. Kobe, 22. Nagoya, 23. Osaka, 24. Busan, 25. Incheon, 26. Gwangyang, 27. Port Klang, 28. Tanjung Pelpas, 29. Karachi, 30. JPort Mohammad Byin Oasim, 31. Manila, 32. Davao, 33. Singapore, 34. Colombo, 35. Keelong, 36. Kaosiung, 37. Leam Chanbang, 38. Bangkok. 또한 실증분석에 사용된 자료의 기술통계치는 <표 4>에 제시하였다.

(2) 실증분석에 사용한 자료에 대한 기술통계치

<표 4>에는 실증분석에 사용된 기술통계치를 제시하였다. 침도수치로 보면 5개의 변수들이 각각 정규분포보다 뾰족한 모형을 갖고 있으며, 왜도수치로 보면 평균이 중앙값보다 큰 오른쪽 꼬리(수심 : 왼쪽꼬리)모양을 갖고 있다. 최소 값과, 최대 값은 년도 별 상대적 효율성을 측정하는 데는 큰 문제는 없다고 본다.

표 4. 실증분석에 사용된 기술통계치

구분/요소	선석길이	수심	총면적	크레인수	총처리량
평균	4515.14	12.99	1753749	71,65	7008442
표준편차	4298.16	1.87	1808039	92,19	17530023
분산	18474204,52	3,52	3,26901E+12	8499,22	3,07E+14
중앙값	3588	13	1264883,5	38,19	2815915,5
침도	19,91	1,08	4,96	8,16	154,91
왜도	3,41	-0,59	2,15	2,69	11,25
최소값	100	6,67	60000	1	125042
최대값	38109	18,95	10050300	507	271710000
관측수	380	380	380	380	380

(3) 메타프론티어 DEA모형을 이용한 투입지향모형(CRS, 규모수확 불변)에 대한 효율성(메타효율성, 그룹효율성, 기술갭 비율) 측정 결과

지역별로 4개의 군집을 의도적으로 형성시킨 2005년 자료를 이용한 <표 5>의 실증분석의

주요한 결과를 살펴보면, 첫째, 메타효율성이 효율적으로 나타난 항만은 11번, 15번, 18번, 33번, 35번, 36번 항만들이었다. 또한 높게 나타난 항만들은 12번, 14번 항만이였다. 둘째, 그룹효율성이 효율적으로 나타난 항만은 8번, 9번, 11번, 12번, 15번, 16번, 18번, 29번, 30번, 33번, 35번, 36번 항만들이었다. 셋째, 기술갭 비율이 효율적으로 나타난 항만들은 11번, 15번, 17번, 18번, 33번, 35번, 36번 항만

들이었다.

〈표 6〉에는 2004년부터 2015년까지의 메타효율성(Meta), 그룹효율성(Group), 기술 갭 비율(Tech GR)을 제시하였다. 메타효율성과 그룹효율성이 1에 가까워지면, 그 항만의 생산 효율성이 증가하며, 투입요소는 감소하고 산출요소는 증가할 가능성이 높다. 기술 갭 비율이 1에 가까워지면 생산기술의 이질성이 작아지며, 그룹프론티어와 메타프론티어의 생산 효율성이 근접하게 된다.[박노경(2016b: 30)]. 다음과 같은 사실을 알 수 있다.[박노경(2016b: 37)]. 첫째, 중국항만들의 메타효율성이 상대적으로 매우 높게 나타났다. 그 이유는 급격하게 증가하는 중국항만들의 화물처리량에 그 원

인이 있는 것으로 추정된다. 둘째, 중국항만들 중에서 메타효율성과 그룹효율성 순위는 상해, 홍콩, Ningbo, Qingdao, Guangzhou 항 순이었다. 기술 갭 효율성 순위는 Ningbo, 상해, 홍콩, Qingdao, Guangzhou 순이었다. 여기서 기술 갭 효율성은 그룹프론티어가 메타프론티어에 비해서 얼마나 멀리 떨어져 있는지를 보여 주며 1에 가까울수록 두 개의 프론티어가 일치함을 나타낸다. Ningbo 항의 기술격차의 왜곡이 상대적으로 다른 항만들에 비해서 작다는 것을 의미한다. 둘째, 한국항만의 효율성 순위는 메타효율성과 그룹효율성 순위는 부산항, 인천항, 광양항의 순이었다. 기술 갭 효율성은 광양, 인천, 부산항의 순이었다.

표 5. 메타프론티어 DEA모형(투입지향 규모수확불변:CRS)을 이용한 메타효율성, 그룹효율성, 기술 갭 비율 측정결과(2005년 자료이용)

항만/구분	클러스터번호	메타효율성	그룹효율성	기술 갭 비율	비고
1	1	0.1776	0.4076	0.4358	
2	1	0.2101	0.4209	0.4992	
3	1	0.1850	0.3580	0.5168	
4	1	0.0401	0.0714	0.5617	
5	1	0.0731	0.1446	0.5052	
6	1	0.3210	0.6965	0.4609	
7	1	0.1934	0.3368	0.5742	
8	1	0.5758	1	0.5758	
9	1	0.7384	1	0.7384	
10	1	0.0807	0.1387	0.5814	
11	2	1	1	1	
12	2	0.9705	1	0.9705	
13	2	0.4188	0.5236	0.7998	
14	2	0.8904	0.9172	0.9708	
15	2	1	1	1	
16	3	0.6077	1	0.6077	
17	4	0.3809	0.3809	1	
18	4	1	1	1	
19	2	0.4608	0.4637	0.9936	
20	2	0.2550	0.2758	0.9248	
21	2	0.2286	0.2476	0.9233	
22	2	0.2951	0.3105	0.9504	

23	2	0.2043	0.2250	0.9080	
24	2	0.5849	0.6515	0.8977	
25	2	0.3122	0.3188	0.9795	
26	2	0.2173	0.2561	0.8485	
27	4	0.4532	0.5693	0.7960	
28	4	0.6557	0.6601	0.9933	
29	3	0.3376	1	0.3376	
30	3	0.2580	1	0.2580	
31	4	0.2317	0.2320	0.9990	
32	4	0.5322	0.5499	0.9679	
33	4	1	1	1	
34	4	0.3636	0.6271	0.5798	
35	2	1	1	1	
36	2	1	1	1	
37	4	0.1760	0.1760	0.9998	
38	4	0.2797	0.2898	0.9651	

표 6. 10년 동안의 불변수확하의 투입지향모형에 의한 메타효율성, 그룹효율성, 기술 갭 비율 측정결과

항만/구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
1	Meta	0.1776	0.1983	0.3221	0.2851	0.3167	0.3009	0.0551	0.2256	0.1550	0.1445
	Group	0.4076	1	0.8306	0.8624	0.5602	0.3489	0.7885	0.5236	0.4137	0.4265
	Tech GR	0.4358	0.1983	0.3877	0.3305	0.5654	0.8623	0.0699	0.4309	0.3747	0.3388
2	Meta	0.2101	0.0317	0.1859	0.1702	0.1643	0.1455	0.0284	0.1023	0.0917	0.0722
	Group	0.4209	0.4564	0.3496	0.3459	0.2747	0.2192	0.3473	0.3340	0.3410	0.2947
	Tech GR	0.4992	0.0695	0.5315	0.4920	0.5982	0.6641	0.0819	0.3063	0.2688	0.2450
3	Meta	0.1850	0.0221	0.2064	0.2767	0.4136	0.3221	0.0444	0.1860	0.2970	0.2649
	Group	0.3580	0.2537	0.5217	0.8383	1	0.3736	0.5477	0.3619	0.6729	0.6273
	Tech GR	0.5168	0.0872	0.3957	0.3305	0.4136	0.8623	0.0812	0.5139	0.4413	0.3937
4	Meta	0.0401	0.0062	0.0759	0.0704	0.0972	0.4511	0.0285	0.0745	0.0727	0.0708
	Group	0.0714	0.1117	0.1241	0.1132	0.1266	0.5231	0.3293	0.2812	0.3143	0.3372
	Tech GR	0.5617	0.0555	0.6115	0.6216	0.7678	0.8623	0.0865	0.2649	0.2314	0.2099
5	Meta	0.0731	0.0078	0.0518	0.0820	0.1163	0.1045	0.0388	0.0964	0.0871	0.0777
	Group	0.1446	0.1263	0.1543	0.1940	0.1581	0.1212	0.4244	0.3528	0.3710	0.3710
	Tech GR	0.5052	0.0621	0.3357	0.4227	0.7355	0.8623	0.0915	0.2734	0.2348	0.2095
6	Meta	0.3210	0.1153	0.3556	0.2779	0.4072	0.2927	0.0449	0.2891	0.2514	0.2096
	Group	0.6965	1	0.9039	0.7548	0.7436	0.3394	0.7257	0.7783	0.7687	0.6998
	Tech GR	0.4609	0.1153	0.3934	0.3681	0.5476	0.8623	0.0619	0.3715	0.3270	0.2995
7	Meta	0.1934	0.0284	0.2033	0.1682	0.2948	0.2640	0.0457	0.2694	0.2489	0.2339
	Group	0.3368	0.4473	0.5243	0.3418	0.3122	0.3061	0.5630	0.5243	0.5640	0.5942
	Tech GR	0.5742	0.0635	0.3877	0.4920	0.9442	0.8623	0.0812	0.5139	0.4413	0.3937
8	Meta	0.5758	0.0654	0.7648	0.8115	1	0.8641	0.0863	0.5902	0.5880	0.5958
	Group	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tech GR	0.5758	0.0654	0.7648	0.8115	1	0.8641	0.0863	0.5902	0.5880	0.5958
9	Meta	0.7384	0.0580	0.3957	0.3749	0.6587	0.4634	0.0915	0.5139	0.4413	0.3937
	Group	1	0.8794	1	0.8990	0.8983	0.5374	1	1	1	1

	Tech GR	0,7384	0,0659	0,3957	0,4170	0,7333	0,8623	0,0915	0,5139	0,4413	0,3937
10	Meta	0,0807	0,0140	0,0969	0,0790	0,0902	0,0725	0,0055	0,0426	0,0424	0,0379
	Group	0,1387	0,1899	0,1843	0,1633	0,1345	0,1825	0,0712	0,0869	0,1006	0,1002
	Tech GR	0,5814	0,0736	0,5258	0,4840	0,6707	0,3971	0,0779	0,4897	0,4219	0,3777
11	Meta	1	0,1272	1	1	1	1	0,1528	1	0,9412	0,8739
	Group	1	0,1272	1	1	1	1	1	1	0,9726	0,8912
	Tech GR	1	1	1	1	1	1	0,1528	1	0,9678	0,9806
12	Meta	0,9705	1	1	1	1	1	0,2238	1	1	1
	Group	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tech GR	0,9705	1	1	1	1	1	0,2238	1	1	1
13	Meta	0,4188	0,0999	0,8847	0,9800	1	0,8075	0,1204	0,7222	0,7040	0,6871
	Group	0,5236	0,0999	0,8847	0,9800	1	0,8443	0,7262	0,7222	0,7040	0,6871
	Tech GR	0,7998	1	1	1	1	0,8664	0,1658	1	1	1
14	Meta	0,8904	0,1407	1	1	1	1	0,5035	1	1	1
	Group	0,9172	0,1407	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tech GR	0,9708	1	1	1	1	1	0,5035	1	1	1
15	Meta	1	0,0543	0,8165	0,7389	0,8167	0,7761	0,1086	0,8343	0,8227	0,7955
	Group	1	0,0543	0,8272	0,7935	0,8167	0,7761	0,7715	0,8343	0,8298	0,7994
	Tech GR	1	1	0,9871	0,9312	1	1	0,1407	1	0,9916	0,9951
16	Meta	0,6077	0,1304	0,7875	0,8552	0,9266	0,4904	0,0805	0,4189	0,3588	0,3375
	Group	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tech GR	0,6077	0,1304	0,7875	0,8552	0,9266	0,4904	0,0805	0,4189	0,3588	0,3375
17	Meta	0,3809	0,0467	0,3578	0,3633	0,4220	0,5750	0,0745	0,4448	0,4327	0,3856
	Group	0,3809	0,4979	0,6541	0,6744	0,6730	0,7752	0,0745	0,9085	0,7161	0,6876
	Tech GR	1	0,0938	0,5544	0,5387	0,6269	0,7418	1	0,4896	0,6043	0,5609
18	Meta	1	0,0160	0,2406	0,2409	0,2900	0,4620	0,0872	0,2875	0,2735	0,2525
	Group	1	0,1709	0,4207	0,4410	0,4096	0,6085	0,0872	0,6077	0,4330	0,4385
	Tech GR	1	0,0938	0,5720	0,5463	0,7080	0,7593	1	0,4731	0,6318	0,5759
19	Meta	0,4608	0,0540	0,3205	0,2979	0,3114	0,3176	0,0500	0,3287	0,3085	0,2857
	Group	0,4637	0,0540	0,3349	0,3046	0,3120	0,3176	0,3329	0,3287	0,3106	0,2868
	Tech GR	0,9936	1	0,9570	0,9781	0,9982	1	0,1502	1	0,9934	0,9961
20	Meta	0,2550	0,0363	0,2958	0,2871	0,2382	0,2121	0,0434	0,1722	0,1513	0,1377
	Group	0,2758	0,0363	0,2958	0,2871	0,2382	0,2176	0,1951	0,1830	0,1590	0,1436
	Tech GR	0,9248	1	1	1	1	0,9745	0,2225	0,9407	0,9518	0,9593
21	Meta	0,2286	0,0266	0,2043	0,1946	0,2070	0,1685	0,0235	0,1460	0,1359	0,1272
	Group	0,2476	0,0266	0,2078	0,1958	0,2085	0,1770	0,1487	0,1493	0,1382	0,1285
	Tech GR	0,9233	1	0,9829	0,9936	0,9926	0,9521	0,1582	0,9779	0,9830	0,9900
22	Meta	0,2951	0,0268	0,2371	0,1929	0,1966	0,2170	0,0475	0,2175	0,2004	0,1807
	Group	0,3105	0,0268	0,2642	0,2187	0,2036	0,2170	0,2224	0,2175	0,2004	0,1807
	Tech GR	0,9504	1	0,8975	0,8822	0,9659	1	0,2135	1	1	1
23	Meta	0,2043	0,0304	0,2205	0,2017	0,1770	0,0955	0,0411	0,1496	0,1425	0,1131
	Group	0,2250	0,0304	0,2205	0,2017	0,1770	0,9857	0,1512	0,1583	0,1491	0,1175
	Tech GR	0,9080	1	1	1	1	0,9687	0,2718	0,9448	0,9554	0,9625
24	Meta	0,5849	0,0538	0,6796	0,6716	0,6214	0,5682	0,1019	0,6973	0,7048	0,6995
	Group	0,6515	0,0538	0,6934	0,6845	0,6214	0,6188	0,6928	0,7290	0,7315	0,7153
	Tech GR	0,8977	1	0,9801	0,9812	1	0,9182	0,1471	0,9564	0,9635	0,9779
25	Meta	0,3122	0,0417	0,2715	0,2697	0,2671	0,2304	0,0937	0,2030	0,1999	0,1927
	Group	0,3188	0,0417	0,2715	0,2697	0,2671	0,2304	0,2180	0,2030	0,1999	0,1927

	Tech GR	0,9795	1	1	1	1	1	0,4299	1	1	1
26	Meta	0,2173	0,0342	0,1823	0,1843	0,1970	0,1607	0,0475	0,2290	0,2193	0,2003
	Group	0,2561	0,0342	0,1823	0,1843	0,1970	0,1607	0,2588	0,2290	0,2193	0,2003
	Tech GR	0,8485	1	1	1	1	1	0,1833	1	1	1
27	Meta	0,4532	0,0549	0,4974	0,5152	0,5150	0,4732	1	0,5323	0,5157	0,4970
	Group	0,5693	0,4982	0,7600	0,8133	0,8856	0,6927	1	1	0,7616	0,7797
	Tech GR	0,7960	0,1102	0,6546	0,6335	0,5816	0,6831	1	0,5323	0,6771	0,6374
28	Meta	0,6557	0,0764	0,5090	0,4938	0,9777	0,8620	0,0789	0,4263	0,3814	0,3814
	Group	0,6601	0,8149	1	1	1	1	0,0789	0,9011	0,6206	0,6795
	Tech GR	0,9933	0,0938	0,5090	0,4938	0,9777	0,8620	1	0,4731	0,6146	0,5612
29	Meta	0,3376	0,0464	0,2851	0,1986	0,3803	0,3255	0,0436	0,2280	0,2199	0,1961
	Group	1	1	1	1	1	1	0,9862	0,9909	1	1
	Tech GR	0,3376	0,0464	0,2851	0,1986	0,3803	0,3255	0,0442	0,2301	0,2199	0,1961
30	Meta	0,2580	0,0398	0,2413	0,2180	0,4370	0,3702	0,0554	0,2898	0,2178	0,1943
	Group	1	0,9760	1	0,8443	0,9107	0,7549	0,6890	0,6918	0,6071	0,5757
	Tech GR	0,2580	0,0408	0,2413	0,2582	0,4799	0,4904	0,0804	0,4189	0,3588	0,3375
31	Meta	0,2317	0,0275	0,4328	0,3958	0,3167	0,0111	0,0382	0,3515	0,3365	0,4319
	Group	0,2320	0,2928	0,7268	0,6339	0,6080	0,0144	0,0382	0,6188	0,4798	0,6509
	Tech GR	0,9990	0,0938	0,5955	0,6244	0,5209	0,7682	1	0,5681	0,7014	0,6636
32	Meta	0,5322	0,0716	0,4026	0,1970	0,1449	0,1803	0,0690	0,2357	1	1
	Group	0,5499	0,5882	0,7763	0,4847	0,3530	0,5728	0,0690	0,8802	1	1
	Tech GR	0,9697	0,1218	0,5186	0,4065	0,4103	0,3148	1	0,2678	1	1
33	Meta	1	0,1307	1	1	0,9943	1	0,1996	1	1	1
	Group	1	1	1	1	1	1	0,1996	1	1	1
	Tech GR	1	0,1307	1	1	0,9943	1	1	1	1	1
34	Meta	0,3636	0,0982	0,5791	0,5265	0,5464	0,3634	0,0701	0,3617	0,3365	0,3422
	Group	0,6271	0,8914	1	1	1	1	0,0701	1	0,5464	0,6111
	Tech GR	0,5798	0,1102	0,5791	0,5265	0,5464	0,3634	1	0,3617	0,6159	0,5599
35	Meta	1	0,2899	0,3620	0,2929	0,2404	0,2284	0,1050	0,3292	0,2692	0,2779
	Group	1	0,2899	0,3620	0,2929	0,2404	0,2284	0,3116	0,3292	0,2904	0,2886
	Tech GR	1	1	1	1	1	1	0,3368	1	0,9271	0,9630
36	Meta	1	0,1268	0,8992	0,7854	0,8068	0,6298	0,1849	0,5829	0,5463	0,5275
	Group	1	0,1268	0,8992	0,7854	0,8068	0,6567	0,6352	0,6085	0,5637	0,5406
	Tech GR	1	1	1	1	1	0,9591	0,2912	0,9579	0,9693	0,9758
37	Meta	0,1760	0,0212	0,2272	0,2381	0,2744	0,2279	0,0374	0,2282	0,2264	0,2312
	Group	0,1760	0,2259	0,3122	0,3257	0,5313	0,2878	0,0374	0,2890	0,2754	0,2877
	Tech GR	0,9998	0,0938	0,7275	0,7310	0,5164	0,7918	1	0,7898	0,8220	0,8038
38	Meta	0,2797	0,0395	0,2437	0,2069	0,2069	0,1727	0,0320	0,1281	0,1382	0,1265
	Group	0,2898	0,4215	0,4817	0,4408	0,3847	0,3008	0,0320	0,2648	0,2278	0,2260
	Tech GR	0,9651	0,0938	0,5059	0,4695	0,5377	0,5742	1	0,4837	0,6065	0,5598

표 7. 정수계획모형을 이용한 클러스터링 측정결과(2005년 자료이용)

구분	클러스터링 항만
2자(1&1)	15&33, 11&12, 24&36, 8&14, 13&28, 17&19, 6&20, 22&31, 21&34, 9&35, 18&23, 26&38, 1&25, 2&7, 16&29, 27&30, 3&4, 10&37, 5&32
3자(1&2)	(11,15,33), (12,24,36), (8,13,14), (17,19,28), (6,20,31),(21,22,34), (9,23,35), (18,26,38), (1,2,35), (7,16,29), (4,27,30), (3,10,37), (5&32 남음)
4자(1&3)	(11,12,15,33), (8,14,24,36), (13,17,19,28), (6,20,22,31), (9,21,34,35), (18,23,26,38), (1,2,7,25), (16,27,29,30), (3,4,5,10)
5자(1&4)	(11,12,15,24,33), (8,13,14,28,36), (6,17,19,20,31), (9,21,22,34,35), (1,18,23,26,38), (2,7,16,25,29), (3,4,27,30,37), (5,10,32 남음)
6자(1&5)	(11,12,15,24,33,36), (8,13,14,17,19,28), (6,20,21,22,31,34), (9,18,23,26,35,38), (1,2,7,16,25,29), (3,4,10,27,30,37), (5,32 남음)
7자(1&6)	(8,11,12,15,24,93,36), (6,13,14,17,19,20,28), (9,21,22,23,31,34,35), (1,2,7,18,25,26,38), (3,4,16,27,29,30,37), (5,10,32 남음)
8자(1&7)	(8,11,12,14,15,24,33,36), (6,13,17,19,20,22,28,31), (9,18,21,23,26,34,35,38),(1,2,7,16,25,27,29,30), (3,4,5,10,32,37 남음)
9자(1&8)	(8,11,12,13,14,15,24,33,36), (6,17,19,20,22,28,31,34), (1,2,9,18,23,25,26,35,38),(3,4,7,10,16,27,29,30,37), (5,32 남음)

지역별로 9개 항만간의 클러스터링을 의도적으로 형성시킨 2005년 자료를 이용한 결과는 <표 7>에 제시하였으며, 9자(1&8)간 10년간의 클러스터링 측정결과는 <표 8>에 제시하였다. 실증분석의 주요한 결과를 국내항만 측면에서 살펴보면, 첫째, 부산항은 두바이, 홍콩,

상해, 광저우, 닝보, 칭타오, 싱가포르, 카오슝항과 클러스터링하고, 둘째, 인천항과 광양항은 사히드 라자이, 하이파, 크호르 파칸, 탄중 페락, 오사카, 키룅, 방콕 항과 클러스터링 하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

표 8. 정수계획모형을 이용한 4개 지역 간(9자(1&8)) 10년간의 클러스터링 측정결과

년도	지역별 9개 항만 간 클러스터링 항만번호
2005	(8,11,12,13,14,15,24,33,36), (6,17,19,20,21,22,28,31,34), (1,2,9,18,23,25,26,35,38), (3,4,7,10,16,27,29,30,37), (5,32 남음)
2006	(8,11,12,13,14,15,24,33,36), (6,17,19,20,22,27,28,34,37), (1,9,21,23,25,26,31,35,38), (2,3,4,7,10,16,18,29,30), (5,32 남음)
2007	(8,11,12,13,14,15,24,33,36), (1,17,19,20,22,27,28,34,37), (6,9,18,21,23,25,26,31,35), (2,3,4,7,10,16,29,30,38), (5,32 남음)
2008	(8,11,12,13,14,15,24,33,36), (6,17,19,20,27,28,31,34,37), (1,9,18,21,22,23,25,26,35), (2,3,4,7,10,16,29,30,38), (5,32 남음)
2009	(8,11,12,13,15,24,27,33,36), (6,9,17,19,20,28,31,34,37), (1,18,21,22,23,25,26,29,35), (2,3,4,7,10,16,30,38), (5,32 남음)

2010	(8,11,12,13,14,15,24,33,36), (1,9,16,21,22,25,26,35,38), (2,3,4,7,10,23,29,30,32), (5,31 남음)	(6,17,18,19,20,27,28,34,37),
2011	(8,11,13,14,15,24,27,33,36), (1,12,20,21,22,23,25,26,35), (2,3,4,7,16,29,30,32,38), (5,10 남음)	(6,9,17,18,19,28,31,34,37),
2012	(8,11,12,13,14,15,24,27,36), (1,18,20,21,22,23,25,26,35), (2,3,4,7,16,29,30,32,38), (5,10 남음)	(6,9,17,19,28,31,34,36,37),
2013	(8,11,12,13,14,15,24,27,33), (18,20,21,22,23,25,26,31,35), (1,2,3,4,7,16,29,30,38), (5,10 남음)	(6,9,17,19,28,32,34,36,37),
2014	(8,11,12,13,14,15,24,27,33), (9,18,20,21,22,23,25,26,35), (1,2,3,4,7,16,29,30,38), (5,10 남음)	(6,17,19,28,31,32,34,36,37),

표 9. 정수계획모형에 의한 클러스터링 후의 불변수확하의 투입지향모형에 의한 메타효율성, 그룹효율성, 기술 갭 비율 측정결과

항만/구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
1	Meta	0.1776	0.1983	0.3221	0.2851	0.3167	0.3009	0.0551	0.2256	0.1550	0.1445
	Group	0.5395	1	0.8543	0.8624	1	0.8729	0.6042	0.7876	0.9386	0.9419
	Tech GR	0.3292	0.1983	0.3770	0.3305	0.3167	0.3447	0.0913	0.2864	0.1665	0.1534
2	Meta	0.2101	0.0317	0.1859	0.1702	0.1643	0.1455	0.0284	0.1023	0.0917	0.0722
	Group	0.5920	1	0.9236	0.3459	0.1643	1	0.7285	0.9026	0.8718	0.7350
	Tech GR	0.3549	0.0317	0.2012	0.4920	1	0.1455	0.0390	0.1133	0.1051	0.0982
3	Meta	0.1850	0.0221	0.2064	0.2767	0.4136	0.3221	0.0444	0.1860	0.2970	0.2649
	Group	0.5712	0.6950	0.5992	0.7407	0.4150	1	0.5524	0.4440	0.8276	0.7849
	Tech GR	0.3239	0.0318	0.3445	0.3736	0.9965	0.3221	0.0805	0.4189	0.3588	0.3375
4	Meta	0.0401	0.0062	0.0759	0.0704	0.0972	0.4511	0.0285	0.0745	0.0727	0.0708
	Group	0.1095	0.4319	0.5328	0.2018	0.1056	1	0.6578	0.7103	0.7663	0.7890
	Tech GR	0.3661	0.0144	0.1425	0.3488	0.9204	0.4511	0.0433	0.1048	0.0949	0.0897
5	Meta	0.0731	0.0078	0.0518	0.0820	0.1163	0.1045	0.0388	0.0964	0.0871	0.0777
	Group	0.8734	0.7469	0.7760	1	1	1	1	1	1	1
	Tech GR	0.0836	0.0105	0.0667	0.0820	0.1163	0.1045	0.0388	0.0964	0.0871	0.0777
6	Meta	0.3210	0.1153	0.3556	0.2779	0.4072	0.2927	0.0449	0.2891	0.2514	0.2096
	Group	0.7242	1	0.7175	0.6022	0.5330	0.5240	0.5156	0.6438	0.4920	0.4466
	Tech GR	0.4432	0.1153	0.4956	0.4614	0.7640	0.5585	0.0871	0.4490	0.5109	0.4693
7	Meta	0.1934	0.0284	0.2033	0.1682	0.2948	0.2640	0.0457	0.2694	0.2489	0.2339
	Group	0.5478	0.8129	0.8268	0.6493	0.3042	1	0.8109	0.9659	1	1
	Tech GR	0.3530	0.0349	0.2459	0.2590	0.9692	0.2640	0.0563	0.2789	0.2489	0.2339
8	Meta	0.5758	0.0654	0.7648	0.8115	1	0.8641	0.0863	0.5902	0.5880	0.5958
	Group	0.5758	0.0654	0.7648	1	1	0.8641	0.0863	0.5902	0.5880	0.5958
	Tech GR	1	1	1	0.8115	1	1	1	1	1	1
9	Meta	0.7384	0.0580	0.3957	0.3749	0.6587	0.4634	0.0915	0.5139	0.4413	0.3937
	Group	1	1	1	0.3749	1	1	1	1	0.5573	1
	Tech GR	0.7384	0.0580	0.3957	1	0.6587	0.4634	0.0915	0.5139	0.7919	0.3937
10	Meta	0.0807	0.0140	0.0969	0.0790	0.0902	0.0725	0.0055	0.0426	0.0424	0.0379
	Group	0.1943	0.2672	0.4274	0.2534	0.0918	1	0.6104	0.8897	0.9825	0.9825
	Tech GR	0.4150	0.0523	0.2267	0.3120	0.9830	0.0725	0.0091	0.0478	0.0432	0.0385
11	Meta	1	0.1272	1	1	1	1	0.1528	1	0.9412	0.8739

	Group	1	0,1272	1	1	1	1	0,1528	1	0,9412	0,8739
	Tech GR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	Meta	0,9705	1	1	1	1	1	0,2238	1	1	1
	Group	0,9705	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tech GR	1	1	1	1	1	1	0,0038	1	1	1
13	Meta	0,4188	0,0999	0,8847	0,9800	1	0,8075	0,1204	0,7222	0,7040	0,6871
	Group	0,4408	0,0999	0,8847	0,9800	1	0,8075	0,1204	0,7222	0,7040	0,6871
	Tech GR	0,9500	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	Meta	0,8904	0,1407	1	1	1	1	0,5035	1	1	1
	Group	0,8936	0,1407	1	1	1	1	0,5035	1	1	1
	Tech GR	0,9964	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	Meta	1	0,0543	0,8165	0,7389	0,8167	0,7761	0,1086	0,8343	0,8227	0,7955
	Group	1	0,0543	0,8165	0,7389	0,8959	0,7761	0,1086	0,8343	0,8227	0,7955
	Tech GR	1	1	1	1	0,9116	1	1	1	1	1
16	Meta	0,6077	0,1304	0,7875	0,8552	0,9266	0,4904	0,0805	0,4189	0,3588	0,3375
	Group	1	1	1	1	0,9266	1	1	1	1	1
	Tech GR	0,6077	0,1304	0,7875	0,8552	1	0,4904	0,0805	0,4189	0,3588	0,3375
17	Meta	0,3809	0,0467	0,3578	0,3633	0,4220	0,5750	0,0745	0,4448	0,4327	0,3856
	Group	0,8417	0,8258	0,7427	0,8329	0,7917	0,9212	1	1	0,9646	0,9137
	Tech GR	0,4526	0,0565	0,4818	0,4362	0,5330	0,6242	0,0745	0,4448	0,4486	0,4221
18	Meta	1	0,0160	0,2406	0,2409	0,2900	0,4620	0,0872	0,2875	0,2735	0,2525
	Group	1	1	1	0,5303	1	0,6975	1	1	1	1
	Tech GR	1	0,0160	0,2406	0,4543	0,2900	0,6624	0,0872	0,2875	0,2735	0,2525
19	Meta	0,4608	0,0540	0,3205	0,2979	0,3114	0,3176	0,0500	0,3287	0,3085	0,2857
	Group	0,9989	0,8933	0,6534	0,7319	0,6771	0,7699	0,9443	0,6727	0,6102	0,5970
	Tech GR	0,4613	0,0605	0,4906	0,4070	0,4599	0,4125	0,0530	0,4886	0,5056	0,4786
20	Meta	0,2550	0,0363	0,2958	0,2871	0,2382	0,2121	0,0434	0,1722	0,1513	0,1377
	Group	0,7811	0,6516	0,6215	0,6558	0,5098	0,5248	0,4812	0,8206	0,7385	0,7081
	Tech GR	0,3265	0,0557	0,4760	0,4378	0,4673	0,4041	0,0902	0,2098	0,2049	0,1945
21	Meta	0,2286	0,0266	0,2043	0,1946	0,2070	0,1685	0,0235	0,1460	0,1359	0,1272
	Group	0,5583	0,9924	0,8518	0,4554	0,8646	1	0,3268	0,6843	0,5491	0,6396
	Tech GR	0,4095	0,0268	0,2398	0,4272	0,2294	0,1685	0,0720	0,2133	0,2474	0,1989
22	Meta	0,2951	0,0268	0,2371	0,1929	0,1966	0,2170	0,0475	0,2175	0,2004	0,1807
	Group	0,7157	0,5473	1	0,5181	0,8219	0,8936	0,5372	0,8475	0,8184	0,7308
	Tech GR	0,4124	0,0489	0,2371	0,3723	0,2393	0,2455	0,0884	0,2566	0,2449	0,2473
23	Meta	0,2043	0,0304	0,2205	0,2017	0,1770	0,0955	0,0411	0,1496	0,1425	0,1131
	Group	0,8207	0,9162	0,9282	0,5090	0,8290	0,8223	0,4449	0,7344	0,7350	0,5892
	Tech GR	0,2490	0,0332	0,2376	0,3962	0,2135	0,1161	0,0924	0,2037	0,1938	0,1920
24	Meta	0,5849	0,0538	0,6796	0,6716	0,6214	0,5682	0,1019	0,6973	0,7048	0,6995
	Group	0,5849	0,0538	0,6796	0,6716	0,6214	0,5682	0,1095	0,6973	0,7048	0,6995
	Tech GR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	Meta	0,3122	0,0417	0,2715	0,2697	0,2671	0,2304	0,0937	0,2030	0,1999	0,1927
	Group	0,5795	0,8068	0,8070	0,8161	1	0,9663	0,9741	1	1	0,9421
	Tech GR	0,5388	0,0517	0,3365	0,3305	0,2671	0,2385	0,0962	0,2030	0,1999	0,2045
26	Meta	0,2173	0,0342	0,1823	0,1843	0,1970	0,1607	0,0475	0,2290	0,2193	0,2003
	Group	0,5680	0,6971	0,6574	0,5575	0,8715	0,6890	0,5435	0,8292	0,8320	0,5634
	Tech GR	0,3825	0,0490	0,2773	0,3305	0,2261	0,2332	0,0873	0,2761	0,2636	0,3555
27	Meta	0,4532	0,0549	0,4974	0,5152	0,5150	0,4732	1	0,5323	0,5157	0,4970

	Group	1	1	1	1	0.6087	1	1	0.5323	0.5157	0.4970
	Tech GR	0.4532	0.0549	0.4974	0.5152	0.8461	0.4732	1	1	1	1
28	Meta	0.6557	0.0764	0.5090	0.4938	0.9777	0.8620	0.0789	0.4263	0.3814	0.3814
	Group	1	1	1	1	1	1	0.9889	0.9809	0.7929	0.8599
	Tech GR	0.6557	0.0764	0.5090	0.4938	0.9777	0.8620	0.0798	0.4346	0.4810	0.4435
29	Meta	0.3376	0.0464	0.2851	0.1986	0.3803	0.3255	0.0436	0.2280	0.2199	0.1961
	Group	0.8017	1	1	0.7810	1	1	0.8643	0.9369	0.9958	0.9536
	Tech GR	0.4211	0.0464	0.2851	0.2542	0.3803	0.3255	0.0504	0.2434	0.2208	0.2057
30	Meta	0.2580	0.0398	0.2413	0.2180	0.4370	0.3702	0.0554	0.2898	0.2178	0.1943
	Group	0.7614	0.9760	1	0.8443	0.4467	1	0.6890	0.6918	0.6071	0.5757
	Tech GR	0.3388	0.0408	0.2413	0.2582	0.9783	0.3702	0.0805	0.4189	0.3588	0.3375
31	Meta	0.2317	0.0275	0.4328	0.3958	0.3167	0.0111	0.0382	0.3515	0.3365	0.4319
	Group	0.7870	1	0.9276	1	0.8999	0.7036	0.9111	0.6600	1	0.8707
	Tech GR	0.2944	0.0275	0.4666	0.3958	0.3519	0.0157	0.0420	0.5326	0.3365	0.4961
32	Meta	0.5322	0.0716	0.4026	0.1970	0.1449	0.1803	0.0690	0.2357	1	1
	Group	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tech GR	0.5322	0.0716	0.4026	0.1970	0.1449	0.1803	0.0690	0.2357	1	1
33	Meta	1	0.1307	1	11	0.9943	1	0.1996	1	1	1
	Group	1	0.1307	1	1	0.9943	1	0.1996	1	1	1
	Tech GR	1	1	1		1	1	1	1	1	1
34	Meta	0.3636	0.0982	0.5791	0.5265	0.5464	0.3634	0.0701	0.3617	0.3365	0.3422
	Group	1	1	1	1	1	1	1	0.8551	0.6488	0.7189
	Tech GR	0.3636	0.0982	0.5791	0.5265	0.5464	0.3634	0.0701	0.4230	0.5187	0.4760
35	Meta	1	0.2899	0.3620	0.2929	0.2404	0.2284	0.1050	0.3292	0.2692	0.2779
	Group	1	1	1	0.8862	1	0.9768	1	1	1	1
	Tech GR	1	0.2899	0.3620	0.3305	0.2404	0.2338	0.1050	0.3292	0.2692	0.2779
36	Meta	1	0.1268	0.8992	0.7854	0.8068	0.6298	0.1849	0.5829	0.5463	0.5275
	Group	1	0.1268	0.8992	0.7854	1	0.6298	0.1849	1	1	1
	Tech GR	1	1	1	1	0.8068	1	1	0.5829	0.5464	0.5275
37	Meta	0.1760	0.0212	0.2272	0.2381	0.2744	0.2279	0.0374	0.2282	0.2264	0.2312
	Group	0.6462	0.6630	0.6588	0.6508	0.7733	0.6950	0.7892	0.5562	0.5664	0.5799
	Tech GR	0.2723	0.0320	0.3448	0.3658	0.3548	0.3279	0.0474	0.4103	0.3997	0.3987
38	Meta	0.2797	0.0395	0.2437	0.2069	0.2069	0.1727	0.0320	0.1281	0.1382	0.1265
	Group	0.8679	0.6689	1	0.6261	0.2069	0.8052	1	1	1	1
	Tech GR	0.3223	0.0591	0.2437	0.3305	1	0.2145	0.0320	0.1281	0.1382	0.1265

(4) 메타프론티어 DEA효율성 모형과 정수계획모형을 이용한 클러스터링 후의 국내항만들의 효율성 변화 측정

〈표 10〉에는 〈표 6〉과 〈표 9〉에 의거하여 계산한 클러스터링 전과 후의 국내항만들의 메타 효율성 측정결과와 변화율을 제시하였다.

표 10. 메타프론티어 DEA모형에 의한 원래의 효율성과 정수계획모형으로 클러스터링 한 후의 국내항만들의 평균 효율성 변화 측정결과

국내항만 번호 및 항만명	평균효율성	변화율
------------------	-------	-----

24. 부산항	전	메타	0.5383	
		그룹	0.6192	
		기술갭	0.8822	
	후	메타	0.5383	1
		그룹	0.5391	0.8706
		기술갭	1	1.1335
25. 인천항	전	메타	0.2082	
		그룹	0.2213	
		기술갭	0.9409	
	후	메타	0.2082	1
		그룹	0.8892	4.0184
		기술갭	0.2467	0.2622
26. 광양항	전	메타	0.1672	
		그룹	0.1922	
		기술갭	0.9032	
	후	메타	0.1672	1
		그룹	0.6809	3.5425
		기술갭	0.2481	0.2747

정수계획모형에 의한 클러스터링 후의 국내 항만의 효율성 변화는 <표 10>과 같다. 부산항은 그룹효율성은 하락하고, 기술 갭은 상승하였다. 인천항은 그룹효율성이 크게 상승하고 기술 갭이 하락하였다. 광양항은 그룹효율성이 크게 상승하였으며, 기술 갭은 하락하였다. 요컨대, 클러스터링 전에 상대적으로 효율성이 높았던 부산항은 효율성이 13.94%만큼 하락한 반면에 인천항과 광양항은 그룹효율성이 4배, 3.5배 만큼 각각 상승하였으며, 기술 갭은 감소하는 긍정적인 효과를 시현하였다.

<표 10>에는 표시하지 않았지만, 중국항만들의 경우를 살펴보면 홍콩[변화율(메타;1, 그룹;1, 기술 갭;1)], 상해[변화율(메타;1, 그룹;0.9971, 기술 갭;0.9793)], 광저우[변화율(메타;1, 그룹;0.8989, 기술 갭;1.1266)], Ningbo [변화율(메타;1, 그룹;0.9426, 기술 갭;1.0551)], 칭타오[변화율(메타;1, 그룹;0.9120, 기술 갭;1.0959)]로 나타나서 효율성이 증가하고 기술 갭은 상승한 것으로 나타났다.

요컨대 정수계획모형에 의한 클러스터링이

상대적으로 비효율적이었던 한국의 항만들에게는 유리하게 작용하고, 클러스터링 전에 효율적이었던 중국항만들에게는 불리하게 작용한 것으로 나타났다.

(5) 메타프론티어 DEA모형과 정수계획 모형을 이용한 컨테이너 항만들의 클러스터링 측정결과 비교분석을 통한 검증

메타프론티어 DEA모형과 정수계획 모형에 의한 측정결과를 국내항만들을 중심으로 다음과 같이 비교한다. 첫째, 정수계획모형에 의한 클러스터링 전과 후의 효율성 측정결과 비교, 셋째, 국내항만들의 클러스터링 후의 효율성 변화 비교, 넷째, 효율성 순위의 월콕슨부호순위검정을 통한 비교 등, 두 가지 모형을 서로 비교 및 검증해 보고자 한다.

1) 정수계획모형에 의한 클러스터링 전과 후의 메타프론티어 DEA 효율성 측정결과

비교 분석을 통한 검증

두 가지 모형, 즉, 4개 지역으로 구분한 메타프론티어 DEA모형에 의한 효율성 수치와 정수계획 모형을 통한 클러스터링 후의 효율성 측정결과를 간단하게 비교해 보면 다음과 같다. 즉, 메타프론티어 DEA모형에 대한 평균 효율성 수치의 변화율을 살펴보면 [부산항(메타; 1, 그룹효율성; 0.8706, 기술 갭; 1.135), 인천항(메타; 1, 그룹; 4.0184, 기술 갭; 0.2622), 광양항(메타; 1, 그룹; 3.5425, 기술 갭; 0.2747)로 정수계획모형을 통한 클러스터링이 메타프론티어 DEA모형의 그룹효율성을 부산항을 제외하고 인천항과 광양항의 그룹효율성을 대폭적으로 상승시켰다.

2) 클러스터링 측정결과 비교분석을 통한 검증

〈표 11〉에는 메타프론티어 DEA 모형과 정수계획 모형에 의한 클러스터링 측정결과를 각각 제시하였다. 실증분석결과를 살펴보면 다음과 같은 두 가지 특성을 발견할 수 있었다. 즉, 첫째, 지역별로 근접한 지역으로 분류한 메타프론티어 DEA모형이 투입-산출요소를 중심으로 클러스터링을 고려한 정수계획모형보다도 더 포괄적으로 포함하고 있음을 발견할 수 있었다. 둘째, 메타프론티어 DEA 모형은 부산, 인천, 광양항을 한꺼번에 클러스터링 하는 것으로 나타난 반면에 정수계획모형은 부산항은 다른 그룹으로 분류하고, 인천항과 광양항은

동일그룹으로 분류하고 있다.

요컨대, 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형에 의거하여 도출한 클러스터링 결과가 어느 정도의 유사성을 가지고 있음을 확인하였다. 셋째, 국내항만들과 클러스터링 되는 항만들을 살펴보면, 부산항(8번, 11번, 12번, 13번, 14번, 15번, 24번, 33번, 36번), 인천항과 광양항은(1번, 2번, 9번, 18번, 21번, 23번, 25번, 26번, 31번, 35번, 38번), 항만들과 클러스터링 되었다. 즉, 부산항은 두바이, 홍콩, 상해, 광저우, 닝보, 칭타오, 싱가포르, 카오슝항 등과 클러스터링 되는 것으로 나타났다. 인천항과 광양항은 사히드 라자이, 하이파, 크호르 파칸, 탄중 퍼락, 코베, 오사카, 마닐라, 킬롱, 방콕항 등과 클러스터링 되는 것으로 나타났다.

3) 국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화비교분석을 통한 검증

국내항만들의 클러스터링 후 메타프론티어 DEA 효율성 변화분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 부산항의 그룹효율성은 12.94% 만큼 하락, 기술 갭 효율성은 1.135%로 증가, 인천항의 그룹효율성은 401.84% 만큼 상승, 기술 갭 효율성은 0.2622% 만큼 하락, 광양항의 그룹효율성은 354.25%만큼 상승하였으며, 기술 갭 효율성은 0.2747% 만큼 하락하였다. 요컨대, 부산항의 그룹효율성은 하락하였으나, 인천항과 광양항의 그룹효율성은 큰 폭으로 상승하였다.

표 11. 메타프론티어 DEA모형과 정수계획 모형에 의한 클러스터링 측정결과

항만	구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
부산	메타프론티어 DEA모형	11,12,1 3,14,15, 19,20,2 1,22,,23 ,24,25,2 6,35,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36
	정수계획모형	8, 11, 12, 13, 1 4, 15, 24 ,33,36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 33, 36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 33, 36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 33, 36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 33, 36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 27, 33,36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 33, 36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 27, 33,36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 27, 33,36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 27, 33,36	8, 11 ,12, 13, 14, 15, 24, 27, 33,36
인천	메타프론티어 DEA모형	11,12,1 3,14,15, 19,20,2 1,22,,23 ,24,25,2 6,35,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	
	정수계획모형모형	1, 2, 9 18, 23, 2 5, 26, 35 ,38	1, 9, 21, 23, 25, 26, 31, 35, 38	6, 9, 18, 21, 23, 25, 26, 31, 35,	1, 9, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 35,	1, 18 21, 22, 23, 25, 26, 29, 35	1, 9, 16, 21, 22, 25, 26, 35, 38	1, 12 ,20,21, 22, 23, 25, 26, 35	1, 18 ,20,21, 22, 23, 25, 26, 35	18, 2 0, 21, 2 2, 23, 2 5, 26, 3 1, 35	9, 18 ,20,21, 22, 23, 25, 26, 35	9, 18 ,20,21, 22, 23, 25, 26, 35
광양	메타프론티어 DEA모형	11,12,1 3,14,15, 19,20,2 1,22,,23 ,24,25,2 6,35,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	11,12,1 3,14,15 ,19,20, 21,22,, 23,24,2 5,26,35 ,36	
	정수계획모형모형	1, 2, 9 18, 23, 2 5, 26, 35 ,38	1, 9, 21, 23, 25, 26, 31, 35, 38	6, 9, 18, 21, 23, 25, 26, 31, 35,	1, 9, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 35,	1, 18 21, 22, 23, 25, 26, 29, 35	1, 9, 16, 21, 22, 25, 26, 35, 38	1, 12 ,20,21, 22, 23, 25, 26, 35	1, 18 ,20,21, 22, 23, 25, 26, 35	18, 2 0, 21, 2 2, 23, 2 5, 26, 3 1, 35	9, 18 ,20,21, 22, 23, 25, 26, 35	9, 18 ,20,21, 22, 23, 25, 26, 35

4) 효율성 순위 비교분석을 통한 검증

4개 지역으로 클러스터링을 한 메타프론티어 DEA모형에 의한 효율성 분석에 의한 순위와 정수계획모형에 의거한 클러스터링 후의 효율

성 순위를 정하였다. 그러한 순위를 근거로 일측순부호순위검정을 실시하였다. 다년도 측정결과 중에서 P값, 유의수준, 귀무가설의 기각여부는 <표 12>에 제시하였다. <표 12>에서는 첫째, 2006년, 2007년, 2010년의 그룹효율성의 경우를 제외하고 P값(유의확률)이 유의수

준 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, 메타프론티어 DEA모형에 의한 효율성 순위와 정수계획모형에 의한 클러스터링 후의 효율성 순위에는 차이가 있다고 할 수 없다. 둘째, 2005, 2008년, 2011년도에 그룹효율성의 유의확율이 다른 년도에 비해서 상대적으로 높게 나타나서, 본 연구에서 사용된 두 가지 측정결과가 그룹효율성 측면에서 매우 유사함을 보여주었다. 셋째, 2006년, 2010년의 그룹효율성 P값(유의확율)이 상대적으로 낮게 나타났다. 넷째, 평균적으로 보았을 때, P값(유의확율)이 그룹효율성은 0.5788, 기술 갭 효율성은 0.8093의 수준에서 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위

가 서로 일치함을 보여 주었다. 참고로 10년 동안에 일치하는 항만의 숫자(표본 380개)로 보면, 그룹효율성은 양(154개, 40.53%), 음(152개, 40%), 동물(74개, 19.47%), 기술 갭 비율은 양(143개, 37.63%), 음(172개, 45.26%), 동물(65개, 17.11%)로 나타났다. 여기서 양은 정수계획모형에 의한 클러스터링 후의 효율성 순위가 4개 지역별로 클러스터링 시킨 메타프론티어 DEA모형에 의한 효율성 순위보다 높은 경우를 의미한다.

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

**표 12. 2005년-2014년까지의 월콕스부호순위 검정결과
(지역별 4개 군으로 구분한 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형)**

측정년도	효율성	P값	유의수준	귀무가설의 채택 여부
2005	그룹	0.891	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.701	0.05	귀무가설 채택
2006	그룹	0.1	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.702	0.05	귀무가설 채택
2007	그룹	0.238	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.953	0.05	귀무가설 채택
2008	그룹	0.914	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.918	0.05	귀무가설 채택
2009	그룹	0.509	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.805	0.05	귀무가설 채택
2010	그룹	0.202	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.993	0.05	귀무가설 채택
2011	그룹	0.911	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.812	0.05	귀무가설 채택
2012	그룹	0.562	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.970	0.05	귀무가설 채택
2013	그룹	0.668	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.643	0.05	귀무가설 채택
2014	그룹	0.793	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.596	0.05	귀무가설 채택
평균	그룹	0.5788	0.05	귀무가설 채택
	기술 갭	0.8093	0.05	귀무가설 채택

IV. 결 론

본 논문에서는 첫째, 기존연구에서는 다루지 못한 새로운 방법인 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형에 대해서 이론적으로 설명하였으며, 둘째, 아시아 38개 항만들의 10년간 자료를 4개의 투입요소(선석길이, 수심, 총면적, 크레인수), 1개의 산출요소(컨테이너화물처리량)를 이용하여 효율성을 측정하였다. 셋째, 메타프론티어 DEA모형의 측정방법 및 실제적용, 정수계획 모형 측정방법 및 실제적용 넷째, 지역별로 4개의 지역으로 나누어서 메타프론티어 DEA모형에 의해서 2004년부터 2015년까지의 효율성 분석, 다섯째, 정수계획모형으로 9자간(1&8형) 클러스터링을 한 후에 메타프론티어 DEA모형으로 효율성을 측정한 후에, 클러스터링 전과 후의 ① 효율성 측정결과비교 및 검증 ② 클러스터링 측정결과비교 및 검증, ③ 국내항만들의 클러스터링 후 효율성 변화비교 및 검증, ④ 효율성 순위비교 측면에서 실증분석결과를 비교분석 및 검증을 하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, 2005년부터 2014년까지 전체자료를 이용한 측정의 주요한 결과를 살펴보면, ① 중국항만들의 메타효율성이 상대적으로 매우 높게 나타났다. 중국항만들 중에서 메타효율성과 그룹효율성 순위는 상해, 홍콩, Ningbo, 칭타오, 광저우 항 순이었다. 기술 갭 효율성 순위는 Ningbo, 상해, 홍콩, 칭타오, 광저우 순이었다. ② 한국항만의 효율성 순위는 메타효율성과 그룹효율성 순위는 부산항, 인천항, 광양항의 순이었다. 기술 갭 효율성은 광양, 인천, 부산항의 순이었다.

둘째, 정수계획모형에 의한 국내항만들의 클러스터링을 살펴보면 ① 부산항은 두바이, 홍콩,

상해, 광저우, Ningbo, 칭타오, 싱가포르, 카오슝항과 클러스터링하고, ② 인천항과 광양항은 사히드 라자이, 하이파, 크호르 파칸, 탄중 피락, 오오사카, 킵롱, 방콕 항과 클러스터링 하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

셋째, 정수계획모형에 의한 클러스터링 후의 국내항만들의 메타프론티어 DEA모형의 효율성 변화분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 부산항(메타; 1, 그룹효율성; 0.8706, 기술 갭; 1.135), 인천항(메타; 1, 그룹; 4.0184, 기술 갭; 0.2622), 광양항(메타; 1, 그룹; 3.5425, 기술 갭; 0.2747)로 정수계획모형을 통한 클러스터링이 메타프론티어 DEA모형의 그룹효율성을 부산항을 제외하고 인천항과 광양항의 그룹효율성을 대폭적으로 상승시켰다.

넷째, 효율성 순위를 검증한 윌콕슨부호순위검정에서는 두 가지 모형(메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형에 의한 클러스터링 전과 후의 그룹효율성(57.88%), 기술 갭 효율성(0.8093))사이의 순위에 차이가 없는 것으로 나타났다.

본 논문이 갖는 정책적인 함의를 제시해 본다면, 본 논문의 주제가 되는 메타효율성, 그룹효율성, 기술 갭 비율을 1에 가깝게 만드는 항만정책과 운영을 해야만 한다. 그것은 결국 부산, 인천, 광양항의 항만운영 효율성을 증대시키는 정책을 시행하는 것이 된다. 따라서 부산, 인천, 광양항에 대한 효율성을 증대시키기 위한 정책을 제시하면 다음과 같다.[박노경(2016a: 55)]. 첫째, 본 논문의 실증분석결과, 클러스터링항만들로서 나타난 항만들에 대한 항만개발, 운영에 대한 내용을 세밀하게 검토하고 해당항만들의 장점 부분은 도입하여 실시하는 것이 필요하다. 즉, 정수계획모형에 의한 클러스터링을 개략적으로 살펴보았을 때, 부산

항은 홍콩항, 상해항, 광저우항, 닝보항, 칭타오항, 싱가포르항, 카오슝항, 인천항과 광양항은 오오사카, 킵항, 방콕항과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났으므로, 그러한 항만들과 각각 클러스터링을 하는 정책을 도입하여 시행해야만 한다. 특히 여기서 부산항의 경우에는 미주노선에 초점을 맞추어서 클러스터링되는 항만들과의 협력을 통해서 환적화물유치에 노력해야만 한다. 또한 구주노선에 우위에 있는 상해항과 그러한 노선에 대한 화물에 대해서 서로 상생하는 정책을 시행해야만 한다.

둘째, 부산항의 효율성을 높이기 위해서는 산출물인 환적화물 유치에 사활을 걸어야만 한다. 그 이유는 다음과 같다.[최건우 외 3인(2016:186)]. 첫째, 선사는 선박운항비용 관리 측면에서 향후에도 부산항을 동북아시아의 주요 환적항만으로 활용할 가능성이 높기 때문이다. 특히 북중국 항만의 미주항 수출입 물동량은 부산항을 환적항만으로 이용하는 것이 상하이항이나 닝보-저우산항을 이용하는 것보다 거리 및 시간 절감효과가 높기 때문이다. 또한 부산항 수출입 컨테이너물동량 역시 약 1,000만 TEU로 상당한 수준이기 때문에 선사 입장에서 부산항을 기항하지 않고 영업활동을 하는 것은 결코 쉽지 않을 것으로 판단되기 때문이다. 둘째, 부산항과 가장 교역량이 많은 천진, 칭타오, 상하이, 대련, 닝보, 선전 항들과 클러스터링을 통해서 환적화물 유치를 위해서 노력해야만 한다. 특히 환적화물 유치 및 부산항 배후단지 개발을 위한 정책들이 입안되고 시행되어야만 한다.[박병인(2015), 박영태(2016: 10-22)]. 또한 부산항의 대표적인 분산·피더형 환적화물인 일본 환적화물의 안정적 확보를 위한 유치 전략을 수립해야만 한다. [이수철(2017: 15)]. 대형수리조선단지를 조성하여 항만의 산업거점 기능을 강화하고 환적화물 유치

를 위한 인센티브 제도를 확대해야만 한다.[조승환(2017: 12)].

셋째, 인천항의 효율성을 높이기 위해서는 다음과 같은 정책을 도입하고 시행해야만 한다.[이선민·박정민(2016: 2449)]. 즉, 인천항은 수도권과 가장 가까운 항만이기 때문에 수도권 물류와 지역밀착형 사업을 확대함으로써 다른 항만과의 기능중복 없이 발전 할 수 있도록 해야만 한다. 지역밀착형 사업으로는 크루즈선박 유치가 있다. 전 세계적으로 크루즈 관광이 증가하고 있어 수도권 도심과 가까운 인천항에 크루즈 부두가 조성되어 관광객을 유치하게 된다면 고부가가치를 창출 할 수 있게 될 것이다. 최근 증설된 인천 신항은 수심이 깊어 1만 2000 TEU급 대형 선박을 유치 할 수 있는 여건이 갖추었기 때문에 미주와 유럽항로를 직접 연계하는 벌크 화물 유치에 집중하여 새로운 수요를 창출해 시행하여 자체적인 경쟁력을 확보하여 효율성을 높여야만 한다. 특히, 인천항과 교역량이 많은 칭타오, 상하이, 위해, 세코구, 대련 항들과 클러스터링을 통해서 교역량을 더욱 확대시켜야만 한다. 또한 인천항만공사가 컨테이너 처리시설을 건설하고 동시에 북중국항만에도 터미널투자 및 운영업체로 참여하여 우리나라와 중국을 아우르는 Co-Petition 전략을 능동적으로 적극적으로 구사할 필요가 있다.[사공일(2009: 90)].

넷째, 광양항은 ① 박병인(2015: 99)이 실증분석을 통해서 제시한 바와 같이 칭타오, 다롄항과의 윈윈전략을 시행하고, 부산항 및 부산 신항과는 공생관계 설정, 항만 거버너스 통합, 항만 간 업무 및 효율안정화 협력, 원양 및 피더선 동시기항 및 빈도의 확대, 공동 포트세일즈 정책 등을 입안하고 시행해야만 한다. ② 항만배후단지 내 물류기업 유치 및 배후산업단지 추가 및 확충 지원 등을 통해 신규 컨테이

너 물동량을 창출하여 컨테이너 부두 활성화에 주력해야 한다.(http://www.ygpa.or.kr). 즉, 산업지원 항은 수요자 지향형으로 운영하여 화물 처리에 차질이 없도록 운영하고, 제3투기장은 산업단지 및 항만재개발로 항만권역의 경제발전 거점으로 육성해야한다. 광양 3-2단계 부두는 자동차부두로 활용하고 준공 전 자동차 화물처리를 위해 1단계 #3, #4번 부두의 활용도 제고를 해야 한다. 항만배후단지에 실질적 화물 창출 기업을 유치하고, 항만과 연계하여 화물이 처리될 수 있도록 유도해야한다. 항만 환경개선을 위해서는 화물 종류별 선박의 대형화에 대응한 항행 안정성 및 운영 여건 개선을 위해 중장기적으로 지속적인 항로 확대 및 증편을 해야 한다. 광양 항 제철부두 및 컨테이너부두의 체선 및 비상시에 대비하여 대형 선박의 정박을 위한 정박지를 확충해야한다. 광양 항 항만배후단지 배수로 정비를 통해 물류와 친수를 조화하여 도시기능 연계해야 한다. 또한 자동차 환적, 에너지 허브항만으로 육성하여 항만의 산업거점 기능을 강화해야만 한다.[조승환(2017:12)].

한편 본 연구와 관련되어 제기될 수 있는 문제를 고려해 보면 다음과 같다.

첫째, 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형을 항만클러스터링에 이용해야하는 당위성은 III장의 <표 1>에 제시한 장점과 단점, 이론적 모형들에서 제시한 이유 때문이며, 항만정책 당국자와 항만기업들은 그러한 기법을 도입함으로써 국내 항만그룹, 지역항만그룹, 세계 항만그룹 내에서 해당항만의 효율성의 순위를 파악하고, 어떤 항만과 클러스터링을 하는 것이 최적의 클러스터링이 되는지를 파악하여 효율성을 증진시킬 수 있는 정책방안의 도입에 도움이 될 수 있기 때문이다.

둘째, 기본적으로 DEA는 LP를 이용하는데

군이 정수계획모형과 비교하는 이유는 이미 외국의 선행연구에서 두 모형을 접목시킨 연구 Wang and Jiang(2012)의 연구가 있었기 때문이다. 따라서 박노경·Nishimura (1998: 756), 박노경(2015a: 9)의 정수계획모형을 학술적인 측면에서 실증적으로 다년도 자료에 적용해 보고 비교, 검증하고자 하는 목적이 가장 크기 때문이다. 이와 같은 추세는 항만클러스터링에 대한 국외기존연구들인 Sharma and Yu(2009)[자기조직화지도, 층화, Tier모형으로 클러스터링 측정], Ulucan and Atici(2010)[컨텍스트 의존형, 특정특유모형으로 클러스터링 측정], Po, Guh and Yang(2009)[distance-defined 클러스터링 측정], Fang and Wang(2012)[부트스트랩 DEA모형에 교차효율성을 반영하여 클러스터링 측정]에서 많이 이용되고 있기 때문이다. 정수계획모형의 분석데이터 중에서 <식 1>의 이용가능한 자원은 개별 항만들의 투입변수들의 크기와 클러스터링될 수 있는 가능성을 감안하여 임의로 결정하였다.

셋째, 새로운 모형을 적용하여 특정 클러스터링의 효율성이 높게 평가된다는 것은 새로운 모형에 의한 클러스터링이 학술적으로 의미가 있으며, 항만경영 관리자나 정책입안자들이 항만정책을 수립할 때, 그러한 모형을 도입하여 시행해 볼 필요가 있다는 것을 의미한다. 그러나 새로운 모형이 더욱 정확한 평가라는 것이거나 기존 모형이 잘못된 것이라는 의미는 결코 아니다. 왜냐하면 다수의 DEA와 LP모형마다 각기 다른 장점과 단점을 가지고 있기 때문이다.

본 논문은 다음과 같은 한계점들을 가지고 있다.[박노경(2016a: 55-56)]. 첫째, 실증분석 결과에 대한 해석이 충분히 다루어 지지 못했으며, 본 연구의 실증분석 결과와 선행연구들

과 유사한 결과를 보임으로써 본 연구의 차별성에 대한 설명이 부족했으며, 둘째, 항만 간 클러스터링을 한 후 구체적으로 개별항만 들이 어떠한 노력과 정책을 펼쳐나가야 하는지(논문의 실증분석결과에 따른 정책적 함의도출)에 대해서는 세부적으로 파악하여 제시하지 못했으며, 항만정책입안자 입장에서는 간결한 연구 방법론 적용이 가독성을 제고시킬 수 있음을 간과하고 있다. 셋째, 실무적인 측면(민간영역,

선사의 항만선택요인 등등)에서의 정책적인 제안이 부족하였다. 넷째, 실증분석에 따른 결과 간의 비교를 좀 더 심도 있게 제시하지 못했다. 다섯째, 과도한 표들에는 분석한 결과만을 제시하고 있는데, 실제 항만운영에 어떤 의미가 있는지에 대한 철저한 기술이 부족하였다. 더욱 정밀한 부분에 대한 연구는 차후 연구의 과제로 삼고자 한다.

참고문헌

- 김상목·김문휘(2010), 메타 프론티어를 이용한 기술효율성과 생산성 비교: 한·중 제조업을 대상으로, 한국경제지리학회지, 제3권 제1호, 126-146.
- 김상목·조상규(2009), 한·일 지역 간 초 광역경제권 형성에 따른 제조업의 생산성 변화, 국토연구, 제63권, 225-252.
- 김근섭(2015), 부산항 환적경쟁력 강화를 위한 네트워크 강화방안, 동아시아물류동향, 제85권, 부산발전연구원, 98-103.
- 박노경·Y. Nishimura(1998), An Empirical Study on the Hypothetical Merger between Japanese and Korean Banks -Chiefly on the Application of Integer and DEA Method-, 한국국제경제학회 동계학술발표대회 발표논문집, 한국국제경제학회, 743-767.
- 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, 439-456.
- 박노경(2014), 게임교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 측정방법 소고, 한국항만경제학회지, 제30권 제4호, 279-294.
- 박노경(2015a), 교차효율성 모형과 정수계획법을 이용한 한국주요항만의 클러스터링 및 효율성 변화 측정소고, 무역통상학회지, 제15권 제2호, 1-25.
- 박노경(2015b), 메타프론티어와 교차효율성 모형을 통한 클러스터링의 실증적 검증, 2015 한국무역학회 동계학술대회 발표논문집, 2015년12월18일, 67-77.
- 박노경(2016a), 부트스트랩 DEA모형과 게임교차효율성 모형을 이용한 항만클러스터링 측정에 대한 실증적 비교연구, 한국항만경제학회지, 제31권 제2호, 29-58.
- 박노경(2016b), 메타프론티어와 교차효율성 모형을 통한 클러스터링의 실증적 검증소고, 무역학회지, 제41권 제3호, 27-42.
- 박병인(2015), 광양항과 동북아 주요컨테이너항만간 경험 추세분석, 한국항만경제학회지, 제31권 제2호, 85-101.
- 박영태(2016), 글로벌물류시대 항만배후단지 활성화를 위한 실무적 방안, 2016 경제학공동학술대회 한국항만경제학회 분과 학술발표논문집, 2-22.
- 사공일(2009), 동북아항만 환경변화에 따른 수도권 컨테이너항만의 대응방안, 한국무역협회, 1-104.
- 서충원·신연수(2015), 메타프론티어를 이용한 외국관광객을 위한 관광호텔의 권역별 효율성 평가, 무역학회지, 제40권 제4호, 195-215.
- 양동현·장연재(2015), 메타프론티어 맘퀴스트 생산성 지수를 이용한 상급종합병원과 대형 종합병원의 생산성 변화 비교, 산업경제연구, 제26권 제6호, 2705-2730.
- 이선민·박정민(2016), 서해안권 항만의 협력적 경쟁전략과 경쟁구조분석, 산업경제연구, 제29권 제6호, 2435-2453.
- 이수철(2017), 환적유형으로 본 부산항의 안정적 환적화물 유치방안, 아름다운 동행, 제42권, 부산항만공사, 10-15.
- 조승환(2017), 2017년 해양항만정책 방향, 우리나라 해

- 운항만정책 재검토, 2017년 3월 31일 (사)한국국제상학회 정책 Workshop 논문집, 1-41.
- 최건우 · 김은수 · 강임호 · 하태영(2016), 부산항 컨테이너 환적요인에 관한 실증분석, 해양정책연구, 제31권 제2호, 167-189.
- 황준석 · 홍아름 · 이대호(2010), 케이블TV 산업의 소유규제 변화와 기업결합 형태별 생산효율성차이의 실증 연구, 한국방송학회, 제24권 제2호, 276-313.
- Amin, G.R. and M. Toloo(2007), Finding the Most Efficient DMUs in DEA: An Improved Integrated Model, *Computers & Industrial Engineering* , 52, 71-77.
- Battese, G.E., and D.S.P. Rao(2002), Technology Gap, Efficiency, and A Stochastic Meta-frontier Function ,” *International Journal of Business and Economics*, 1(2), 87-93.
- Battese, G. E., Rao, D. S. P., & O'Donnell, C. J.(2004), “A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies,” *Journal of Productivity Analysis*, 21(1), 91–103.
- Chen, C. M. and J. Zhu(2011), Efficient Resource Allocation via Efficiency Bootstraps: Allocation to R&D Project, *Operations Research*, 59(3), 729-741.
- Cook, W. D., and J. Zhu(2007), Classifying Inputs and Outputs in Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 180, 692-699.
- Fang, Y., and J. Wang(2012), Selection of the Number of Clusters via the Bootstrap Method, *Computational Statistics & Data Analysis* , 56(3), 468-477.
- Foroughi, A.A.(2011), A New Mixed Integer Linear Model for Selecting the Best Decision Making Units in Data Envelopment Analysis, *Computers & Industrial Engineering* , 60, 550-554.
- Gomory, R.E.(1963), An Algorithm for Integer Solutions to Linear Programs, in R.L. Graves and P.Wolf (Ed.), *Recent Advances in Mathematical Programming* , McGraw-Hill, New York.
- Hayami, Y.(1969), Sources of Agricultural Productivity Gap among Selected Countries, *American Journal of Agricultural Economics*, 51, 564-575.
- Hayami, Y. and V. W. Ruttan(1970), Agricultural Productivity Differences Among Countries, *American Economic Review*, 60, 895-911.
- Hayami, Y. and V. W. Ruttan(1971), *Agricultural Development: An International Perspective*, Baltimore: John Hopkins University Press.
- Land, A.H. and A.G. Doig(1969), An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems, *Econometrica*, 28, 497-520.
- Makani, R., Olfa, B., and Ezzedine, D.(2015), Large Scale Analysis of Islamic Equity Funds Using A Meta-frontier Approach with Data Envelopment Analysis, *Research in International Business and Finance*, 30, 324-337.
- Park, Ro Kyung(2008), A Verification of Korean Containerport Efficiency Using the Bootstrap Approach, *Journal of Korea Trade*,12(2), 1-30.
- 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.
- 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.
- 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, Y.M., and P. Jiang(2012), Alternative Mixed Integer Linear Programming Models for Identifying the Most Efficient Decision Making Unit in Data Envelopment Analysis, *Computers & Industrial Engineering* , 62, 546-553.
- Wang, Q., Z. Zhao, P. Zhou., and D. Zhou.(2013), Energy Efficiency and Production Technology Heterogeneity in China: A Meta-frontier DEA Approach, *Economic Modelling*, 35, 283-289.
- Yao, X., H. Zhou, A. Zhang and A. Li(2015), Regional

Energy Efficiency, Carbon Emission Performance and Technology Gaps in China: A Meta-frontier Non-radial Directional Distance Function Analysis, *Energy Policy*, 84, 142-154.

Yu, Y., Y. Choi, and N. Zhang(2014), Strategic Corporate Sustainability Performance of Chinese State-owned Listed Firms: A Meta-frontier Generalized Directional Distance Function Approach, *The Social Science Journal*, 52(3), 300-310.

메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형을 이용한 항만클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증연구

박노경

국문요약

본 논문에서는 메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형으로, 아시아 38개 컨테이너항만들의 10년간(2005-2014) 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 비교, 분석, 검증하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, 2005년부터 2014년까지 전체자료를 이용한 메타프론티어 DEA효율성 측정의 주요한 결과를 살펴보면, 중국항만들의 메타효율성과 그룹효율성이 높게 나타났으며, 순위는 상해, 홍콩, 닝보, 칭타오, 광저우 순서였으며, 국내항만은 부산, 인천, 광양항의 순서였다. 둘째, 정수계획모형에 의한 국내항만들의 클러스터링을 살펴보면 ①부산항은 두바이, 홍콩, 상해, 광저우, 닝보, 칭타오, 싱가포르, 카오슝 항과 클러스터링하고, ②인천항과 광양항은 사히드 라자이, 하이파, 크호르 파칸, 탄중 피락, 오오사카, 키퉁, 방콕 항과 클러스터링 하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 셋째, 정수계획모형을 통한 클러스터링이 메타프론티어 DEA모형의 그룹효율성을 부산항을 제외하고 인천항은 401.84%, 광양항은 354.25%만큼 대폭적으로 상승시켰다. 넷째, 효율성 순위를 검정한 윌콕슨부호순위검정에서는 두 가지 모형[메타프론티어 DEA모형과 정수계획모형에 의한 클러스터링 전과 후의 그룹효율성(57.88%), 기술 갭 효율성(80.93%)]사이에 순위에 차이가 없는 것으로 나타났다.

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

주제어: 아시아 컨테이너항만, 클러스터링, 메타프론티어 DEA 모형, 정수계획 모형, 항만 클러스터링, 아시아 항만, 비교분석 및 검증, 자료포괄분석,