

## 게임교차효율성모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 및 클러스터링 측정방법 소고<sup>†</sup>

박노경\*

### A Brief Efficiency and Clustering Measurement Way of Containerport by Using the Game Cross-efficiency Model

Rokyung Park

**Abstract** : The purpose of this paper is to show the brief efficiency and clustering measurement way by using the game cross-efficiency model which is newly introduced in this paper for 13 container ports during 3 years(2009, 2010, and 2013) with 3 input variables(depth, total area, and number of crane) and 1 output variable(container TEU). The main empirical results are as follows. First, the average rankings of game cross-efficiency model are Ningbo, Hongkong, Shanghai, Dubai, Singapore, Qingdao, Kaosiung, Busan, Tokyo, Incheon, Nagoya, Manila, Gwangyang ports in order. Second, according to ANOVA analysis, three models show the similar results in terms of the efficiency rankings. Third, in the clustering analysis using dendrogram, group A(Shanghai and Busan), group B(Ningbo and Nagoya), and group C(Incheon and Manila) show the common clustering ports during 3 or 2 years. The policy implication of this paper is that Korean port policy planner should introduce the game cross-efficiency method when measuring the individual port efficiency. Also port authority should consider the merits of the clustering ports for improving the port management and operations.

**Key Words** : Container Ports Efficiency, Game Cross-efficiency Model, Cross-efficiency Model, DEA, ANOVA, Clustering

---

▷ 논문접수 : 2014. 10. 07.      ▷ 심사완료 : 2014. 12. 01.      ▷ 게재확정 : 2014. 12. 08.

† 이 논문은 2014학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

\* 조선대학교 경상대학 무역학과 교수, e-mail: nkpark@chosun.ac.kr, Phone: (062) 230-6821

## I. 서론

국내에는 세계 5위의 컨테이너 화물처리량을 자랑하는 부산항이 있지만, 상대적으로 그 화물 처리 증가속도나 규모 면에서 보았을 때는 중국의 항만들에 비해서는 뒤 떨어지는 것이 현실적인 실정이다. 실제로 2014년8월말 컨테이너화물 처리실적을 보면 중국의 닝보-저우산항에게 밀려서 6위가 되었으며, 그마저도 위태로운 상황이다. 세계의 공장 역할을 하고 있는 중국의 경제적인 발전과 항만의 발전이 지속되는 한 그러한 현상은 더욱 심화될 것으로 판단된다. 따라서 현재 동북아 항만들 간에 협력과 경쟁은 필수요소가 되어 가고 있지만, 현실적으로 보았을 때, 경쟁만이 존재하고 협력을 통한 상생발전을 하기는 매우 어려운 상황에 처해 있다.

그 동안 국내외에서는 일반항만, 컨테이너항만 들 간의 효율성을 측정하기 위해서 다양한 시도가 있어왔다. 특히 자료포괄분석(Data Envelopment Analysis, 이하 DEA라 칭함)을 이용한 효율성과 경쟁력 측정에 대한 연구가 다수 있어 왔다. 그러나 개별 항만들을 경기자로 보는 게임교차효율성 모형을 이용하여 컨테이너항만 들 간의 효율성을 측정하는 연구는 거의 없었다. 따라서 그런 측면에서 본 연구는 국내, 국외의 기존연구를 부분적으로 확장할 수 있는 연구가 될 수 있다고 확신한다. 요컨대, 위에서 살펴본 바와 같이 항만들 간의 선사유치 및 화물유치 경쟁은 갈수록 치열해 질 것으로 예측해 보았을 때, 또한 경쟁 속에서 협력을 해야만 하는 부분은 협력해야만 하는 항만들의 현실적인 상황을 고려해 보았을 때, 본 연구에서 사용하고 있는 게임교차효율성 분석방법을 이용한 항만들의 효율성 측정에 의한 경쟁력 분석과 협력을 하기 위한 항만들을 선택할 수 있는 클러스터링 분석 방법을 이용한 연구는 반드시 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 첫째, 게임교차효율성에 대한 기존연구 검토, 게임교차효율성 모형, 게임교차효율성 모형과 기존의 교차효율성모형, CCR[Charnes, Cooper, and Rhodes(1978), 이하 CCR모형이라 칭함]모형에 비해서 어떤 장점이 있는지를 살펴본다. 둘째, 아시아 13개국의 컨테이너항만들(두바이, 홍콩, 상하이, 닝보, 칭타오, 도쿄, 나고야, 부산, 인천, 광양, 마닐라, 싱가포르, 카오슝)을 대상으로 2009년, 2010년, 2013년자료[투입요소(수심, 총면적, 크레인 수), 산출요소(컨테이너화물 처리량)]를 이용하여 효율성을 측정한다. 셋째, ANOVA분석을 통해서 CCR, 교차효율성모형, 게임교차효율성모형사이의 항만 간 효율성 순위에 차이가 있는지를 검증한다. 넷째, 게임교차효율성 모형의 상관메트릭스를 이용하여 평균연결방법으로 덴드로그램에 의해서 항만간의 클러스터링을 측정한다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서 II장에서는 게임교차효율성모형을 다룬 국외연구들에 대하여 학자별로 간략하게 검토하고 그러한 연구들의 한계점과 함께 본 연구의 핵심을 제시 하며, III장에서는 게임교차효율성모형을 이용하여 컨테이너 항만들에 대한 효율성을 측정하고 또한 클러스터링을 제시한다. IV장에서는 요약, 정책적 함의, 결론이 제시된다.

## II. 기존연구에 대한 검토 및 한계점

그 동안의 국내에서 컨테이너항만의 효율성을 측정한 연구는 다수가 있다. 즉, 박호, 김동진(2012), 김선구, 최용석(2012), 김재영·진형인, 김수만(2011), 방희석·강효원(2011), 박홍균(2010), 하명신(2009) 등이 있다. 또한 교차효율성 모형을 이용한 연구로는 박노경(2013a), 박노경(2013b), 김경구(2003), 김재희(2009)가 있다. 교차효율성 모형을 주제로 다룬 기존연구에 대한 자세한 내용은 박노경(2013a, pp.280-281), 박노경(2013b, 441-442)에 제시하였다.

그러나 국내에서는 게임교차효율성모형을 이용하여 컨테이너항만의 효율성을 측정한 연구는 거의 없다.

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

Ma, Liu, Zhou, Zhao and Liu(2014)는 2단계 구조에서 교차효율성을 정의하고, 비협력적인 게임하에서의 유니크한 교차효율성을 미국 상위 30개 은행을 대상으로 측정하고 분석하였다.

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

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

Wu, Cook, and Zhu(2008)는 교차효율성모형이 갖고 있는 단점들을 지적하면서, 만약에 DMUs간에 경쟁이 존재하는 경우에는 게임교차효율성모형이 더 적합함을 주장하였다. 즉, 개별 DMUs를 경기자로 간주하고, 이 모형에서 다른 DMUs의 효율성을 악화시키지 않으면서 개별 DMUs가 자신의 효율성을 극대화 시킬 수 있다고 주장하였다. 또한 사례를 들어서 실증분석하였다.

앞에 제시한 컨테이너항만들에 대한 국내 기존연구들은 일반적인 DEA모형을 이용하여 효율성 측정에 중점을 두었으며, 박노경(2013a,b)도 교차효율성을 측정하는 방법과 교차효율성을 이용하여 항만들의 클러스터링을 하는 방법만을 보여 줌으로써 현재와 같은 컨테이너항만들 간의 치열한 경쟁을 고려한 게임교차효율성모형에 대해서는 전혀 다루지 못했다.

### Ⅲ. 게임교차효율성모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 측정 및 타 모형과 순위비교, 항만 간 클러스터링 분석

#### 1. 게임교차효율성 모형에 대한 이론적 접근<sup>1)</sup>

게임교차효율성을 살펴보기 전에, 먼저 교차효율성 모형에 대한 내용을 살펴보면 다음과 같다. 교차효율성 모형은 Sexton 등(1986)이 제안하고 Doyle and Green(1994)에 의해서 발전된 모형으로, 자기 자신에게 유리한 최적의 가중치 뿐 아니라, 타 DMU의 최적 가중치까지 고려하기 때문에, 일반적인 DEA기법에 비해서 좀 더 공정한 효율성 지수를 구하는 장점을 가지고 있다. 즉, DEA에 대한 추가적인 가중치 제약을 할 필요가 없으며, 그렇게 함으로써 비현실적인 DEA가중치 계획을 피할 수 있다. 그러나 DEA 최적가중치의 비독특성 때문에 교차효율성의 유용성은 감소될 수 있다. 따라서 DMUs를 게임에서의 경기자로 간주할 때, 교차효율성 점수는 보수(payoffs)로 간주할 수 있으며, 개별 DMU들은 비협조적인 게임을 하게 되며, DMU들은 그들의 보수를 극대화시키려고 하게 된다. 게임교차효율성 모형은 <식 1> 및 <식 2>와 같다. <식 1>은 게임교차효율성 모형이며, <식 2>는 게임  $d$ -교차효율성을 계산하기 위한 모형식이다. <식 1>, <식 2>에서  $m$ 은 투입물,  $s$ 는 산출물이며,  $i$ 번째 투입물,  $r$ 번째 산출물,  $j$ 는 항만,  $d$ 는 평가대상 항만이다. <식 1>에서 분자는 산출물에 대한 최적가중치, 분모는 투입물에 대한 최적가중치를 의미한다. 변수들에 대한 보다 자세한 내용과 게임교차효율성 측정과정에 대한 자세한 설명은 각주 1에 제시된 참고문헌에 설명되어 있다. 요컨대, 게임교차효율성 모형은 교차효율성 모형에 비해서 첫째, 의사결정의 편향성을 피할 수 있으며, 둘째, 교차효율성 점수가 게임교차효율성 측정에서는 보수(payoff)가 되며, 셋째, 개별 항만들은 그들 자신의 보수를 극대화하기 위해서 비협력적 게임을 선택하게 된다. 즉, 한 항만의 게임효율성이 측정되면, 다른 항만은 적절한 투입과 산출가중치를 선택함으로써, 기 측정된 항만의 기 측정된 효율성 수치를 조건으로 그들 항만 자신의 효율성을 극대화하게 된다. <식 2>가 최적가중치를 계산하는 과정이다. 과정을 요약하면, 첫째, <식 1>의 해를 구함으로써 교차효율성 수치를 얻게 된다. 둘째, <식 1>로 정의된 게임  $d$ -교차효율성 모형 <식 2>를 개별 항만별로 측정한다. 이때 알고리즘 비효율성  $d$ 의 편차가 작아질 때, 즉,  $d$ 비효율성이 최소화 할 때, 이 게임교차효율성은 최대(평균)게임교차효율성 수치가 된다.(자세한 모형식에 대한 측정 과정 설명은 각주 1의 해당페이지를 참조요망).

1) Liang, *et. al*(2008), pp.1279-1282.

$$\alpha_{dj} = \frac{\sum_{r=1}^s \mu_{rj}^d y_{rj}}{\sum_{i=1}^m \omega_{ij}^d x_{ij}}, \quad d = 1, 2, \dots, n, \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

$$\text{Max} \sum_{r=1}^s u_{rj}^d y_{rj} \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^m w_{ij}^d x_{il} - \sum_{r=1}^s u_{rj}^d y_{rl} \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m w_{ij}^d x_{ij} = 1$$

$$\alpha_d \times \sum_{i=1}^m w_{ij}^d x_{il} - \sum_{r=1}^s u_{rj}^d y_{rl} \leq 0$$

$$w_{ij}^d \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$u_{rj}^d \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s$$

## 2. 게임교차효율성 모형

본 연구에서 사용할 게임교차효율성 모형은 <표 1>과 같다.

<표 1> 컨테이너 항만들의 게임효율성 측정을 위해 모형

모형	대상기간	산출요소	투입요소	대상항만 수
게임교차효율성 모형	2009, 2010, 2013	컨테이너화물처리량 (TEU)	수심(m)	39개
			총면적(평방미터)	
			크레인수(개)	

### 3. 게임교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 측정, 타 모형과 순위 비교, 클러스터링 측정

#### (1) 분석대상의 모형, 대상기간, 투입-산출요소 및 단위, 대상항만 수, 분석의 한계점

분석모형, 대상기간, 투입-산출요소, 대상항만 수는 <표 1>과 같다. 분석대상은 9개 컨테이너항만(합계 27개 항만)의 3년간(2009년, 2010년, 2013년)으로 하였다. 2011년과 2012년의 자료는 2013년의 자료와 통일된 투입 및 산출요소에 대한 자료를 수집 할 수 없어서 부득이하게 포함시킬 수 없었다. 각 변수의 단위는 다음과 같다. 투입요소는 수심(m)[평균치], 총면적(평방미터), 크레인 수(개)[갠트리, Quay, 모바일, 플로팅 크레인 수]로 하였으며, 산출요소는 컨테이너 화물처리량(TEU)이다. 2009년, 2010년, 2013년의 자료는 Containerisation International Yearbook과 해양수산부의 SP-IDC(해양항만물류정보센터), 그리고 각 항만의 홈페이지에서 수집하였다. 따라서 자료 수집방법이 여러 경로를 통하여 수집하고 있어 자료의 일관성과 정확성이 담보되지 못하는 본질적인 문제와 한계를 가지고 있다. 각 번호별 항만이름은 다음과 같다. 1번(두바이항), 2번(홍콩항), 3번(상해항), 4번(닝보항), 5번(칭타오항), 6번(토쿄항), 7번(나고야항), 8번(부산항), 9번(인천항), 10번(광양항), 11번(마닐라항), 12번(싱가포르항), 13번(카오슝항). 그러나 본 분석의 한계점은 첫째, DEA분석에서 일반적으로 투입 및 산출요소의 합의 숫자에 3을 곱한 만큼의 DMUs를 확보하는 것이 효율성의 안정성을 보장 받을 수 있었지만, 자료수집의 한계 때문에 그렇게 하지 못했다. 둘째, 첫 번째의 이유 때문에 본 연구에서는 기존연구에서 사용되고 있는 다양한 투입요소와 산출요소를 이용하지 못했다. 그러나 본 연구는 국내에서는 처음으로 게임교차효율성모형을 소개하고, 효율성을 측정하며, 다른 모형과의 순위 비교를 간략하게 하고, 항만들 간에 클러스터링 하는 방법을 보여 주는 것에 중점을 두므로써, 그 학술적인 가치가 있다고 확신한다.

#### (2) 실증분석에 사용한 자료에 대한 기술통계치

<표 2>에는 실증분석에 사용된 기술통계치를 제시하였다. 첨도수치로 보면 4개의 변수중에서 수심과 크레인 수는 3.0이상임으로 각각 정규분포보다 뾰족한 모형을 갖고 있으며, 총면적은 정규분포에 가까운 모양을 취하고 있다. 그러나 총처리량은 정규분포보다 납작한 모양을 하고 있다. 왜도수치로 보면 평균이 중앙값보다 큰 오른쪽 꼬리(수심 : 왼쪽꼬리)모양을 갖고 있다. 최소값(2009년 가장 낮은 값)과, 최대값(2013년 가장 높은 값)은 년도 별 상대적 효율성을 측정하는 데는 큰 문제는 없다고 본다.

〈표 2〉 실증분석에 사용된 기술통계치

구분/요소	수심	총면적	크레인수	총처리량
평균	13.49	2965731.57	101.33	11884952.92
표준편차	2.21	429538.36	17.71	9808679.79
분산	4.88	7.1956E+12	12231.12	9.62102E+13
중앙값	14	1521518	62	10502800
첨도	3.8408	0.4875	5.6305	-0.5383
왜도	-1.57	1.2482	2.3100	0.7186
최소값	6.85	170271	9	125042
최대값	18.33	10229837	507	33773000
관측수	39	39	39	39

(3) 게임교차효율성, 교차효율성, 일반 CCR모형을 이용한 효율성 측정

〈표 3〉 3년간의 컨테이너항만의 게임교차효율성 분석결과(투입지향 규모수확불변모형)

항만/ 구분	2009		2010		2013	
	효율성수치	순위	효율성수치	순위	효율성수치	순위
1	0.8350	3	0.8153	5	0.7897	5
2	0.9791	2	0.9920	2	0.9882	1
3	0.8260	4	0.8486	4	0.9764	3
4	0.9974	1	0.9923	1	0.9801	2
5	0.7323	7	0.7574	6	0.5789	6
6	0.2791	10	0.3013	9	0.2161	9
7	0.1410	13	0.1724	11	0.1317	11
8	0.5723	8	0.5568	8	0.5764	7
9	0.2174	11	0.1790	10	0.1756	10
10	0.1728	12	0.1351	12	0.1047	12
11	0.3054	9	0.0108	13	0.0817	13
12	0.7822	6	0.9647	3	0.9020	4
13	0.7883	5	0.6204	7	0.4718	8

〈표 3〉에는 3년 동안의 게임교차효율성 측정결과를 제시하였다.

평균적으로 순위를 보면, 4번(닝보항), 2번(홍콩항), 3번(상해항), 1번(두바이항)(12번; 싱가포르항), 5번(칭타오항), 13번(카오슝항), 8번(부산항), 6번(토쿄항), 9번(인천항), 7번(나고야항)(11번; 마닐라항), 10번(광양항) 항만의 순서였다.

〈표 4〉 3년간의 컨테이너항만의 교차효율성 분석결과(투입지항 규모수확률변모형)

항만/ 구분	2009		2010		2013	
	효율성수치	순위	효율성수치	순위	효율성수치	순위
1	0.7179	3	0.7443	5	0.7436	5
2	0.9209	1	0.9370	1	0.9764	1
3	0.6874	5	0.7847	4	0.9098	3
4	0.9037	2	0.9146	2	0.9200	2
5	0.6495	7	0.6850	6	0.5287	6
6	0.2501	10	0.2732	9	0.2008	9
7	0.1217	13	0.1561	11	0.1251	11
8	0.5091	8	0.5253	8	0.5281	7
9	0.1818	11	0.1598	10	0.1563	10
10	0.1436	12	0.1225	12	0.0827	12
11	0.2581	9	0.0102	13	0.0734	13
12	0.6889	4	0.9140	3	0.8327	4
13	0.6691	6	0.5627	7	0.4313	8

〈표 4〉에는 3년 동안의 교차효율성 측정결과를 제시하였다.

평균적으로 순위를 보면, 2번(홍콩항), 4번(닝보항), 12번(싱가포르항), 3번(상해항), 1번(두바이항), 5번(칭타오항), 13번(카오슝항), 8번(부산항), 6번(토쿄항), 9번(인천항), 7번(나고야항)(11번; 마닐라항), 10번(광양항) 항만의 순서였다. 〈표 5〉에는 3년 동안의 일반CCR효율성 측정결과를 제시하였다. 평균적으로 순위를 보면, 1위[2번(홍콩항), 3번(상해항), 4번(닝보항)], 12번(싱가포르항), 1번(두바이항), 5번(칭타오항), 13번(카오슝항), 8번(부산항), 6번(토쿄항), 9번(인천항), 7번(나고야항), 11번(마닐라항), 10번(광양항)의 순서였다.



〈표 5〉 3년간의 컨테이너항만의 일반 CCR효율성 분석결과(투입지향 규모수확불변모형)

항만/ 구분	2009		2010		2013	
	효율성수치	순위	효율성수치	순위	효율성수치	순위
1	0.96016	5	0.8233	5	0.8050	5
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	0.8167	7	0.7761	6	0.5928	6
6	0.2841	10	0.3080	9	0.2206	10
7	0.1649	13	0.1754	11	0.1341	11
8	0.6214	8	0.5682	8	0.5909	7
9	0.2671	11	0.2174	10	0.2320	9
10	0.1970	12	0.1371	12	0.1250	12
11	0.3276	9	0.0111	13	0.1093	13
12	0.9943	4	1	1	0.9970	4
13	0.8322	6	0.6298	7	0.4832	8

#### (4) 게임교차효율성, 교차효율성, 일반 CCR모형의 효율성 순위에 대한 분산분석

〈표 3〉, 〈표 4〉, 〈표 5〉를 이용하여 연도별로 효율성 간의 순위에 차이가 있는지를 검증하기 위해서 ANOVA분석[김재희(2009)의 연구분석방법을 따름]을 실시한 결과 중에서 귀무가설의 채택 및 기각과 관련된 내용을 〈표 6〉에 제시하였다. 다음과 같은 핵심내용을 알 수 있다. 첫째, 분석대상 기간을 개별적으로 살펴보았을 때, F비율이 F기각치보다 상당히 작아서 양 분석 들 방법에 의한 순위 간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 둘째, 3개년의 자료를 통합하여 측정한 결과에서도 동일한 결과가 나타났다. 따라서, 3가지 분석방법에 의한 항만들의 순위는 차이가 없는 것으로 결론내릴 수 있다.

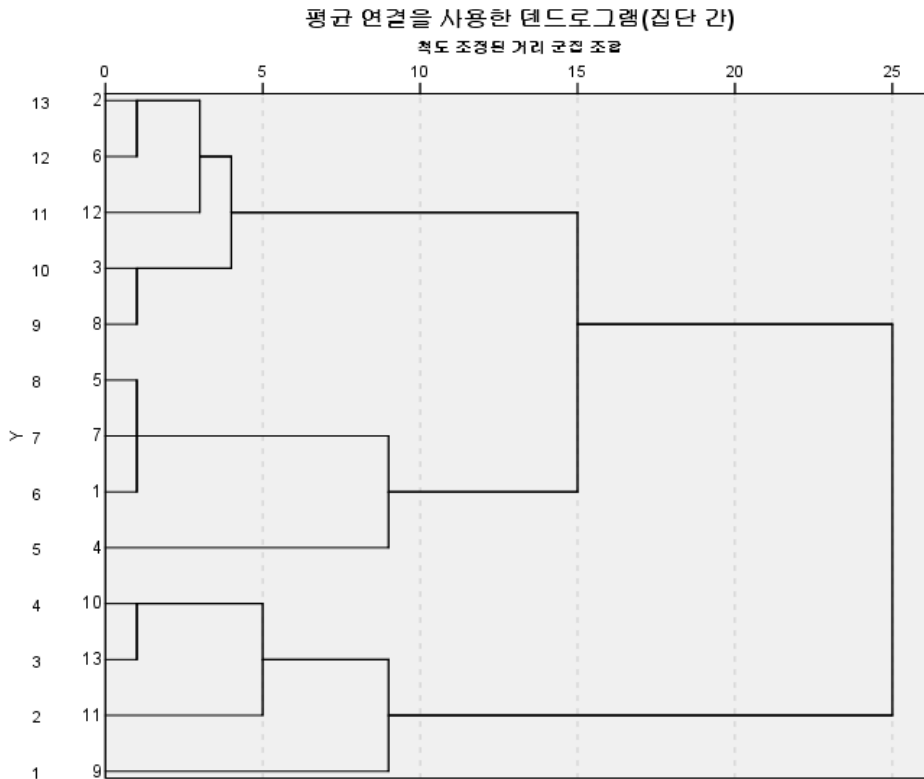
〈표 6〉 3년간의 효율성 순위에 대한 ANOVA분석 결과

측정년도	비교	F비	P-값	F기각치	귀무가설의 채택 여부
2009	GC&C	0	1	4.2597	귀무가설 채택
	GC&CCR	0.0101	0.9900	3.4221	귀무가설 채택
2010	GC&C	0	1	4.2597	귀무가설 채택
	GC&CCR	0.0793	0.7807	4.2597	귀무가설 채택
2013	GC&C	0	1	4.2597	귀무가설 채택
	GC&CCR	0.0211	0.8858	4.2597	귀무가설 채택
전체자료	GC&C	0	1	3.9668	귀무가설 채택
	GC&CCR	0.1161	0.7342	3.9668	귀무가설 채택

### (5) 게임교차효율성 매트릭스를 이용한 항만들 간의 클러스터링 분석

평균연결을 사용한 덴드로그램[육근상(2014, p.41)]은 소수의 표본에 대한 군집분석에 이용하는 방법으로서 새로운 대상이 기존의 군집에 편입될 때, 기존의 군집 내에 있는 모든 대상과의 평균거리가 가장 가까운 군집에 편입되는 방법을 말한다. [교차효율성을 이용한 클러스터링은 Wu et al(2008, p.388), Wu and Goh(2010, p.1039)를 참조요망].

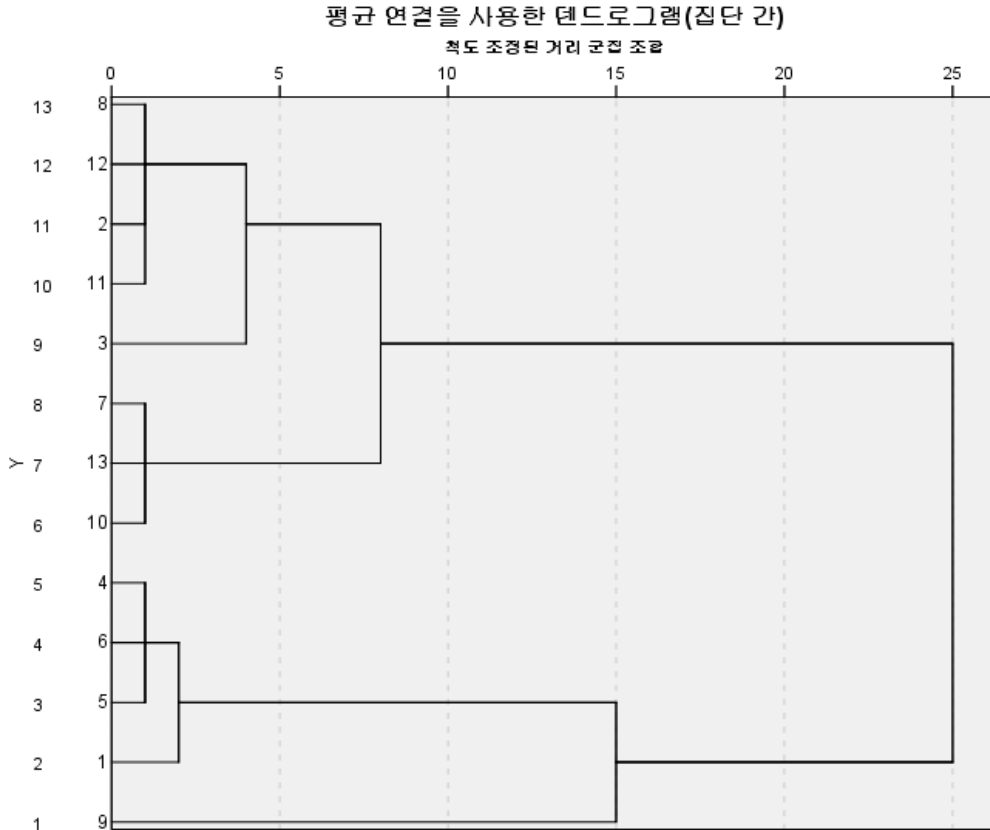
〈그림 1〉 게임교차효율성 매트릭스의 상관계수 값에 의거한 클러스터링을 보여주는 덴드로그램(2009년 자료)



〈그림 1〉은 2009년의 게임교차효율성 매트릭스의 상관계수 값(본 란에는 지면관계상 실제수치를 제시하는 것을 생략하였음)을 이용한 클러스터링을 보여 주는 덴드로그램이다. [교차효율성을 이용한 클러스터링은 Wu et al(2008, p.388), Wu and Goh(2010, p.1039)를 참조요망. 따라서 게임교차효율성을 이용한 클러스터링도 가능할 것으로 사료되지만 해석상 주의가 요망됨].

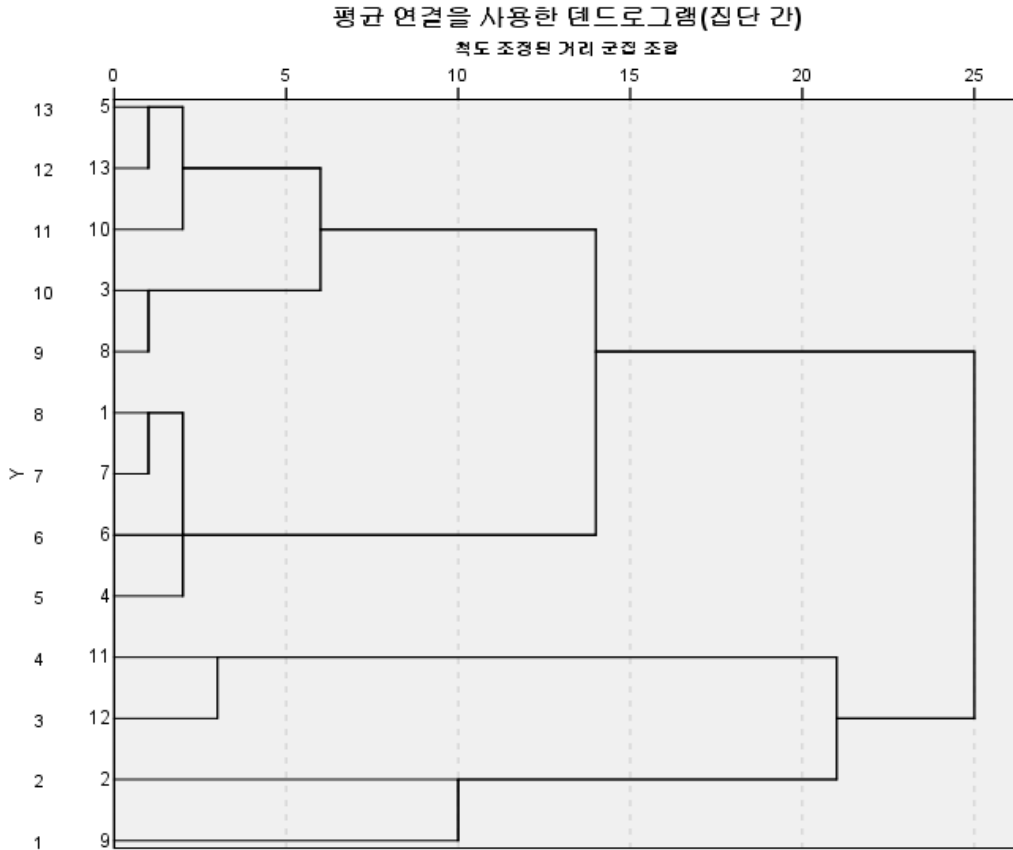
〈그림 1〉의 클러스터링 결과를 보면, A그룹은 2번(홍콩항), 6번(토쿄항), 3번(상해항), 8번(부산항)항만들과 클러스터링하고, B그룹은 5번(칭타오항), 7번(나고야항), 1번(두바이항), 4번(닝보항), C그룹은 10번(광양항), 13번(카오슝항), 11번(마닐라항), 9번(인천항)항만들과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

〈그림 2〉 게임교차효율성 매트릭스의 상관계수 값에 의거한 클러스터링을 보여주는 덴드로그램(2010년 자료)



〈그림 2〉의 클러스터링 결과를 보면, A그룹은 8번(부산항), 12번(싱가포르항), 2번(홍콩항), 11번(마닐라항), 3번(상해항)항만들과 클러스터링하고, B그룹은 7번(나고야항), 13번(카오슝항), 10번(광양항), C그룹은 4번(닝보항), 6번(토쿄항), 5번(칭타오항), 1번(두바이항), 9번(인천항)항만들과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

〈그림 3〉 게임교차효율성 매트릭스의 상관계수 값에 의거한 클러스터링을 보여주는 덴드로그램(2013년 자료)



〈그림 3〉의 클러스터링 결과를 보면, A그룹은 5번(칭타오항), 13번(카오슁항), 10번(광양항), 3번(상해항), 8번(부산항)항만들과 클러스터링하고, B그룹은 1번(두바이항), 7번(나고야항), 6번(토쿄항), 4번(닝보항), C그룹은 11번(마닐라항), 12번(싱가포르항), 2번(홍콩항), 9번(인천항)항만들과 클러스터링하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

## IV. 결론

본 논문에서는 첫째, 국내의 기존연구에서는 전혀 다루어지지 않았던 게임교차효율성 모형에 대해서 설명하였으며, 둘째, 게임교차효율성모형을 이용하여 2009년, 2010년, 2013년과 아시아 13개 항만을 대상으로 3개의 투입요소(수심, 총면적, 크레인 수), 1개의 산출요소(컨테이너 화물 처리량)를 이용하여 실증분석을 하고 효율성 순위를 측정하였다. 셋째, 또한 기존의 교차효율성 모형에 의한 효율성 및 CCR모형에 의해 효율성을 측정하고 그 효율성 수치에 의한 순위를 측정하였으며, ANOVA분석을 통해서 그러한 순위가 게임교차효율성 모형과 타 모형 간에 차이가 있는지를 검증하였다. 넷째, 게임교차효율성 매트릭스의 상관계수 값을 구한 후에 평균연결을 사용한 덴드로그램에 의한 방법으로 클러스터링을 측정하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, 게임교차효율성 모형에 의한 효율성 순위를 3개년도의 효율성 수치 평균값에 근거하여 평균적으로 순위를 측정해 보면, 4번(닝보항), 2번(홍콩항), 3번(상해항), 1번(두바이항)(12번; 싱가포르항), 5번(칭타오항), 13번(카오슝항), 8번(부산항), 6번(토쿄항), 9번(인천항), 7번(나고야항)(11번; 마닐라항), 10번(광양항) 항만의 순서였다. 교차효율성모형과 CCR모형에 의한 순위도 유사한 것으로 나타났다.

둘째, 효율성 순위를 검정한 ANOVA검정분석에서는 세 가지 모형[게임교차효율성모형, 교차효율성 모형, CCR모형]사이 순위에 차이가 없는 것으로 나타났다.

셋째, 클러스터링 분석에서는 그룹별로 공통적(3개년 또는 2개년)으로 클러스터링되는 항만들을 살펴보면, A그룹에서는 3번(상해항), 8번(부산항)항만, B그룹에서는 4번(닝보항), 7번(나고야항)항만, C그룹에서는 9번(인천항), 11번(마닐라항)항만들로 나타났다.

본 논문이 갖는 정책적인 함의는 다음과 같다. 첫째, 본 논문의 실증분석결과, 클러스터링항만들로서 나타난 항만들에 대한 항만개발, 운영에 대한 내용을 세밀하게 검토하고 해당항만의 장점 부분은 도입하여 실시하는 것이 필요하다. 둘째, 특히 부산항은 상해항과 그리고 인천항은 마닐라항과 전략적인 제휴관계를 맺고, 컨테이너화물처리 면에서의 혜택을 부여해야만 한다. 예컨대, 인천항은 이미 마닐라 항과 2011년7월1일에 자매항만으로서 체결을 하였으므로, 필리핀의 한인상공회의소를 통해서 인천항에 대한 포트세일을 적극적으로 해야만 한다. 부산항은 신항의 인프라 구축에 속도를 내는 한편, 싱가포르, 상하이, 휴스턴 항만들이, 항만을 중심으로 연관산업을 집중육성함으로써, 병커링해양플랜트 등 고부가가치산업을 선점하려 하고 있으므로<sup>2)</sup>, 또한 환적화물에 대해서도 시장을 잠식하려고 하고 있으므로, 그런 측면에서 상해항만과 연관산업 측면과 환적화물 측면에서 협력할 수 있는 부분을 찾아내고 실현시킬 수 있는 방안을 마련해야만 한다.

2) 울산매일, 2014년 1월17일자. <http://www.iusm.co.kr/news/articleView.html?idxno=441775>

본 논문은 다음과 같은 한계점들을 가지고 있다. 첫째, 실증분석결과에 대한 심도있는 분석이 이루어지지 못했다. 즉, 게임교차효율성 분석이 기존의 CCR, BCC, 교차효율성 분석결과와 비교하여 투입-산출요소측면에서 어느 정도로 개선을 가져왔으며, 그 이유는 어디에 있는지를 개별항만들의 현실적인 상황과 연관지어 세밀하게 파악하는 분석이 시도되어야만 한다. 둘째, 항만 간에 클러스터링을 한 후에 어떻게 효율성이 증진되고 개선되었는지에 대한 분석을 시도하지 못했다. 즉, 게임교차효율성에 의한 클러스터링 기존의 DEA모형들에 의한 클러스터링과 비교하여 어떤 차이점이 있는지 세밀한 분석이 필요하다. 셋째, 클러스터링 후에 개별 항만들이 도입해야만 하는 현실적인 정책방안들에 대한 실제적인 내용이 제시되지 못했다. 넷째, 본격적인 효율성 분석 이전에 각 항만간의 경쟁관계나 클러스터링의 결과가 제시할 수 있는 시사점의 근거가 될 수 있는 현상적인 문제에 대한 접근(각 항만들 간의 관계, 특성 등)이 제시되지 못했다. 더욱 정밀한 부분에 대한 연구는 차후 연구의 과제로 삼고자 한다.

## 참고문헌

- 김경구, “교차 평가모형을 이용한 컨테이너 터미널의 효율성 평가모형에 관한 연구 “ 부산외국어 대학교 대학원 석사학위논문, 2003년6월.
- 김선구·최용석, “컨테이너터미널 효율성 평가를 위한 AHP/DEA 통합모형”, 『한국항만경제학회지』 제28집 제2호, 한국항만경제학회, 2012, pp.179-194.
- 김재영·진형인·김수만, “컨테이너터미널 운영사별 효율성 분석”, 『한국항만경제학회지』 제27집 제4호, 한국항만경제학회, 2011, pp.187-205.
- 김재희, “교차효율분석을 활용한 원양어업의 업종별 경쟁력 추정”, 『해양정책연구』 제24권 제1호, 한국해양수산개발원, 2009년6월, pp.57-76.
- 박노경, “교차효율성 모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 측정방법”, 『무역연구』 제9권 제4호, 한국무역연구원, 2013a, pp.279-294.
- 박노경, “컨테이너항만의 클러스터링 측정방법 소고: DEA참조집단모형과 교차효율성 모형을 이용”, 『무역연구』 제9권 제7호, 한국무역연구원, 2013b, pp.439-456.
- 박호·김동진, “국내 주요 4대 컨테이너항만의 효율성 결정요인분석”, 『한국항만경제학회지』 제28집 제3호, 한국항만경제학회, 2012, pp.73-89.
- 박홍균, “환적화물의 컨테이너터미널 효율성 분석”, 『한국항만경제학회지』 제26집 제1호, 한국항만경제학회, 2010, pp.1-19.
- 방희석·강효원, “DEA를 활용한 글로벌 해운선사의 효율성 측정”, 『한국항만경제학회지』 제27집 제1호, 한국항만경제학회, 2011, pp.213-234.
- 육근상, 『철도컨테이너 수송의 접근성 특성연구: 컨테이너 철도복합운송의 운송영향권 추정을 중심으로』, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문, 2014.
- 하명신, “동북아시아역과 미국 주요컨테이너 항만간의 효율성비교: DEA기법을 중심으로”, 『한국항만경제학회지』 제25집 제3호, 한국항만경제학회, 2009, pp.229-250.
- Adler, N., Friedman, L. and Sinuany-Stern, Z., "Review of Ranking Methods in the Data Envelopment Analysis Context," *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, 2002, pp. 249-265.
- Alcaraz, J., N. Ramon, J.L. Ruiz, and I.Sirvent, "Ranking Ranges in Cross-efficiency Evaluation," *European Journal of Operational Research*, Vol. 226, 2013, pp. 516-521.
- Andersen, P. and Petersen, N.C., "A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis," *Management Sciences*, Vol. 39, 1993, pp. 1261-1264.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Sciences*, Vol. 30, 1984, pp. 1078-1092.



- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, 1978, pp. 429-444.
- Doyle, J.R., and R.H. Green,"Efficiency and Cross-efficiency in DEA: Derivations, Meanings, and Uses," *Journal of Operational Research Society*, Vol. 45, No.5, 1994, pp. 567-578.
- Liang, L., J. Wu, W.D. Cook, and J. Zhu, "The DEA Game Cross-Efficiency Model and Its Nash Equilibrium," *Operations Research*, Vol.56, No.5, 2008, pp.1278-1288.
- Ma, C., D. Liu, Z. Zhou, W. Zhou, W. Liu,"Game Cross-Efficiency for Systems with Two-Stage Structures", *Journal of Applied Mathematics*, Vol. 2014, 2014, pp.1-8.
- Sexton, T.R., R.H. Silkman, and A.J. Hogan, "Data Envelopment Analysis: Critique and Extensions," in Silkman, R.H. (Ed.), *Measuring Efficiency: An Assessment of Data Envelopment Analysis*, Jossey-Bass, San Francisco, 1986, pp.73-105.
- Wu, J., Liang, L., " A Multiple Criteria Ranking Method based on Game Cross-Evaluation Approach", *Annals of Operations Research*, Vol. 197, 2012, pp. 191-202.
- Wu, J., Liang, L., and Y. Chen,"DEA Game Cross-Efficiency Approach to Olympic Rankings", *Omega*, Vol. 37, 2009, pp. 909-918.
- Wu, Y.C.J. and Goh, M.,"Container Port Efficiency in Emerging and More Advanced Market", *Transportation Research Part E*, Vol. 46, 2010, pp. 1030-1042.

## 국문요약

# 게임교차효율성모형을 이용한 컨테이너항만의 효율성 및 클러스터링 측정방법 소고

박노경

본 논문에서는 첫째, 국내의 기존연구에서는 전혀 다루어지지 않았던 게임교차효율성 모형에 대해서 설명하였으며, 둘째, 게임교차효율성모형을 이용하여 2009년, 2010년, 2013년과 13개 항만을 대상으로 3개의 투입요소(수심, 총면적, 크레인 수), 1개의 산출요소(컨테이너화물 처리량)를 이용하여 실증분석을 하고 효율성 순위를 측정하였다. 셋째, 또한 기존의 교차효율성 모형에 의한 효율성 및 CCR모형에 의해 효율성을 측정하고 그 효율성 수치에 의한 순위를 측정하였으며, ANOVA분석을 통해서 그러한 순위가 게임교차효율성 모형과 모형 간에 차이가 있는지를 검증하였다. 넷째, 게임교차효율성 매트릭스의 상관계수 값을 구한 후에 평균연결을 사용한 덴드로그램에 의한 방법으로 클러스터링을 측정하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, 게임교차효율성 모형에 의한 효율성 순위를 3개년도의 효율성 수치 평균값에 근거하여 평균적으로 순위를 측정해 보면, 4번(닝보항), 2번(홍콩항), 3번(상해항), 1번(두바이항)(12번; 싱가포르항), 5번(칭타오항), 13번(카오슝항), 8번(부산항), 6번(토쿄항), 9번(인천항), 7번(나고야항)(11번; 마닐라항), 10번(평양항) 항만의 순서였다. 교차효율성모형과 CCR모형에 의한 순위도 유사한 것으로 나타났다.

둘째, 효율성 순위를 검정한 ANOVA검정분석에서는 세 가지 모형[게임교차효율성모형, 교차효율성 모형, CCR모형]사이에 순위에 차이가 없는 것으로 나타났다.

셋째, 클러스터링 분석에서는 그룹별로 공통적(3개년 또는 2개년)으로 클러스터링되는 항만들을 살펴보면, A그룹에서는 3번(상해항), 8번(부산항)항만, B그룹에서는 4번(닝보항), 7번(나고야항)항만, C그룹에서는 9번(인천항), 11번(마닐라항)항만들로 나타났다.

본 논문이 갖는 정책적인 함의는 다음과 같다. 첫째, 본 논문의 실증분석결과, 클러스터링항만들로서 나타난 항만들에 대한 항만개발, 운영에 대한 내용을 세밀하게 검토하고 해당항만들의 장점 부분은 도입하여 실시하는 것이 필요하다. 둘째, 특히 부산항은 상해항과 인천항은 마닐라항과 전략적인 제휴관계를 맺고, 컨테이너화물처리 면에서의 혜택을 부여해야만 한다.

**핵심 주제어** : 컨테이너항만효율성, 게임교차효율성모형, 교차효율성모형, 자료포괄분석, 분산분석, 클러스터링