

## 컨테이너터미널 효율성 평가를 위한 AHP/DEA 통합모형

김선구\* · 최용석\*\*

### An AHP/DEA Hybrid Model for Efficiency Evaluation of Container Terminal

Seongu Kim · Yongseok Choi

**Abstract** : in this study, we compared the efficiency of container terminals using DEA. To do this, we designed an AHP/DEA hybrid model using AHP and DEA, and evaluated the efficiency by comparing the container terminal operation company in Gwangyang(KEC, KIT, GICT) and Busan(HBCT, DPCT, KBCT, UPT, Gamman, PNC, PNIT, HJNC, HPNT). The proposed model can control the number of selected promising container terminal by applying DEA-AR model. This model can also improve the credibility of analysis by using objective weights through the AHP application to efficiency evaluation data and normalizing the evaluation data to apply AHP and DEA. The model assumes inputs to be container crane, transfer crane, yard tractor, and reach stacker and output as container traffic. The result shows that DPCT was an efficient DMU.

**Key Words** : AHP/DEA Hybrid Model, AHP, DEA-AR, Container Terminal, Equipment, Efficiency

---

▷ 논문접수: 2012.05.17   ▷ 심사완료: 2012.06.22   ▷ 게재확정: 2012.06.29

\* 순천대학교 물류학과 박사과정, kingdma@hanmail.net, 010)5617-9717

\*\* 순천대학교 물류학과 부교수, drasto@sunchon.ac.kr, 061)750-5115, 교신저자

## I. 서론

컨테이너터미널에서의 컨테이너 작업 효율성을 측정하는 지표로 일반적으로 안벽에서의 시간당 하역능력, 선박의 재항시간, 화물 반출입 시간 등이 논의된다. 이러한 효율성은 각종 장비, 운영시스템, 인력, 터미널부지, 야드배치 및 장치규칙 등 터미널 전체의 제반 요인에 의해 영향을 받게 된다. 컨테이너 작업 효율성이 실현되는 기본전제는 컨테이너의 신속한 처리라 할 수 있다. 이를 위해서는 각 장비들의 조합으로 이루어지는 컨테이너터미널의 하역시스템이 효율적으로 운영되어야 한다.

터미널의 하역시스템은 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템 등의 단위시스템들로 구성된 대규모시스템이고 이러한 단위시스템들은 컨테이너를 취급하는 다양한 장비들로 구성되어 있다. 따라서 장비간 유기적인 연계성이 원활하게 이루어져야 전체 하역시스템의 효율성이 향상되어질 수 있다.

따라서 항만하역시스템의 효율성을 높이기 위해서는 각 단위시스템의 효율성을 높여야 하고, 항만의 효율성은 결국 각 단위시스템을 구성하는 장비의 운영에 의해 결정된다. 이러한 단위시스템은 컨테이너를 처리하는데 사용되는 C/C(Container Crane), TC(Transfer Crane), YT(Yard Tractor), RS(Reach Stacker) 등의 하역장비 효율성에 의해 직접적으로 영향을 받으므로 이들 장비들을 어떠한 조합으로 운영하는가에 따라 전체 컨테이너터미널의 효율성이 결정된다.(양창호외 2004)

이에 본 연구에서는 컨테이너터미널의 투입자원 중 컨테이너 처리에 직접적인 영향을 미치는 하역장비를 중심으로 컨테이너터미널의 효율성을 비교 평가하였다. 하역장비에 따른 터미널의 효율성을 비교하기 위해 장비의 구성비에 따른 컨테이너 처리량의 기술통계 값들을 산출하였고, 선형계획법에 근거한 다중 투입물과 산출물을 종합적으로 고려하여 상대적 효율성을 측정하는 비모수적 접근방법인 DEA(Data Envelopment Analysis) 방법론을 사용하였다. 또한 DEA 모형의 가중치간의 불균형으로 인하여 잘못된 평가된 DMU 발생가능성과 효율적인 DMU간의 우열에 대한 변별의 어려움을 극복하기 위해 DEA-AR(Assurance Region)모형을 적용하였다. DEA-AR모형의 가중치 범위를 산출하기 위해 전문가의 의견을 객관적인 가중치로 변환할 수 있는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 방법론을 적용하였다.

본 연구의 AHP/DEA 통합모형은 컨테이너터미널에서의 효율성을 측정하는데 객관적인 데이터와 전문가 평가를 결합하여 효율성 측정이 가능한 모형으로 투입변수와 산출변수의 가중치 구간의 폭을 합리적으로 제한하여 최고의 효율성을 가진다고 평가되는 컨테이너터미널의 수를 의사결정 상황에 맞추어 유연하게 조절하였다.

본 연구는 12개 컨테이너터미널을 대상으로 효율성을 분석하였는데, 광양항의 GICT,

KEC, KIT, 부산항의 HBCT, KBCT, DPCT, UTC, 감만부두 그리고 부산신항의 PNC, PNIT, HJNC, HPNT을 대상으로 하였다.

## II. AHP/DEA 연구모형

### 1. DEA(Data Envelopment Analysis)

DEA 모형은 사전에 구체적인 함수형태를 가정하고 모수를 추정하는 기존의 효율성 측정방식과는 달리 선형계획법에 근거하여 다수의 투입물과 다수의 산출물 간의 자료를 이용하여 가장 효율적인 프론티어를 도출한 후, 다른 의사결정단위들(DMU)들이 이 프론티어를 기준으로 얼마나 멀리 떨어져 있는지의 여부를 파악함으로써 비효율성을 측정하는 접근방법이다. 효율성은 주어진 기술 하에서 일정한 생산량을 얻기 위하여 투입되는 투입물의 최소량을 투입하는 상태, 또는 동일한 투입량을 가지고 최대의 생산량을 얻었을 때를 효율성에 도달되었다고 한다. 효율성의 상태보다 더 많은 투입물이 투입되었거나 더 적은 산출량이 생산되었을 때 이 상태를 비효율적이라 한다. DEA 분석을 위한 모형은 다양한 형태로 제시되고 있으며, 가장 많이 활용되는 모형으로는 Charnes, Cooper and Phodes(1978)의 CCR 모형과 Banker, Charnes and Cooper(1984)의 BCC 모형을 들 수 있다. CCR 모형은 규모에 대한 수익불변(Constant Returns to Scale : CRS)을 가장하는 모형이고 BCC 모형은 규모에 대한 수익가변(Variable Returns to Scale : VRS)를 다루는 모형이다.

컨테이너터미널의 효율성 분석에 관련하여 DEA 모형을 적용한 국내외 연구들이 상당히 진전되어 왔다. 기존 연구를 검토해 보면 다양한 DEA 모형을 적용하여 컨테이너터미널 과 항만의 효율성을 분석하고 있으며 각 연구에 사용된 투입요소와 산출요소는 연구자에 따라 상이하나 선정된 변수들이 대부분 유사하다. 항만관련 효율성을 DEA기법으로 평가한 연구로는 Wang, T. F., Cullinane, K. and Song, D. W(2003), Min, H. and Park, B(2005), Rios, L. R. and A. C. G. Macada(2008), Shih-Liang Chao and Yu-Jr Lin(2011), 나호수 외(2008), 모수원(2008), 박노경(2010), 손용정(2010) 등이 있다.

### 2. DEA-AR(Assurance Region) 모형

DEA 모형의 가장 큰 특징은 평가항목들의 가중치에 대한 정보가 필요하지 않다는

점인데, 이러한 점이 DEA 모형의 단점으로 작용하기도 한다. DEA 모형은 단순히 DMU가 효율적인지 또는 비효율적인지에 대한 여부만을 판별해 내기 때문에 효율적이라고 판별된 의사결정단위들 간의 우열 또는 순위에 대하여 변별력을 갖지 못한다. 다수의 DMU가 효율적이라고 판별된다면 DEA 모형이 아무리 객관적이라 하더라도 그 모형의 효용이 그다지 크지 않을 것이다.

DEA-AR 모형은 DMU 간의 변별력 해결을 위해 Thompson et al.(1986)에 의해 개발되었다. DEA-AR 모형은 가중치 범위를 구체적으로 정하여 효율적인 DMU의 범위를 줄일 수 있다. 이처럼 적절한 가중치 제약은 가중치들 간의 불균형으로 인하여 잘못 평가된 DMU를 제거하여 새로운 효율성을 평가하여 DEA 모형의 변별력 문제를 해결할 수 있다. 다음 식은 DEA-AR 승수모형으로 DMU의 투입 및 산출 가중치인  $V_i$ 와  $U_i$ 의 범위 제약이 있다는 것이 특징이다. 식에서  $OU_r$ 와  $OL_r$ 은 산출변수 가중치의 상한 및 하한을  $IU_i$ 와  $IL_i$ 는 투입변수 가중치의 상한 및 하한을 나타낸다.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\ & \text{Subject to} \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\ & \quad \quad \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \\ & \quad \quad \quad u_1 > 0, v_1 > 0 \quad \quad OL_r u_1 \leq u_r \leq OU_r u_1, IL_i v_1 \leq v_i \leq IU_i v_1 \\ & \quad \quad \quad r = 2, 3, \dots, s; i = 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

일반적으로 가중치가 가질 수 있는 값의 범위는 투입 및 산출요소의 가중치를 구한 다음 각 측정단위별 요소 간 가중치 비율의 상한값과 하한값을 설정하여 AR의 범위를 구한다. 설정방법으로는 전문가의 의견 반영법, 의사결정기법 활용법, 그리고 각 요소별 단위비용 사용법 등이 주로 사용되어 왔다(심광식, 2011). 본 연구에서는 전문가 의사결정기법 중 하나인 AHP 방법론을 적용하여 AR의 추정치를 설정하였다.

### 3. AHP(Analytic Hierarchy Process)

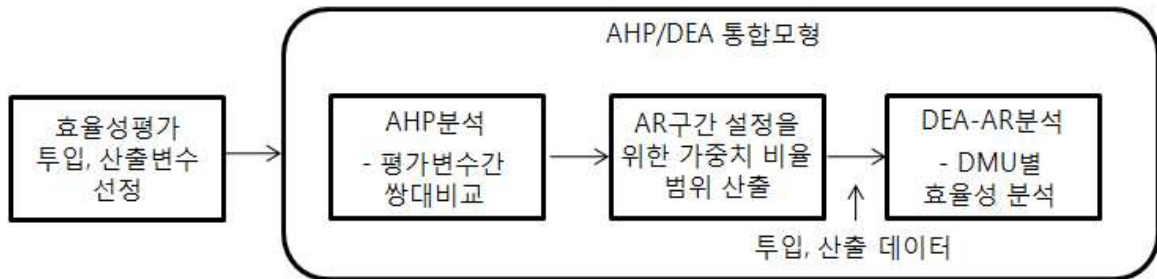
AHP(Satty, Tomas. L., 1980)는 다속성의사결정 문제에 많이 사용되는 기법으로 의사결정의 계층구조를 구성하는 요소간의 쌍대비교를 통해 중요도를 구하는 의사결정방

법론이다. AHP는 의사결정의 구조를 계층적으로 분화하여 복잡한 의사결정 문제를 단순한 쌍대비교에 의한 판단으로 문제 해결이 가능하며, 계층을 구성하는 측정요소의 기준이 정성적 척도와 정량적 척도를 모두 포함하여 적용할 수 유용한 의사결정 도구이다. 이 때문에 정책적 대안 분석 및 선정, 전략적 의사결정 문제, R&D기술 기획 및 타당성 평가, 입지선정, 자원할당, 성과분석, 경제성 분석 등 다양한 분야에서 복잡한 의사결정 문제를 분석하는데 활용되고 있다. 이러한 AHP의 수행과정은 ① 의사결정 요소들을 계층화 하는데 문제의 목표(Goal)가 최상위 계층에 놓여지고, 목표에 따른 평가 기준(Criteria)을 계층화하고, 최하위 계층에는 선택의 대상인 대안들로 구성된다. ② 의사결정의 계층 내의 각 요소들은 서로 비교 가능한 것이어야 하며 평가요인을 단순화한 쌍대비교를 통해 판단한다. 쌍대비교에서 사용되는 척도의 범위는 Saaty에 의해 적절성이 인정된 9점 척도가 많이 이용된다. ③ 쌍대비교를 통해 얻어진 행렬에서 산출되는 고유벡터(eigen vector)를 이용하여 요소들 간 상대적 가중치를 산출하고, ④ 산출된 가중치의 일관성을 검토 한 후 ⑤ 각 계층의 요소들과 대안들의 가중치와 우선수위를 산출한다.

#### 4. AHP/DEA-AR 통합모형

DEA 모형 자체가 내포하고 있는 변별력 부족과 비합리적 가중치의 문제점들을 해결하기 위해 모형 내부에 제약식을 추가하는 DEA-AR 기법에 관한 연구가 Thompson et al.(1986)에 의해서 개발되었고, 제약식에 적용되는 가중치를 산출하는 방법에 대한 연구가 Charnes et. al.(1990), Allen et. al.(1997) 등을 통해 지속적으로 연구되어 왔다. 가중치 제약 방법은 대부분 주관적 판단을 사용하는 방안이 주로 연구되어 왔고 이러한 가중치 제약방법은 가중치 또는 가중치간 비율의 상하한을 제약범위로 산정한다(김건위 외, 2004). AHP/DEA 모형의 AR 측정치를 산출하여 효율성을 분석한 연구로 연구개발사업 평가 및 선정을 위한 통합모형연구(임호순 외, 1999), 행정조직의 상대적 효율성 평가를 위한 AHP/DEA 통합모형 연구(김건위 외 2004), R&D 프로젝트 선정모형 개발을 위한 연구(이덕주 외, 2006), 제조공정들간 효율성평가를 위한 AHP/DEA모형(김준범 외, 2008), 지하철 효율성 평가를 위한 DEA-AR/AHP 모형 설계(심광식 외, 2009), 공공도서관 효율성 평가를 위한 DEA/AHP 모형(장철호, 2010) 등이 있다. 본 연구에서는 AR 측정치를 구하는 체계적인 방법으로 AHP 기법을 이용하였고, 가중치의 한계값은 가중치간 비율의 상하한을 제약범위로 산정하였다.

<그림 1> AHP/DEA 통합모형



### Ⅲ. 실증분석

#### 1. 컨테이너터미널 장비현황

컨테이너라는 기본단위로 표준화된 컨테이너터미널의 항만하역시스템은 선박에 대한 수출입 컨테이너를 처리하는 안벽시스템, 이를 적재하기 위해 이동시키는 이송시스템, 이송된 컨테이너를 보관하는 야드시스템, 내륙수송과 연계시키는 게이트시스템 등의 단위시스템들로 구성된 대규모시스템이다(양창호 외, 2004). 단위시스템들은 장비들과 장비들을 운영하는 시스템으로 구성되어 있다. 이러한 단위시스템의 효율성은 컨테이너를 처리하는데 사용되는 C/C, TC, YT, RS 등의 장비 효율성에 의해 직접적으로 영향을 받으므로 이들 장비들의 조합과 운영시스템에 따라 전체 컨테이너터미널의 효율성이 결정된다. 다음은 광양항과 부산항의 컨테이너터미널별 장비보유 현황과 구성비를 정리하였다.

<표 1> 광양항과 부산항의 하역장비 현황

구분	운영사	안벽 길이 (m)	야드 면적 (m <sup>2</sup> )	C/C 장비 수(대)	TC 장비 수(대)	YT 장비 수(대)	RS 장비 수(대)	하역장비 구성비
								CC/TC/YT/RS
광양항	KEC	1,400	841,000	8	16	32	7	1:2:4:0.88
	KIT	1,150	427,737	6	13	29	3	1:2.17:4.83:0.50
	GICT	700	420,000	5	12	23	5	1:2.40:4.60:1
부산항	HBCT	1,447	624,000	14	36	74	18	1:2.57:5.29:1.29
	DPCT	826	294,000	7	16	36	3	1:2.29:5.14:0.43
	KBCT	1,500	1,288,000	15	42	90	18	1:2.80:6:1.20
	UTC	500	182,000	5	13	24	2	1:2.60:4.80:0.40
	감만부두	1,400	727,000	15	42	84	12	1:2.80:5.60:0.80
신항	PNC	2,000	1,354,000	16	52	124	15	1:3.25:7.75:0.94
	PNIT	1,200	840,000	9	28	54	2	1:3.11:6:0.22
	HJNC	1,100	688,000	12	42	96	3	1:3.50:8:0.25
	HPNT	1,150	553,000	11	36	85	3	1:3.27:7.73:0.27

광양항, 부산항 그리고 부산신항 중 PNC의 보유 하역장비가 C/C 16대, TC 52대, YT 124대, RS 15대인 총 207대로 가장 많았다. 부산항 중에는 KBCT의 하역장비가 총 165대로, 광양항 중에서는 KEC의 하역장비가 총 63대로 가장 많았다. 각 컨테이너터미널의 하역시스템 구성비를 보면 C/C대 TC 비율이 가장 높은 터미널은 신항의 HJNC로 1:3.50의 비율을 보이고 있다. C/C대 YT 비율이 가장 높은 터미널은 PNC로 1:7.75의 비율로 나타났고 C/C대 RS 비율이 가장 높은 터미널은 HBCT로 1:1.29로 나타났다.

## 2. 분석자료와 변수선정

DEA 모형을 분석하는데 중요한 문제는 투입변수와 산출변수의 선정이다. 효율성 측정결과가 투입변수와 산출변수의 선택에 따라 전체적으로 크게 상이할 수 있다. DEA 모형에서 변수의 선정에 대한 타당성 검증은 연구자의 자의적 판단에 따른다. 본 연구에서는 컨테이너터미널의 투입자원 중 터미널별 하역장비를 중심으로 컨테이너터미널의 효율성을 비교 평가하기 위하여 투입요소를 터미널의 주요장비인 C/C대수, TC대수, YT대수, RS대수로 하고 산출요소는 화물처리량(TEU)로 선정하였다. DMU가 유사성과 동질성이 클수록 상대적 효율성 측정이 유효하다. 본 연구에서의 DMU는 컨테

이너 야드작업의 동질성이 매우 높고 규격화된 유형의 컨테이너를 동일한 장비를 이용하여 하역작업을 진행하는 광양항과 부산항 그리고 신항의 12개의 컨테이너터미널을 대상으로 2010년 자료를 분석하였다. 실증분석을 위해 사용한 통계소프트웨어는 DEA SOLVER vers3.0을 사용하였고, AHP 기법을 이용한 AR 측정치를 구하기 위해 EXCEL을 사용하였다.

<표 2> 분석에 사용된 변수(투입변수와 산출변수)

투입변수	산출변수
C/C 수, T/C 수, Y/T 수, R/S 수	총 화물처리량(TEU)

### 3. DEA 분석결과

컨테이너터미널의 하역장비 효율성을 CCR-I 모형과 BCC-I 모형을 이용하여 효율성을 분석한 결과를 <표 3>으로 정리하였다. CCR 모형에서는 100% 효율성을 달성한 터미널이 KBCT와 DPCT로 나타났다. 이중 준거집단 출현빈도는 DPCT가 더 높은 것으로 나타났다. BCC 모형에서의 효율성이 100%로 나타난 터미널은 GICT, KBCT, DPCT, UCT, PNC, PNIT로 분석되었다. 규모의 효율성은 CCR 모형으로 평가된 효율성을 BCC 모형으로 평가된 효율성으로 나눈 비율로, 값이 1에 근접할수록 최적 규모에 가까운 것으로 해석할 수 있다. <표 3>에서 제시한 DMU의 규모수익(RTS : Returns to Scale)은 투입량에 비해 산출량의 증가율이 높으면 규모수확증가(IRS : Increasing Return to Scale), 투입량과 산출량이 정비례로 증가하면 규모수확일정(CRS : Constant Return to Scale), 투입량에 비해 산출량의 증가율이 낮으면 규모수확감소(DRS : Decreasing Return to Scale)로 나타난다. 규모수익의 결과를 보면 규모수확증가(IRS)인 터미널은 KIT, GICT, KEC, UCT, PNIT, HPNT이며, 규모수확일정(CRS)인 터미널은 HBCT, KBCT, DPCT, 감만부두로 나타났고, 규모수확감소(DRS)인 터미널은 PNC와 HJHC로 분석되었다. 규모체감인 터미널은 하역장비 운영상의 효율성을 위한 전략이 필요하며, 규모수익체증인 터미널은 장비 확대를 통한 효율성 전략을 수립하는 것이 요구된다.



<표 3> CCR/BCC 분석결과

NO.	DMU	CCR	BCC	규모 효율성	준거집단(Lambda)	RTS
1	KIT	0.6286	0.9740	0.6454	6(0.5064)	Increasing
2	GICT	0.7351	1.0000	0.7351	6(0.4696)	Increasing
3	KEC	0.6410	0.7972	0.8041	6(0.5698)	Increasing
4	HBCT	0.8209	0.8716	0.9418	6(1.3453)	Constant
5	KBCT	1.0000	1.0000	1.0000	5(1.0000)	Constant
6	DPCT	1.0000	1.0000	1.0000	6(1.0000)	Constant
7	UCT	0.7565	1.0000	0.7565	6(0.5043)	Increasing
8	감만부두	0.7009	0.7086	0.9891	5(0.3738), 6(0.7009)	Constant
9	PNC	0.9402	1.0000	0.9402	5(0.1254), 6(1.8804)	Decreasing
10	PNIT	0.6532	1.0000	0.6532	6(0.4355)	Increasing
11	HJHC	0.7772	0.7966	0.9757	5(0.0777), 6(1.1659)	Decreasing
12	HPNT	0.5725	0.6306	0.9078	6(0.7634)	Increasing

#### 4. AHP/DEA 모형 분석결과

##### 1) 투입변수의 AHP 가중치 산정

컨테이너터미널 장비 효율성 측정을 위한 AR 측정치는 투입변수인 C/C, TC, YT, RS의 컨테이너터미널 효율성에 대한 상대적 중요도 평가를 통해 산출하였고, 중요도는 AHP 기법을 통해 분석하였다. 장비간 상대적 중요도 산정을 위해 컨테이너터미널 운영사의 전문가를 대상으로 설문지를 실시하였다. 자료수집은 항목들 간 쌍대비교 설문지를 통해 수행되었다. 설문지는 광양항과 부산항의 운영사에 15부를 배부하여 전체를 회수하였으며, 일관성 검증 확인 결과 최종 10부를 분석에 사용하였다. 분석결과를 보면 장비들 중 컨테이너터미널의 효율성에 가장 중요한 영향을 미치는 변수는 C/C(0.427)으로 나타났으며, 다음으로 TC가 0.272, YT가 0.156, RS가 0.143 순으로 분석되었다.

<표 4> 투입변수 가중치

변수	가중치
C/C	0.427
TC	0.272
YT	0.156
RS	0.143

## 2) DEA-AR 모형의 AR 범위 설정

AHP를 이용한 DEA-AR 모형은 투입 및 산출변수의 AR 가중치에 대하여 전문가의 의견을 DEA 모형에 반영시킬 수 있다. 다만, 다수의 평가자들의 견해가 정확히 일치하기 어렵기 때문에 AHP 가중치 결과를 범위로 표현할 수 있는 AR 모형에 적용함으로써 DEA 모형이 가질 수 있는 가중치의 극단적인 선택을 막을 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 일관성 검증을 통과한 컨테이너터미널 전문가 10명의 설문자료를 대상으로 AR 측정치를 산출하였다. AR의 범위는 변수별로 평가된 가중치를 상호비교하여 최소값을 하한(Lower bound), 최대값을 상한(Upper bound)으로 지정하였다. <표 5>는 AR에 사용되는 가중치의 구간 폭을 결정하기 위해 AHP에 의해 분석된 산출변수들 간의 가중치 비율관계를 나타낸 것이고, 가장 아래에 있는 두 개의 행에 산출된 최소값 및 최대값이 AHP/DEA-AR 분석에서 사용될 가중치의 하한과 상한이 된다.

<표 5> AHP에 의한 변수들간 비율 관계

구분	CC/TC	CC/YT	CC/RS	TC/YT	TC/RS	YT/RS
1	0.480	0.344	0.246	0.716	0.513	0.717
2	0.494	0.389	0.459	0.787	0.929	1.181
3	1.220	0.605	0.360	0.496	0.295	0.595
4	0.869	0.469	0.343	0.540	0.395	0.731
5	0.710	0.426	0.426	0.599	0.599	1.000
6	0.586	0.452	0.452	0.541	0.541	1.000
7	0.587	0.394	0.394	0.672	0.672	1.000
8	0.443	0.204	0.204	0.460	0.460	1.000
9	0.530	0.322	0.355	0.608	0.671	1.103
10	0.475	0.287	0.287	0.603	0.603	1.000
최소값(AR하한)	0.443	0.204	0.204	0.460	0.295	0.595
최대값(AR상한)	1.220	0.605	0.459	0.787	0.929	1.181

3) AHP/DEA-AR 분석결과

컨테이너터미널의 장비 효율성을 AR 측정치를 적용한 DEA-AR 모형을 이용하여 분석한 결과를 <표 6>로 정리하였다. DEA-AR 모형에서 장비 효율성 100%로 달성한 터미널은 DPCT로 나타났고, 다음으로 KBCT(0.8448), UCT(0.7307), HBCT(0.6982) 순으로 나타났고, 준거집단은 DPCT로 고정되었다.

<표 6> DEA-AR 모형 분석결과

NO.	DMU	DEA-AR	순위	준거집단(Lambda)
1	KIT	0.6185	8	DMU6 (0.5064)
2	GICT	0.6750	5	DMU6 (0.4696)
3	KEC	0.5963	9	DMU6 (0.5698)
4	HBCT	0.6982	4	DMU6 (1.3453)
5	KBCT	0.8448	2	DMU6 (2.2088)
6	DPCT	1.0000	1	DMU6 (1.0000)
7	UCT	0.7307	3	DMU6 (0.5043)
8	감만부두	0.6221	7	DMU6 (1.5266)
9	PNC	0.6639	6	DMU6 (2.1573)
10	PNIT	0.2982	12	DMU6 (0.4355)
11	HJHC	0.5305	10	DMU6 (1.3375)
12	HPNT	0.3495	11	DMU6 (0.7634)

CCR 모형과 BCC 모형에서는 최적의 효율성을 가지는 DMU간의 순위를 변별할 수 없었으나 DEA-AR 모형에서는 CCR 모형에서의 최적의 효율성을 가진 DMU의 순위를 부여할 수 있었다. 이는 전문가의견을 통한 변수들간의 중요도 가중치를 적용한 AHP/DEA 통합모형이 전통적인 CCR 모형과 BCC 모형에 비해 변수들간의 상대적 중요성을 효율성 평가에 반영할 수 있고, 효율적인 DMU를 평가 변별력을 높이는데 유용한 모형인 것으로 판단된다. <표 7>은 각 DMU별로 4가지 DEA 모형을 적용한 효율성 결과를 비교한 것으로, DEA-AR 모형의 분석결과에 대한 평가를 위해 DEA-Super-efficiency 분석을 추가로 수행하여 비교하였다. DEA-CCR, DEA-BCC, DEA-Super-efficiency 모형의 경우 효율적인 컨테이너터미널로 효율성 값이 1이상인 터미널의 개수가 2개부터 5개까지 산출되었다. 반면, AHP/DEA-AR 모형에서는 효율적으로 선정된 터미널은 1개만 도출되었다. 또한 AHP/DEA-AR 모형에서 효율성 값이 1로서 최고 효율성을 보여준 DPCT 터미널이 DEA-Super-efficiency 모형에서는 1을 초과하는 가장 높은 1.3497의 효율성 값을 가지는 것으로 평가되므로 AHP/DEA-AR

모형에서의 최고 효율성을 가진 DMU가 다른 모형에서도 최고 효율성을 가진 DMU로 평가됨을 확인할 수 있다.

<표 7> DEA 모형별 분석결과 비교

NO.	DMU	CCR	순위	BCC	순위	초효율성	순위	DEA-AR	순위
1	KIT	0.6286	11	0.9740	7	0.5872	7	0.6185	8
2	GICT	0.7351	7	1.0000	1	0.5927	6	0.6750	5
3	KEC	0.6410	10	0.7972	9	0.5128	10	0.5963	9
4	HBCT	0.8209	4	0.8716	8	0.5871	8	0.6982	4
5	KBCT	1.0000	1	1.0000	1	1.0077	2	0.8448	2
6	DPCT	1.0000	1	1.0000	1	1.3497	1	1.0000	1
7	UCT	0.7565	6	1.0000	1	0.7099	4	0.7307	3
8	감만부두	0.7009	8	0.7086	11	0.5825	9	0.6221	7
9	PNC	0.9402	3	1.0000	1	0.7607	3	0.6639	6
10	PNIT	0.6532	9	1.0000	1	0.3674	12	0.2982	12
11	HJHC	0.7772	5	0.7966	10	0.6150	5	0.5305	10
12	HPNT	0.5725	12	0.6306	12	0.4302	11	0.3495	11

#### IV. 결론

본 연구는 컨테이너터미널 장비의 효율성을 평가하기 위해 AHP와 DEA를 통합한 모형을 적용하였다. 연구에서 제안한 AHP/DEA-AR 모형은 기존의 일반적인 모형과는 달리 전문가의 의견을 통한 정성적 데이터와 정량적 데이터를 통합하여 효율성을 분석할 수 있는 방법이다. 기존의 항만 및 컨테이너터미널의 효율성 평가에 사용되었던 DEA, 또는 DEA 응용모형에 비해 최고의 효율성을 가지는 컨테이너터미널을 선정하는데 있어 유연하고, 우수한 능력이 있음을 분석결과의 비교를 통해 알 수 있었다.

DEA 모형의 분석결과를 보면 CCR 모형에서는 하역장비 효율성을 100% 달성한 터미널이 KBCT와 DPCT로 나타났고, BCC 모형에서는 효율성이 100%로 나타난 터미널은 GICT, KBCT, DPCT, UCT, PNC, PNIT로 분석되었다. 규모수익의 결과를 보면 규모수확증가(IRS)인 터미널은 KIT, GICT, KEC, UCT, PNIT, HPNT이며, 규모수확일정(CRS)인 터미널은 HBCT, KBCT, DPCT, 감만부두로 나타났고, 규모수확감소(DRS)인 터미널은 PNC와 HJHC로 나타났다.

DEA-AR 모형의 AR 측정치를 도출하기 위해 투입변수인 C/C, TC, YT, RS가 컨테

이 터미널 효율성 미치는 영향에 대한 상대적 중요도를 AHP 기법을 통해 분석하였다. 분석과를 보면 장비들 중 컨테이너터미널의 효율성에 가장 중요한 영향을 미치는 변수는 C/C(0.427)으로 나타났으며, 다음으로 TC가 0.272, YT가 0.156, RS가 0.143 순으로 분석되었다. AR의 범위는 변수별로 평가된 가중치를 상호비교 하여 최소값을 하한, 최대값을 상한으로 지정하여 DEA-AR 모형에 적용하였다. DEA-AR 모형의 분석결과 하역장비 효율성을 100% 달성한 터미널은 DPCT로 나타났고, 상대적으로 부산항 컨테이너터미널들의 장비 효율성이 높은 것으로 분석되었다.

본 연구는 컨테이너터미널의 효율성을 평가하기 위하여 새로운 통합모형을 적용했는데 의의가 있지만, 터미널의 장비효율성을 평가하기 위한 다양한 투입변수와 산출변수를 제시하여 분석할 수 없었다는 점이 한계점으로 남아 있다. 향후에는 본 연구의 AHP/DEA 통합모형을 이용하여 항만과 컨테이너터미널의 효율성을 평가하는 데 복합적이고 정성적인 변수를 객관적인 데이터로 변환하여 분석하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 김건위 · 이혜영 · 박해육, “DEA/AHP 모형을 통한 행정조직의 상대적 효율성 평가”, 『지방정부연구』, 제8권 제4호, 2004, 299-316.
- 김준범 · 김우재 · 조남욱, “DEA와 AHP 모형을 이용한 제조공정들 간 효율성 평가”, 『IE Interfaces』, 제21권 제3호, 2008, 302-311.
- 나호수 · 이우 · 이경수, “한국5대 항만의 효율성에 대한 비교연구”, 『한국항만경제학회지』, 제24권 제4호, 2008, 25-46.
- 모수원, “국내항만의 효율성결정요소”, 『한국항만경제학회지』, 제24권 제4호, 2008, 349-361.
- 박노경, “컨테이너항만의 경쟁력 측정방법 : DEA와 퍼지 평가법 접근”, 『무역연구』, 제6권 제2호, 2010, 155-169.
- 손용정, “세계 주요 컨테이너항만의 효율성 비교 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제26권 제1호, 2010, 131-143.
- 심광식, “DEA 모형에서 회귀분석을 이용한 AR결정 및 적용성 연구”, 전남대학교, 박사학위논문, 2011.
- 양창호 · 최용석 · 최상희 · 최종희, “결합생산성 분석방법을 통한 항만시스템 취급능력 향상방안”, 한국해양수산개발원, 2004.
- 임호순 · 유석천 · 김연성, “연구개발사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP 통합모형에 관한 연구”, 『한국경영과학회지』, 제24권 제4호, 1999, 1-12.
- 장철호, “Clustering DEA/AHP 모형을 이용한 전국 공공도서관 효율성 평가”, 『한국도서관·정보학회지』, 제40권 제2호, 2009, 491-514.
- 장현덕 · 이장희, “AHP와 DEA 활용을 통한 효율적인 유망기술 선정”, 『한국기업경영학회』, 제18권 제2호, 2011, 67-85.
- A. Charnes, W. W. Cooper, and E. L. Rhodes, “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European Journal of Operational Research*, 2, 1978, 429-444.
- Allen, R., Athanassopoulos, A. D., Dyson, R. G., Thanassoulis, E., “Weights Restriction and Value Judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, Development and Future Directions,” *Annals of Operation Research*, 73, 1997, 13-34.
- Banker, R. D., A. Charnes, and W. W. Cooper, “Some Models Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, 30, 1984, 1078-1092.
- Charnes, A, Cooper, W. W., Huang, Z. M., “Polyhedral Cone-Ratio DEA Models with an Illustrative Application to Larage Commercial Banks,” *Journal of Econometrics*, 46, 1990, 73-91.

- Min, H. and Park, B-I., "Evaluating The Inter-Temporal Efficiency Trends of International Container Terminals Using Data Envelopment Analysis", *International Journal of Integrated Supply Management*, Vol.1 No.3, 2005, 258-277.
- Rios, L. R. and A. C. G. Macada, "Analysing the Relative Efficiency of Container Terminals of Mercosur using DEA," *Maritime Economics & Logistics*, Vol.8, 2006, 331-346.
- Satty, Tomas. L., "The Analytic Hierarchy Process," New York, McGraw-Hill, 1980.
- Shih-Liang Chao, Yu-Jr Lin, "Evaluating Advanced Quay Cranes in Container Terminals," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47, 2011, 432-445.
- Thompson, R. G., L. N. Langemeier, C. T. Lee, E. Lee, R. M. Thrall, "The role of Multiplier Bounds in Efficiency Analysis with Application to Kansas Farming," *Journal of Econometrics*, 46, 1990, 93-108
- Wang, T. F., Cullinane, K. and Song, D. W., "Container port production efficiency: A Comparative Study of DEA and FDH approaches," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5, 2003, 698-713.

국문요약

## 컨테이너터미널 효율성 평가를 위한 AHP/DEA 통합모형

김선구 · 최용석

본 연구는 컨테이너터미널의 서비스 투입자원 중 장비를 중심으로 컨테이너터미널의 효율성 비교 평가하기 위해 DEA와 AHP 기법을 혼합한 AHP/DEA 통합모형을 적용하였다. 분석은 광양항(GICT, KEC, KIT), 부산항(HBCT, KBCT, DPCT, UTC, 감만부두) 그리고 부산신항(PNC, PNIT, HJNC, HPNT)의 12개 운영사를 대상으로 하였다. 제안된 AHP/DEA 통합모형은 DEA 모형의 가중치간의 불균형으로 인하여 잘못 평가된 DMU 발생가능성과 효율적인 DMU간의 우열에 대한 변별의 어려움을 극복하기 위해 DEA-AR(Assurance Region)모형을 적용하였고, DEA-AR모형의 가중치 범위를 산출하기 위해 전문가의 의견을 객관적인 가중치로 변환할 수 있는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 방법론을 사용하였다. 연구모형의 투입변수는 C/C 수, TC 수, YT 수, RS 수로 하였고 산출변수는 컨테이너 물동량으로 하였다.

연구결과 AHP/DEA 통합모형은 기존의 항만 및 컨테이너터미널의 효율성 평가에 사용되었던 DEA, 또는 DEA 응용모형에 비해 최고의 효율성을 가지는 컨테이너터미널을 선정에 있어 유연하고, 우수한 능력이 있음을 분석결과의 비교를 통해 알 수 있었다. 분석결과를 보면 하역장비 효율성이 100%로 달성한 터미널은 DPCT로 나타났고, 상대적으로 부산항 터미널들의 장비 효율성이 높은 것으로 분석되었다.

**핵심 주제어** : AHP/DEA 통합모형, AHP, DEA-AR, 컨테이너터미널, 장비, 효율성