

다중회귀분석을 이용한 AHP/DEA-AR 항만효율성 측정결과의 실증적 검증소고*

박노경**

A Brief Empirical Verification Using Multiple Regression Analysis on the Measurement Results of Seaport Efficiency of AHP/DEA-AR

Ro-kyung Park

Abstract

The purpose of this study is to investigate the empirical results of Analytic Hierarchy Process/Data Envelopment Analysis-Assurance Region(AHP/DEA-AR) by using multiple regression analysis during the period of 2009-2012 with 5 inputs (number of gantry cranes, number of berth, berth length, terminal yard, and mean depth) and 2 outputs (container TEU, and number of direct calling shipping companies). Assurance Region(AR) is the most important tool to measure the efficiency of seaports, because individual seaports are characterized in terms of inputs and outputs. Traditional AHP and multiple regression analysis techniques have been used for measuring the AR. However, few previous studies exist in the field of seaport efficiency measurement.

The main empirical results of this study are as follows. First, the efficiency ranking comparison between the two models (AHP/DEA-AR and multiple regression) using the Wilcoxon signed-rank test and Mann-Whitney signed-rank sum test were matched with the average level of 84.5 % and 96.3% respectively. When data for four years are used, the ratios of the significant probability are decreased to 61.4% and 92.5%. The policy implication of this study is that the policy planners of Korean port should introduce AHP/DEA-AR and multiple regression analysis when they measure the seaport efficiency and consider the port investment for enhancing the efficiency of inputs and outputs. The next study will deal with the subjects introducing the Fuzzy method, non-radial DEA, and the mixed analysis between AHP/DEA-AR and multiple regression analysis.

Key words: AHP/DEA-AR, Multiple regression analysis, Seaport efficiency, DEA

▷ 논문접수: 2016. 10. 25. ▷ 심사완료: 2016. 11. 24. ▷ 게재확정: 2016. 12. 22.

* 본 논문은 2016년 7월22일 부산무역회관 대강당에서 개최된 한국항만경제학회 하계학술대회에서 발표된 논문을 수정보완하였음. 유익한 충고를 해 주신 백대영교수님, 여기태교수님, 익명의 심사자 분들께 감사의 말씀을 드립니다. 다중회귀분석에 대한 내용(심광식·김재윤(2012))에 대해서 논문의 인용허락과 논문파일을 제공해 주신 심광식박사님께 감사의 말씀을 드립니다. "이 논문은 2016학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음."

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

I. 서론

전 세계적으로 항만의 역할이 중요해짐에 따라 항만들 사이의 국제경쟁력을 측정하면서 자료 포괄분석(DEA, Data Envelopment Analysis, 이하 DEA라 칭함)을 이용한 연구가 활발하게 발표되고 있다. 특히 DEA기법들 중에서 항만효율성을 측정하기 위한 확신영역(AR, Assurance Region, 이하 AR이라 칭함)을 결정하기 위해서 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 사용하거나, AHP (Analytic Hierarchy Process, 계층분석기법, 이하 AHP라 칭함)를 사용한 연구가 많이 발표되고 있다. 왜냐하면, 두 가지 모형은 투입요소와 산출요소의 가중치를 결정하면서, AHP법에서는 전문가 집단의 주관적인 판단에 따른 설문지 결과에 의해서 가중치를 결정하고, 다중회귀분석은 산출요소를 종속변수로 하고, 투입변수를 집단, 또는 개별적으로 독립변수로 하여 회귀분석결과를 이용하기 때문이다. 두 가지 모형은 각각 장단점이 있기 때문에 병행해서 사용하는 것이 가장 적합할 것으로 판단된다. 그러나 항만분야에서 두 가지 기법의 적용에 대해서 실증적으로 검증한 연구는 국내외에서 극히 드물기 때문에 본 연구는 반드시 필요하다. [두 가지 측정방법의 필요성 및 자세한 내용은 심광식(2015: 25-46)].

본 연구는 다음과 같은 내용을 연구의 목적 및 주요한 주제로 한다.

첫째, 현재 가장 많이 이용되고 있는 AR가중치를 부여하는 방법은 다중회귀분석방법과 전문가들이 평가하는 AHP방법에 의해서 도출된 가중치를 적용하는 방법이 있다. 그 동안 두 가지 방법은 각각 개별적으로 이용되어 왔으나 동일한 자료를 이용하여 두 가지 방법을 함께 측정한 연구는 거의 없으므로, 본 연구에서는 동일한 자료를 이용하여 두 가지 모형에 대해서 측정한 결과를 효율성 순위측면에 초점을 두어 비교분석한다.

둘째, 기존의 AHP/DEA-AR로 측정한 연구결과에 의한 효율성 순위가 다중회귀분석을 통하여 가중치를 부여한 AR분석결과와 어느 정도로 차이점을 보이는지 실증적으로 검증함으로써 항만분야의 국내외 기존연구의 한계를 극복할 수 있을 것으로 확신한다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서 II장에서는 AHP나 다중회귀분석을 이용하여 AR을 다룬 국내외 연구들에 대하여 학자별로 간략하게 검토하고 그러한 연구들의 한계점과 함께 본 연구의 핵심을 제시하며, III장에서는 AHP모형과 다중회귀모형을 이용하여 컨테이너항만들에 대하여 실증적으로 적용하며, 과연 어떤 측정방법이 더 우월한 것인지를 검증한다. IV장에서는 요약, 정책적 함의, 결론이 제시된다.

II. 기존연구에 대한 검토 및 한계점

1. 항만분야에서 AHP와 AR가중치를 이용한 기존연구에 대한 검토

첫째, 항만분야에서 AHP/DEA모형을 이용하여 효율성을 측정한 연구는 김선구·최용석(2012a), 김선구·최용석(2012b)이 있다. 김선구·최용석(2012a)은 국내 12개 컨테이너터미널을 대상으로 투입요소(C/C대수, TC대수, YT대수, RS대수), 산출요소(화물처리량, TEU)를 이용하고, AHP법을 도입하여, AR모형의 효율성에 가장 크게 영향을 미친 요소들은 C/C(0.427), TC(0.272), YT(0.156), RS(0.143)의 순서임을 밝혀내었다. 김선구·최용석(2012b)은 부산, 인천, 광양에 소재하는 10개 운영사를 대상으로 투입요소(장비기사인원 수, 플래너 인원수, 신호수 인원수, 언더포텐 인원수), 산출요소(총선석 생산성, 연간 총화물처리량)를 이용하여 컨테이너터미널 인력구성의 효율성을 평가하였다. 분석결과 AHP/DEA모형이 기존의 DEA방법에 비해서 최고

의 효율성을 갖는 컨테이너터미널 선정에 있어서 유연하고 우수한 능력이 있음을 밝혀내었다.

둘째, AHP/DEA-AR모형을 이용한 연구는 권아림(2015), 이충배외 3인(2015)이 있다. 권아림(2015)은 동북아시아에 소재하는 한국, 중국, 일본의 24개 항만을 대상으로 투입요소(터미널 면적, 겐트리 크레인 수, 선석 수, 총 선석길이, 평균수심)와 산출요소(컨테이너 물동량, 직기항선사수)를 이용하여 기본 DEA 모형, AHP/DEA-AR모형으로 효율성을 측정하고, 경쟁력을 표시하는 직기항선 매트릭스에 위치하는 항만들의 상황을 설명하였다. 이충배외 3인(2015)은 권아림(2015)의 논문을 대폭 축약한 논문이다. AHP/DEA-AR 방법을 공항의 효율성측정에 이용한 최근 국외연구는 Lai, Potter, Beynon, and Beresford(2015)가 있다. 그들은 6개의 투입요소(직원 수, 게이트 수, 활주로 수, 터미널 면적 크기, 활주로 길이, 운용비용), 4개의 산출요소(탑승객 수, 화물과 메일 량, 항공기 이착륙 수, 총 수입)와 유럽 12개, 아시아태평양 12개의 공항을 소유형태별로 구분하여 AHP법을 이용하여 AR를 결정하고 효율성을 측정하였다.

셋째, DEA-AR분석방법으로 철도 컨테이너 화물역의 효율성을 측정한 연구로는 안치원·하헌구(2009)가 있다. 그들은 2002년-2007년까지 24개의 컨테이너화물역을 대상으로 투입요소(노동인원, CY 전체 면적, 선로길이), 산출요소(연간수송톤수, CY 사용면적)를 이용하여 AR모형을 도입하여 효율성을 측정하였다. AR모형을 도입하기 위해서 AHP법을 사용했는지의 여부는 논문에서 밝히지 않고 있다.

넷째, 기존연구들에 대한 자세한 검토는 AHP[권아림(2015: 46-50)], AHP/DEA-AR[권아림(2015: 50-53)], DEA-AR[심광식(2011: 36-39)]에 제시되어 있다.

2. 다중회귀분석과 AR가중치를 이용한 기존연구에 대한 검토

항만분야에서 다중회귀분석을 이용하여 AR가중치를 적출해 낸 연구는 거의 전무하다. 타 분야에

서는 심광식(2011), 심광식·김재윤(2012)이 있다. 심광식(2011)은 2008년 13개 지방도시개발공사를 대상으로 투입요소(직원,사업예산, 자산), 산출요소(경상이익, 직원1인당 당기순이익)를 이용하여 AHP를 이용한 AR분석으로 효율성을 측정하고 비교하였다. 또한 2006년부터 2008년까지 15개의 지하철공사를 대상으로 투입요소(차량수, 노동력, 운영역), 산출요소(수송인원, 운수수익)를 이용하여 다중회귀분석방법으로 AR을 적출하여 효율성을 측정하고 AHP법과 다중회귀분석법에 의한 효율성 측정결과의 순위에 대해서 Mann-Whitney 순위 합 검정방법으로 검증하였다. 양 기법에 의한 순위에 큰 차이가 없음을 도출하였다. 심광식·김재윤(2012)은 심광식(2011)의 일부(도시개발공사의 예)를 축약하여 발표하였다.

3. 기존연구의 한계점

첫째, 항만분야에서는 AHP기법을 DEA효율성 측정 시 확신영역(AR)을 적용한 연구가 많지 않다.

둘째, 항만분야에서는 AHP/DEA-AR에 의한 효율성 측정결과가 또한 AR적출방법인 다중회귀분석방법에 의한 측정결과와 효율성 순위 면에서 어떤 차이를 보이는 지에 대하여 실증적으로 검증한 연구는 거의 전무하다.

III. 다중회귀분석모형을 통한 AHP/DEA-AR 모형에 의한 효율성 측정결과의 실증적 검증

1. AR, AHP, AHP/DEA-AR모형과 다중회귀분석 모형에 대한 이론적 접근

(1) DEA-AR모형

DEA-AR모형은 Thompson *et al.*(1990)에 의해서 제시된 모형으로 기존 DEA 모형의 단점을 보

완한 모형이라고 할 수 있다. DEA의 가장 큰 특징은 평가항목들의 가중치에 대한 정보가 필요하지 않다는 점이다. 그러나 때로는 이러한 점이 DEA 모형의 단점으로 작용하기도 한다. 기본모형에서 극단적인 가중치의 선택으로 인한 모형의 단점을 보완하고자 가중치의 범위에 관한 정보를 얻을 수 있는 경우 이를 반영하기 위한 수단으로 DEA-AR 모형이 제시되었다. 기본모형의 단점을 극복한 DEA-AR 모형은 일반적인 DEA 모형에 투입변수와 산출변수의 가중치가 존재해야하는 범위에 관한 제약식을 추가해주는 모형이다. 식 (1)은 DEA-AR 승수모형으로 DMU의 투입 및 산출 가중치인 v_r 와 u_r 의 범위 제약이 있다는 것이 특징이다. 식에서 OU_r 과 OL_r 은 산출변수 가중치의 상한 및 하한을, IU_r 와 IL_r 은 투입변수 가중치의 상한 및 하한을 나타낸다. [심광식 · 김재운(2012: 31)].

$$\text{Maximize } \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \quad (식1)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

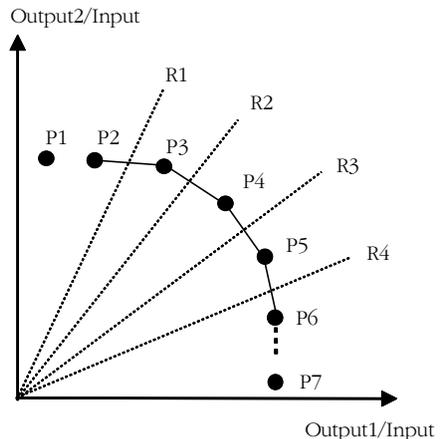
$$u_1 > 0, v_1 > 0$$

$$OL_r u_1 \leq u_r \leq OU_r u_1, IL_i v_1 \leq v_i \leq IU_i v_1$$

$$r = 2, 3, \dots, s; i = 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

[그림 1]은 DEA-AR 모형의 예를 2차원 평면상에서 도시한 것이다. 만약 투입변수는 1개이고, 산출변수는 2개 존재하며 각 DMU의 평면상 위치가 그림의 점들과 같이 주어져 있다면, 효율성 조건을 만족시키는 DMU는 P2, P3, P4, P5, P6로 표시되는 5개의 점이다. 이 경우 투입변수는 하나라고 가정하였으므로 산출변수의 가중치 OU_r 과 OL_r 만을 고려하면 된다. 산출변수간 가중치의 범위는 중요도에 따라 원점을 통과하는 방사선(ray)으로

표시할 수 있다. 이 방사선들이 AR을 정의하게 되는데 예를 들어 AR의 범위를 R1~R4 내부에서 형성되는 지역으로 선택하면 효율적 DMU는 P3, P4, P5 로 줄어들게 되고, AR의 범위를 더 좁혀 R2~R3 내부의 지역으로 선택하면 효율적인 DMU는 P4만 된다. AR의 탐색은 가장 외곽의 방사선으로부터 시작하여 방사선들의 중앙값(median)까지 좁혀질 수 있으므로 DMU들의 변별력을 높여 효율적 DMU를 새롭게 구할 수 있다는 장점이 있다. [심광식 · 김재운(2012: 31)].



[그림 1] DEA-AR 모형의 도해

(2) AHP모형에 대한 이론적 접근

AHP(Analytic Hierarchy Process)모형은 다기준 의사결정 방법으로 Thomas Saaty(1972)에 의해 개발되었으며, 상충하는 다수의 의사결정 문제점을 해결하기 위한 분석의 틀을 제공한다. 즉 요소간의 쌍대비교를 통해 각 대안들의 중요도를 산출하는 기법이라고 할 수 있다. 의사결정은 개인의 주관적인 판단이 들어가 있어, 이것을 계량화하기에는 다소 어려움이 존재한다. 이러한 문제들을 AHP 모형을 통한 쌍대비교로 해결할 수 있기 때문에 정책적인 대안 분석 및 선정, 전략적 의사결정의

문제, 입지선정, 성과분석, 경제성 분석 등의 다양한 분야에서 AHP 모형이 사용되고 있다.[이충배 외3인(2015: 279-280)].

(3) AHP/DEA-AR통합모형

주관적인 판단이 들어가 있어, 각 모형의 단점을 극복하기 위한 방안으로 많은 국내외의 연구자들이 AHP와 DEA를 통합하여 사용하였다. 대부분의 AHP/DEA 통합 모형들은 다음과 같은 세 가지의 형태를 보인다. 첫째, AHP 분석을 이용하여 DEA 모형의 투입변수와 산출변수를 선정한다. 둘째, DEA를 통해 비교행렬(Comparison matrix)을 도출하고, 이것을 AHP 모형을 이용해 대안의 순위를 도출한다. 셋째, AHP 분석을 통해서 산출되는 값들을 DEA 분석에서 가중치를 제약하는 값으로 활용한다. 본 연구에서는 위의 AHP/DEA 통합 모형 중 세 번째 모형을 통해, 가중치 구간의 폭을 제한하여 효율적인 DMU의 숫자를 조정하고자 한다.[이충배 외3인(2015: 279-280)].

(4) 다중회귀분석 모형에 대한 이론적 접근

1) 개요

본 연구에서는 두 개의 산출요소와 5개의 투입요소를 이용하여 분석하지만, 이해를 돕기 위해서 다중투입변수, 단일산출변수인 DEA-AR 모형에서 투입변수의 가중치 설정방법을 제시해 보면 다음과 같다. 다중회귀분석에서 독립변수의 회귀계수는 다른 독립변수의 값이 고정되어 있을 때 해당 독립변수가 한 단위 증가하였을 경우 종속변수가 얼마만큼 증가하는가를 나타내는 것이다. 즉, 회귀계수는 해당 독립변수의 종속변수에 대한 영향력으로 회귀계수가 크다면 영향력이 크다고 할 수 있다. 따라서 여러 독립변수의 회귀계수들 간 비율(회귀계수비율)은 독립변수 간 종속변수에 대한 상대적 영향력에 대한 비율로 생각할 수 있다.

2) 본 연구에서 사용 할 회귀분석모형과 유사한 분석모형

본 연구에서는 2개의 산출요소와 5개의 투입요소를 이용하지만, 이해의 편의를 위해서 1개의 산출요소와 3개의 투입요소를 제시하여 설명하고자 한다. 즉, 다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형의 개념을 예제로 설명하고자 한다. <표 1>은 DEA 분석 대상이 되는 DMU 별 투입 및 산출변수를 나타낸 예이다. <표 1>에 제시된 투입변수(x_1, x_2, x_3)와 산출변수(y)는 각각 다중회귀분석의 대상인 독립변수와 종속변수라고도 볼 수 있다. [심광식, 김윤배(2012: 33-35)].

독립변수와 종속변수간의 관계를 선형으로 가정하고, 3개의 투입변수 x_1, x_2, x_3 와 1개의 산출변수 y 간 표본회귀선을 구하면 식 (5)와 같다. 여기서 x_1 의 회귀계수의 절대값 124는 x_2, x_3 의 값이 고정되어 있을 때 x_1 이 한 단위 증가 또는 감소함에 따른 y 의 변화를 나타내며, 반대로 x_2 의 회귀계수 333은 x_1, x_3 가 고정되어 있을 때 x_2 의 증감에 따른 y 의 변화를 의미한다. 이때, 회귀계수의 절대값은 투입(독립)변수의 증감에 따른 산출(종속)변수의 변화 정도를, 회귀계수의 부호는 투입(독립)변수의 증감에 따른 산출(종속)변수의 변화 방향을 나타낸다.

표 1. DEA 분석을 위한 투입 · 산출변수 예

DMU	투입변수			산출변수
	x^1	x^2	x^3	y
1	1,423	6,426	148	760,966
2	500	2,043	22	75,920
3	425	1,396	30	23,086
4	3,542	6,728	115	880,521
5	3,100	6,565	148	302,025
6	725	1,143	22	74,306
7	652	1,397	30	26,169

$$\hat{Y} = -170,307 - 124x_1 + 333x_2 - 7668x_3,$$

$$R^2 = 84.5\% \quad (5)$$

x1에 대한 x2의 가중치 비율을 v_2/v_1 라 하고 x1에 대한 x3의 가중치 비율은 v_3/v_1 라 하자. 제 3장 1절에서 변수의 가중치를 본 논문에서는 다중 회귀분석의 회귀계수를 이용한다고 하였다. 식 (5)에서 투입변수 x1, x2의 산출변수 y에 대한 회귀계수비율의 절대값은 2.6855(=333/124)이고 변수 x1, x3의 산출변수 y에 대한 회귀계수비율의 절대값은 61.8387(=7668/124)이다. 회귀선의 회귀결정계수 R²이 84.5%라면 식 (3)에서 설명하였듯이 15.5%(=1-84.5%)의 비율오차 E가 발생하게 된다. x1에 대한 x2의 회귀계수비율의 비율오차 E는 $2.6855 \times 15.5\% = 0.4163$ 이고 x1에 대한 x3의 회귀계수비율의 비율오차 E는 $61.8387 \times 15.5\% = 9.5850$ 이다. 비율오차 E가 계산되었다면 x1, x2의 회귀계수비율의 범위는 식 (4)와 같은 방법으로 $2.6855 - 0.4163 \leq v_2/v_1 \leq 2.6855 + 0.4163$ 이 되며 x1, x3의 회귀계수비율의 범위는 $61.8387 - 9.5850 \leq v_3/v_1 \leq 61.8387 + 9.5850$ 이다. 이렇게 구한 회

귀계수비율의 범위는 투입변수들간의 가중치의 범위로 사용되며, 이중 최대값과 최소값을 AR 범위 지정시 상한과 하한으로 사용하여 효율성 값을 구하게 된다. 회귀계수비율의 분자와 분모를 바꾸어 가중치 제약을 하더라도 DEA-AR 효율성 값은 동일하게 나온다.

2. AHP/DEA-AR모형과 다중회귀분석 모형의 장점과 단점

AHP/DEA-AR모형과 다중회귀분석 모형의 장점과 단점은 <표 2>에 제시하고자 한다. 장점과 단점의 내용은 권아림(2015: 39-40)에서 인용하고, 저자가 세부적인 설명을 추가하였다.

3. AHP/DEA-AR모형과 다중회귀분석 모형을 이용한 컨테이너항만 들의 효율성 측정 및 검증분석

- 1) 분석대상의 모형, 대상기간, 투입-산출요소 및 단위, 대상항만 수, 실증분석방법
- 분석모형, 대상기간, 투입-산출요소, 대상항만 수

표 2. AHP/DEA-AR모형과 다중회귀분석 모형의 장점과 단점

모형/구분	장점	단점
AHP/DEA-AR 모형	<ul style="list-style-type: none"> · 상충하는 다수의 의사결정문제점을 해결하기 위한 분석의 틀을 제공하며, 목표들 사이의 중요도를 계층적으로 나누어서 파악하여 각 대안들의 중요도를 산출하는 기법 · 검증하기 곤란한 정보와 계량화하기 힘든 정보들을 쌍대비교를 통해서 해결. · 계층구조로 이루어져 있으므로 문제해결의 접근방법이 쉽기 때문에 수정이 용이한 융통성 있는 모형 	<ul style="list-style-type: none"> · 설문지 작성, 배포, 수집에 시간과 비용이 소요됨. · 설문응답자가 성실하게 답변하지 않을 가능성도 있음.
다중회귀분석 모형	<ul style="list-style-type: none"> · 설문지 작성 및 수집 등과 관련된 노력이 불필요함. · 범위를 지정함에 있어서 설득력이 있음. · 회귀계수와 회귀결정계수가 갖는 의미를 이용하여 가중치 제약을 하기 때문에 의미가 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> · 이원비교는 평가기준 간의 가중치의 산출과 대안들의 상대적인 선호도 측정을 위해서 수행되어야 하는데, 이것은 평가기준 및 비교대안의 수가 삭제되거나 추가될 때마다 다시 수행해야만 함. · 비교대상의 수가 증가함에 따라서 의사결정자가 판단해야하는 평가횟수가 급증하게 됨.

15.지룽	0,763	0,791	18	19	0,658	0,685	21	21	0,695	0,721	19	20	0,590	0,600	20	20
16.나고야	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17.고베	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,882	0,900	11	14
18.오사카	0,560	0,560	22	22	0,616	0,616	22	22	0,667	0,681	20	22	0,633	0,659	18	19
19.난징	0,667	0,690	21	21	0,667	0,706	20	20	0,970	1	14	1	0,777	0,954	16	12
20.광양	0,839	0,862	15	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21.인천	0,263	0,283	24	24	0,308	0,326	24	24	0,336	0,338	24	24	0,250	0,261	14	24
22.엔타이	0,714	0,816	19	17	0,679	0,785	18	18	0,653	0,772	21	18	0,518	0,586	21	21
23.푸저우	0,712	0,776	20	20	0,675	0,734	19	19	0,647	0,703	22	21	0,451	0,479	23	23
24.타이중	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,603	1	19	1

3) AHP/DEA-AR 모형을 이용한 투입지향모형 (규모수확불변 및 가변모형)에 대한 효율성순위결과

AHP/DEA-AR모형을 이용한 투입지향모형(규모수확불변 및 가변모형)에 대한 효율성 측정결과는 <표 5>에 제시하였다.[권아림(2015: 75-76)에서 인용함]. 여기서 주목할 만한 사항은 <표 4>에 제시된 효율적이거나, 효율성이 높은 항만 들(예: 상하

이, 홍콩, 광저우, 대련, 요코하마, 나고야, 고베, 광양, 타이중)의 AHP/DEA-AR모형의 효율성 순위는 낮게 나타났으며, <표 4>에서의 효율성 순위는 낮으나, AHP/DEA-AR모형의 효율성 순위는 높게 나타난 항만 들(샤먼, 광양, 인천 등)이 있었다. 그 이유는 AHP법의 정성적인 부분이 반영된 것으로 추정된다.

표 5. AHP/DEA-AR모형(투입지향 규모수확불변)을 이용한 효율성 측정결과 순위

항만번호	항만명	2009년 순위	2010년 순위	2011년 순위	2012년 순위	평균순위	조정순위	비고
1	상하이	13	13	13	14	13.25	13	
2	홍콩	7	7	6	13	8.25	8	
3	부산	14	12	12	10	12	12	
4	닝보	3	2	7	6	4.5	4	
5	광저우	15	15	15	15	15	15	
6	칭다오	6	5	4	5	5	5	
7	톈진	8	9	9	9	8.75	9	
8	카오슝	9	8	8	7	8	7	
9	대련	17	16	14	11	14.5	14	
10	샤먼	5	4	3	3	3.75	3	
11	렌윈강	1	1	1	1	1	1	
12	잉커우	4	3	2	2	2.75	2	
13	도쿄	16	14	16	16	15.5	16	
14	요코하마	20	17	22	20	19.75	20	

15	지룽	11	10	10	8	9.75	10	
16	나고야	19	19	19	18	18.75	19	
17	고베	23	23	23	22	22.75	23	
18	오사카	2	20	18	23	15.75	17	
19	난징	10	6	5	4	6.25	6	
20	광양	21	21	20	24	21.5	22	
21	인천	12	11	11	12	11.5	11	
22	엔타이	18	18	17	17	17.5	18	
23	푸저우	24	24	24	21	23.5	24	
24	타이중	22	22	21	19	21	21	

4) 다중회귀분석을 이용한 AR 모형을 이용한 투입지향모형(규모수확불변 및 가변모형)에 대한 효율성 측정결과 및 순위

(1) 다중회귀분석을 이용한 회귀분석 식에 대한 계수 값

〈표 6〉에서 다음과 같이 값을 도출해 낼 수 있다. 즉, 2012년도의 예를 들어 설명하면 Y1과 Y2의 회귀식은 다음과 같다.

$$Y1 = 367214.2 + 0.5220 x1 + 237590.6 x2 +$$

$$-197552 x3 + 263.8183 x4 + 70679.3 x5 \quad r2값은 0.6703$$

$$Y2 = -6.8384 + -0.0000011 x1 + -0.0755 x2 + -0.0424 x3 + 0.0054 x4 + 1.1317 x5 \quad r2값은 0.5070$$

Y1에서 $x1/x2 = 0.000002197$, $x2/x3 = 1.2027$, $x3/x4 = 748.8184$, $x4/x5 = 0.003733$, $r2 = 1.3221$ (왜냐하면 0.6703/0.5070)

Y2에서 $x1/x2 = 0.00001457$, $x2/x3 = 1.7807$, $x3/x4 = 7.8519$, $x4/x5 = 0.004772$, $r2$

표 6. 다중회귀분석을 이용한 회귀분석 식에 대한 계수 값

년도	Y1	Y2	α	x1	x2	x3	x4	x5	r2
2009년	○		-370214	1.719	33527.49	13581.9	-39.115	278802.4	0.7627
			148602	2.7067					0.6306
			47414.4		178052.2				0.6887
			1169916			309276.1			0.5260
			-1670086				1868.177		0.6197
			-5270294					841856.9	0.0299
		○	7.125	-0.00000671	0.2695	-1.097	0.0104	-0.4285	0.8392
			19.8807	0.0000023					0.0833
			14.3999		0.3009				0.3609
			14.6407			0.5826			0.3424
			6.4346				0.0042		0.5779
			-43.8591					5.0407	0.1963

2010년	○		-2632253	1,9639	107586,7	25968,49	-179,288	2,3851	0,7803
			133551	3,2381					0,6662
			1091035		190916,3				0,6800
			1544744			351186,1			0,5137
			-1471215				2024,753		0,5911
			-4412943					849050,1	0,0262
		○	-9,5603	-0,0000053	0,3132	-0,8272	0,0071	1,2123	0,7275
			19,7187	0,00000253					0,0922
			14,7941		0,3019				0,3839
			14,6571			0,6102			0,3501
			7,1791				0,0041		0,5343
			-53,4744					5,7672	0,2723
2011년	○		-6623028	2,2225	49589,43	170219	-458,269	582806,7	0,7954
			1647336	3,2040					0,7057
			1402576		195015,4				0,7156
			1589082			389025,9			0,5587
			-1285133				2059,161		0,6645
			-0,00000017					1818956	0,0853
		○	-23,0253	-0,0000057	0,1004	-0,4758	0,0070	2,3457	0,6775
			19,9287	0,0000023					0,0957
			16,1719		0,2502				0,3108
			14,9944			0,5887			0,3377
			9,7907				0,0033		0,4535
			-59,0001					6,1889	0,2606
2012년	○		367214,2	0,5220	237590,6	-197552	263,8183	70679,3	0,6703
			2989638	2,2701					0,4318
			1423347		203698,3				0,6174
			3080534			299846			0,3299
			-140697				1922,829		0,4820
			-8117504					1210858	0,03601
		○	-6,8384	-0,0000011	-0,0755	-0,0424	0,0054	1,1317	0,5070
			20,3125	0,00000243					0,1088
			15,4451		0,3155				0,3252
			14,9787			0,6456			0,3357
			8,2960				0,0041		0,4766
			-31,1899					4,2537	0,0977

표 7. 다중회귀분석의 계수 및 결정계수 값을 이용하여 도출한 AR의 상한과 하한 값

년도	Y1	Y2	x1/x2	x2/x3	x3/x4	x4/x5	전체 y1r2/y 2r2	개별 y1x1r2/ /y2x1r 2	개별 y1x2r2 /y2x2r 2	개별 y1x3r2 /y2x3r 2	개별 y1x4r2 /y2x4r 2	개별 y1x5r2/ y2x5r2	산출 변수 AR상한	산출 변수 AR하한
2009	○		0.00005127	0.2419	3542.93	-0.000403	0.9088	7.5702	1.9083	1.536	1.0723	0.1523	7.5702	0.1523
		○	0.0000249	0.2457	105.4808	0.0243	0.9088	7.5702	1.9083	1.536	1.0723	0.1523	7.5702	0.1523
2010	○		0.00001825	4.1430	144.8423	75.1700	1.0726	7.2256	1.7713	1.4673	1.1063	0.09622	7.2256	0.09622
		○	0.00001692	0.3786	116.5070	0.005857	1.0726	7.2256	1.7713	1.4673	1.1063	0.09622	7.2256	0.09622
2011	○		0.0000448	0.2913	371.4390	0.0007863	7.3741	2.3024	1.6544	1.4653	0.3273	1.1740	7.3741	0.3273
		○	0.0005677	0.2110	67.9714	0.002984	7.3741	2.3024	1.6544	1.4653	0.3273	1.1740	7.3741	0.3273
2012	○		0.000002197	1.2027	748.8184	0.003733	1.3221	3.9688	1.8985	0.9827	1.0113	0.3686	3.9688	0.3686
		○	0.00001457	1.7807	7.8519	0.004772	1.3221	3.9688	1.8985	0.9827	1.0113	0.3686	3.9688	0.3686

= Y1과 동일함.

Y1과 Y2의 r2값은 x1은 3.9688(왜냐하면 0.4318/0.1088), x2는 1.8985(왜냐하면 0.6174/0.3252), x3는 0.9287(왜냐하면 0.3299/0.3357), x4는 1.0113(왜냐하면 0.4820/0.4766), x5는 0.3686(왜냐하면

0.03601/0.0977)이다. 여기서 AR의 상한과 하한은 각각 3.9688과 0.3686이 된다. 위와 같은 방법으로 도출된 값은 <표 7>과 같다.

<표 7>에서 도출된 AR의 상한 값과 하한 값을 적용하여 측정된 다중회귀분석-AR모형에 의한 효율성 측정결과 및 순위는 <표 8>과 같다.

표 8. 다중회귀분석-AR모형(투입지향 규모수확분변)을 이용한 효율성 측정결과 순위

항만 번호	항만명	2009년		2010년		2011년		2012년		평균순위	조정순위
		효율성	순위	효율성	순위	효율성	순위	효율성	순위		
1	상하이	1	1	0.7322	4	1	1	1	1	1.75	2
2	홍콩	0.9228	4	0.4963	10	0.9363	4	0.6204	9	6.75	7
3	부산	0.6273	11	0.4412	11	0.7421	9	0.5745	10	10.25	10
4	닝보	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	광저우	0.7423	9	0.5744	8	0.8022	6	0.7535	7	7.5	8
6	칭다오	0.7463	8	0.6091	7	0.8242	5	0.7431	8	7	7
7	톈진	0.8066	5	0.6430	6	0.7870	7	0.7809	6	6	6
8	카오슝	0.6696	10	0.4267	12	0.6122	11	0.5049	11	11	11
9	대런	0.3930	13	0.3260	13	0.4272	12	0.4608	12	12.5	13
10	샤먼	0.7788	7	0.6504	5	0.7862	8	0.8298	5	6.25	6
11	렌윈강	1	1	1	2	1	1	1	1	1.25	1
12	잉커우	0.7896	6	0.7855	3	0.6352	10	0.9685	4	5.75	6
13	도쿄	0.2970	14	0.2715	14	0.3132	13	0.2668	14	13.75	14

14	요코하마	0.2087	16	0.1765	16	0.1987	17	0.1601	20	17,25	17
15	지룽	0.1539	24	0.1571	18	0.2147	16	0.1759	18	19	19
16	나고야	0.1753	21	0.1689	17	0.1912	18	0.1776	17	18,25	18
17	고베	0.1645	22	0.1101	24	0.1488	23	0.1095	24	23,25	23
18	오사카	0.1790	19	0.1419	23	0.1859	19	0.1331	23	21	21
19	난징	0.4387	12	0.5300	9	0.3078	14	0.4411	13	12	12
20	광양	0.1621	23	0.1447	21	0.1781	20	0.1454	21	21,25	21
21	인천	0.2211	15	0.2239	15	0.2851	15	0.2117	15	15	15
22	엔타이	0.1994	17	0.1570	19	0.1697	21	0.1679	19	19	19
23	푸저우	0.1903	18	0.1445	22	0.1532	22	0.1936	16	22	22
24	타이중	0.1769	20	0.1478	20	0.1417	24	0.1347	22	21,5	22

(4) 효율성 순위 비교분석

AHP에 의한 AR을 이용한 효율성 분석과 다중회귀분석을 통해서 얻어진 AR을 이용한 효율성을 측정된 순위를 근거로 윌콕슨부호순위검정을 실시하였다. 다년도 측정결과 중에서 P값, 유의수준, 귀무가설의 기각여부는 <표 9>에 제시하였다. <표 9>에서는 첫째, P값(유의확율)이 유의수준 0.05보다 훨씬 더 크게 나타났으므로, 귀무가설 H_0 는 채택된다. 즉, 귀무가설을 기각시킬 수 없으며, 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위는 차이가 있다고 말할 수 없다. 즉, AHP/DEA-AR모형에 의한 효율성 순위와 다중회귀분석에서 도출된 AR을 이용한 효율성분석에 의한 순위에는 차이가 있다고 할 수 없다.

즉, 본 연구에서 사용한 두 개의 모형은 효율성을 측정하는데 유효한 방법이라고 할 수 있다. 둘째, 2010년과 2011년도의 P값(유의확율)이 다른 년도에 비해서 상대적으로 높게 나타나서, 본 연구에서 사용된 두 가지 모형에 의한 항만별 효율성 순위에 대한 측정결과가 매우 유사함을 보여주었다. 셋째, 2012년의 유의확율이 상대적으로 낮게 나타났다. 넷째, 평균적으로 보았을 때, P값(유의확율)이 평균 0.845 수준에서 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위가 서로 일치함을 보여 주었다. 다섯째, 전체자료를 한꺼번에 고려하여 측정된 경우에는 상대적으로 유의확율이 낮아지는 것으로 나타났다.

한편, Mann-Whitney 윌콕슨 순위 합 검정결과를 <표 10>에 제시하였다. 결과는 모두 윌콕슨 부

표 9. 2009년-2012년까지의 윌콕슨 부호순위 검정결과[AHP/DEA-AR모형과 다중회귀분석 모형]

측정년도	P값	유의수준	귀무가설의 채택 여부
2009	0.831	0.05	귀무가설 채택
2010	0.943	0.05	귀무가설 채택
2011	0.896	0.05	귀무가설 채택
2012	0.710	0.05	귀무가설 채택
평균	0.845	0.05	귀무가설 채택
전체자료	0.694	0.05	귀무가설 채택

표 10. 2009년-2012년까지의 Mann-Whitney 윌콕슨 순위 합 검정결과[AHP/DEA-AR모형과 다중회귀분석 모형]

측정년도	P값	유의수준	귀무가설의 채택 여부
2009	0.951	0.05	귀무가설 채택
2010	1.0	0.05	귀무가설 채택
2011	0.951	0.05	귀무가설 채택
2012	0.951	0.05	귀무가설 채택
평균	0.963	0.05	귀무가설 채택
전체자료	0.925	0.05	귀무가설 채택

호순위검정결과와 동일하였다. 그러나 수치가 더 커졌으며, 특히 전체자료를 대상으로 한 경우에도 유의확율이 더 크게 나타났다.

IV. 결론

본 논문에서는 DEA 분석기법을 이용한 항만효율성 측정 시 AR가중치를 부여하는 방법(다중회귀분석방법과 AHP방법)을 실증적으로 검증하기 위해서 AHP분석방법을 이용한 이층배외 3인(2015)이 사용한 자료를 이용하여 다중회귀분석방법으로 AR을 결정하고 항만들의 효율성을 측정한 후에 항만들 간의 순위를 이용하여 윌콕슨부호순위검정과 Mann-Whitney 윌콕슨 순위 합 검정방법으로 그 결과를 비교분석하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, 측정한 순위를 근거로 윌콕슨부호순위검정을 실시한 결과 P값(유의확율)이 유의수준 0.05보다 훨씬 더 크게 나타났으므로, 귀무가설 H_0 는 채택하였다. 즉, AHP/DEA-AR모형에 의한 효율성 순위와 다중회귀분석에서 도출된 AR을 이용한 효율성분석에 의한 순위에는 차이가 없는 것으로 나타났다. Mann-Whitney 윌콕슨 순위 합 검정도 동일한 결과를 보였다.

둘째, 평균적으로 보았을 때, 윌콕슨부호순위검정에서 P값(유의확율)이 평균 0.845 수준에서 양모형의 효율성 수치에 의한 순위가 서로 일치함을

보여 주었으며, Mann-Whitney 윌콕슨순위합 검정의 평균 유의확율은 0.963으로 더 높게 나타났다. 셋째, 전체자료를 한꺼번에 고려하여 측정한 경우에는 윌콕슨부호순위검정에서 상대적으로 유의확율이 크게 낮아(0.845-)0.694)졌으며, Mann-Whitney 윌콕슨 순위 합 검정도 낮아(0.963-)0.925)졌다.

본 논문의 정책적인 함의는 항만운영자들이나 항만정책의 입안가 들이 항만들에 대한 효율성을 측정할 때, 본 논문에서 제시한 AR가중치를 적용한 방법을 도입하여 시행함으로써 항만들 간의 효율성을 보다 더 정확하게 측정할 수 있어야만 한다는 점이다. 또한 더욱 확장시켜서 AHP법과 다중회귀분석방법을 접목한 방법을 도입하여 측정해야만 한다는 점이다. 항만투자금액 등을 결정할 때, 그러한 측정결과도 참고한다면 효과적인 항만관리 및 정책이 시행될 수 있을 것으로 확신한다. 요컨대, AHP/DEA-AR모형은 DEA 모형 자체가 내포하고 있는 변별력 부족과 가중치의 문제점을 해결하여 효율적인 DMU의 개수를 조절할 수 있다. 즉, AR에서 사용되는 구간의 폭을 제한하여 선정된 효율적인 DMU의 숫자를 조정할 수 있다.[자세한 내용은 권아림(2015: 41)참조요망], 반면에 다중회귀분석은 AHP에서의 상대적인 중요도를 독립변수와 종속변수의 설명력과 관련되는 것으로 회귀계수와 회귀결정계수를 이용하여 AHP에서의 대안들의 가중치와 비슷한 개념을 얻을 수 있으므로, 측정대상 및 통계수치 수집의 난이도에 따라서 한

가지 방법을 선택하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.[자세한 내용은 심광식(2011:39-41)참조요망], 또한 실증분석결과에서 주목할 만한 사항들은 ①물동량이 많은 항만들이 효율성이 낮게 나타난 점, ②중국항만들 중에서 상대적으로 규모가 작은 항만들의 규모가 큰 항만들에 비해서 효율성이 높게 나타난 점, ③부산, 인천, 광양항의 효율성이 낮은 점, ④ 일본항만들의 효율성이 낮은 점 등을 들 수 있는데 그러한 점들의 원인을 파악하여 국내항만들에 대한 정책입안 시 고려해야만 한다.[실증분석 결과에 근거한 정책적인 시사점에 대한 세부적인 내용은 권아림(2015: 85-87)을 참조요망]. 본 논문의 한계는 첫째, 여기태 외4인(2004), 여기태 외3인(2011)에서 이용한 Fuzzy접근법을 도입하지 못했으며, 둘째, AHP법과 다중회귀분석방법을 혼합한 측정결과를 제시하지 못했으며, 셋째, 비방사적인 DEA모형을 이용한 분석을 하지 못했다는 점이다. 그러한 내용이 포함된다면 항만간의 효율성을 보다 정확하게 측정하고 정책인 시사점을 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 차후연구에서 다루고자 한다.

참고문헌

- 권아림(2015), "AHP/DEA-AR 모형을 이용한 동북아시아 항만의 상대적 효율성 분석에 관한 연구", 중앙대학교 대학원 석사학위논문.
- 김선구 · 최용석(2012a), "컨테이너터미널 효율성 평가를 위한 AHP/DEA 통합모형", 『한국항만경제학회지』, 제28권 제2호, 한국항만경제학회, 179-194.
- 김선구 · 최용석(2012b), "컨테이너터미널 인력구성의 효율성 평가", 『산업경제연구』, 제25권 제6호, 한국산업경제학회, 3697-3711.
- 박노경(2016), "다중회귀분석을 이용한 AHP/DEA-AR 항만 효율성 측정결과의 실증적 검증소고", 『한국항만경제학회 2016년 하계학술대회 발표논문집』, 한국항만경제학회, 15-34.
- 심광식(2011), "DEA 모형에서 회귀분석을 이용한 AR 결정 및 적용성 연구", 전남대학교 대학원 박사학위논문.
- 심광식 · 김재윤(2012), "다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형개발 및 국내 지방공사의 효율성 평가", 『한국경영과학회지』, 제37권 제1호, 한국경영과학회, 29-43.
- 여기태 · 박창호 · 전일수 · 이홍걸 · 류형근(2004), "MDMG-HFP법과 퍼지 역평가법을 이용한 상해 및 북중국과 우리나라 컨테이너항만의 경쟁력 분석에 관한 연구", 『한국무역학회 국제학술대회 발표논문집』, 한국무역학회, 89-111.
- 여기태 · 유성재 · 정현재 · 박원근(2011), "퍼지이론을 활용한 수도권 항만의 기항지 선택요인분석에 관한 연구", 『한국항만경제학회지』, 제27권 제2호, 한국항만경제학회, 39-57.
- 안치원 · 하헌구(2009), "DEA-AR을 활용한 철도 컨테이너 화물역 효율성 분석", 『대한교통학회지』, 제27권 제3호, 대한교통학회, 7-16.
- 이충배 · 권아림 · 김보경 · 이자연(2015), "AHP/DEA-AR 모형을 이용한 동북아시아 항만의 상대적 효율성 분석에 관한 연구", 『관세학회지』, 제16권 제1호, 한국관세학회, 271-293.
- Lai, P. L., A. Potter, M. Beynon, and A. Beresford (2015), "Evaluating the Efficiency Performance of Airports Using an Integrated AHP/DEA-AR Technique," *Transport Policy*, Vol.42, 75-85.

다중회귀분석을 이용한 AHP/DEA-AR 항만효율성 측정결과의 실증적 검증소고

박노경

국문요약

본 논문에서는 동북아시아 24개 컨테이너항만들의 4년간 자료(2009년-2012년)를 이용하여 5개의 투입요소(겐트리 크레인 수, 선석 수, 총 선석길이, 터미널면적, 평균수심), 2개의 산출요소(컨테이너화물처리량, 직기항 선사수)를 이용하여 항만효율성 측정 시 AR가중치를 부여하는 방법(다중회귀분석방법과 AHP방법)을 실증적으로 검증하였다. 즉, AHP/DEA-AR분석 결과에 대해서, 다중회귀분석방법으로 AR을 결정하고 항만들의 효율성을 측정한 후에 항만들 간의 순위를 이용하여 윌콕스부호순위검정과 Mann-Whitney 윌콕스 순위 합 검정방법으로 그 결과를 비교분석하여 검증하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, 측정된 순위를 근거로 윌콕스부호순위검정을 실시한 결과 P값(유의확률)이 유의수준 0.05보다 훨씬 더 크게 나타났으므로, 귀무가설 H_0 는 채택하였다. 즉, AHP/DEA-AR모형에 의한 효율성 순위와 다중회귀분석에서 도출된 AR을 이용한 효율성분석에 의한 순위에는 차이가 없는 것으로 나타났다. Mann-Whitney 윌콕스 순위 합 검정도 동일한 결과를 보였다. 둘째, 평균적으로 보았을 때, 윌콕스 부호순위검정에서 P값(유의확률)이 평균 0.845 수준에서 양 모형의 효율성 수치에 의한 순위가 서로 일치함을 보여 주었으며, Mann-Whitney 윌콕스 순위 합 검정의 평균유의확률은 0.963으로 더 높게 나타났다. 셋째, 전체자료를 한꺼번에 고려하여 측정된 경우에는 윌콕스부호순위검정에서 상대적으로 유의확률이 크게 낮아(0.845-)0.694)졌으며, Mann-Whitney 윌콕스 순위 합 검정도 낮아(0.963-)0.925)졌다. 본 논문의 정책적인 함의는 항만운영자나 항만정책의 입안자들이 항만들에 대한 효율성을 측정할 때, 본 논문에서 제시한 AR가중치를 적용한 방법을 도입하여 시행함으로써 보다 정확한 항만효율성을 측정할 수 있어야만 한다는 점이다. 또한 더욱 확장시켜서 AHP법과 다중회귀분석방법을 접목한 방법도 도입하여 측정해야만 한다는 점이다. 항만투자금액을 결정할 때, 그러한 측정결과도 참고한다면 효과적인 항만관리 및 정책이 시행될 수 있을 것으로 확신한다. 본 논문의 한계는 퍼지분석법, 비방사적 DEA분석을 도입하지 못했으며, 그리고 AHP법과 다중회귀분석방법을 혼합한 측정결과를 제시하지 못했다는 점이다. 차후연구에서 다루고자 한다.

주제어: 다중회귀분석, AHP/DEA-AR, 항만효율성, 실증적 검증