

중국 양쯔강(장강) 내륙항만의 효율성 평가 - 3단계 DEA 모델을 토대로*

Efficiency Assessment of China's Yangtze River Ports - Based on the 3-Stage DEA

기 석 나** Xi-Na Ji

최 경 숙*** Kyoung-Suk Choi

I. 서론	V. 결론 및 제안
II. 선행연구	참고문헌
III. 연구방법	Abstract
IV. 실증분석	

국문초록

항만 간 경쟁이 심화되면서 항만효율성은 더욱 중요하게 인식되고 있다. 항만효율성 개선을 통하여 항만의 지속 가능한 개발을 촉진함과 동시에 지역 및 국가 경제성장을 도모하는 것은 항만운영자 뿐만 아니라 지방 및 정부의 주된 관심사이다. 본 연구는 중국의 황금내륙수로인 양쯔강 상의 내륙항만들의 경쟁이 치열해지고 있는 상황에서 2010년부터 2017년까지의 패널자료를 이용하여 장강변 14개 주요 내륙항의 효율성을 분석하고 시간에 따른 항만 효율성의 변화를 살펴보고자 하였다. 동시에 14개 내륙항구를 양쯔강 중류, 상류, 하류 항만군으로 나누어 구역별 항만효율성 수준의 차이를 비교 검토하였다. 특히 본 연구를 수행하기 위해 3단계 DEA 분석 방법을 적용하여 효율성 평가에 영향을 미칠 수 있는 환경적 요인과 통계적 노이즈의 영향을 최대한 배제하여 항만 자체의 순수 상대 효율성을 평가하였다. 분석결과, 1단계 효율 평가 결과와 3단계 효율 평가 결과 포트의 효율 값에 뚜렷한 차이가 있음을 확인하였고, 구체적인 결과를 해석과 함께 본문에서 제시하였다. 또한 하류항만들의 효율성이 중·상류 항만에 비해 상대적으로 높은 효율성을 보이고 있음을 알 수 있었다.

〈주제어〉 양쯔강(장강) 내륙항만, 중국 항만, 항만효율성, 3단계 DEA

* 본 연구는 2023년 2월 한국무역학회 신진학자 전국 순회 학술대회(호남·제주권)에서 발표되었음.

** 전북대학교 무역학과 박사과정(주저자), E-mail: sjk950503@naver.com

*** 전북대학교 무역학과 부교수(교신저자), E-mail: koyaku@jbnu.ac.kr

I. 서론

전세계 무역량의 약 80%는 해상운송을 통해 이뤄지고 있다. 항만은 이러한 해상운송의 주요 인프라이자 글로벌 공급망의 중요한 노드로서 한 국가의 대내외 경제에 지대한 영향을 미치고 있다. 뿐만 아니라 국가의 부가가치 생산능력과 경쟁력을 높이는데 있어서도 매우 중요한 역할을 담당한다(Liu, 2008; Zhang et al., 2021). 이러한 항만의 중요성으로 인해 각 국가들은 항만의 효율성을 향상시켜 더 많은 물동량을 유인하고 처리함으로써 글로벌 물류 허브가 되기 위한 경쟁을 지속해오고 있으며, 동시에 한 국가 내에서도 지역경제와 직결되는 사회 기반 인프라로서의 항만의 효율성을 개선하고 활성화함으로써 지역경제 성장을 도모하기 위한 항만 및 지방정부의 경쟁도 갈수록 치열해지고 있다. 이러한 상황 속에서 학계에서는 오랫동안 항만의 효율성을 파악하고 경쟁력을 향상시키기 위한 많은 연구들이 이뤄져왔고, 또 지금까지도 지속되어 오고 있다.

본 연구는 중국내 양쯔강(장강) 경제벨트(长江经济带)¹⁾의 14개 주요 내륙 항만에 주목하였다. 중국의 양쯔강(장강)은 서부대개발 정책과 일대일로에서 매우 중요한 황금 수로로서 중국의 서남(西南), 화중(华中) 및 화동(华东)의 3대 경제 구역을 연결하는 중국 경제와 물류의 대동맥이라 할 수 있다. 이러한 중앙정부의 정책에 힘입어 양쯔강 유역 항만의 물동량은 급격히 증가하면서 항만의 건설이 앞다투어 이뤄졌고, 지역 경제는 개선되었다. 하지만 12·5 계획²⁾ 기간 동안 양쯔강 내륙 항만 건설이 가속화되기 시작하면서 항만의 기능배치에 있어서의 중복과 비효율성(Wang et al., 2022)문제를 비롯한 낮은 물류서비스(Mou et al., 2020), 지역간 치열한 경쟁(Yu et al., 2022) 등 많은 문제들에 직면하게 되었다. 이에 항만 운영사와 지방정부는 이러한 문제를 해결하고 항만의 효율성을 어떻게 끌어올려 내륙항만으로서의 경쟁력을 높일 것인지에 대한 고민과 노력들을 이어가고 있다.

이러한 상황에서 본 연구는 다음과 같은 목적을 가지고 진행되었다. 첫째, 2010-2017년까지의 패널 데이터를 활용하여 양쯔강 연안의 14개 주요 내륙항만들의 효율성을 분석하고 시간에 따른 항만 효율성의 변화를 검토하고자 한다. 둘째, 14개 내륙항만을 양쯔강 중·상류/하류 항만 그룹으로 구분하여 유역별 항만의 효율성 수준의 차이를 비교 검토하고자 하였다.

이러한 목적을 위해 3단계 DEA(Data Envelopment Analysis) 모델을 적용하여 분석하였다. 3단계 DEA 모델은 기존의 DEA 방법과 확률변경분석방법(SFA: Stochastic Frontier Analysis)을 결합한 모델로, 상대적 효율성에 영향을 미칠 수 있는 환경적 요인(Environmental Influences)과 통계적 잡음(Statistical Noise)을 제거함으로써 더 실제적이고 정확한 순수 효율성 값을 얻을 수 있다는 장점을 지닌다.

1) 양쯔강 경제 벨트(长江经济带: Yangtze River Economic Belt)는 상하이(上海), 장쑤(江苏), 저장(浙江), 안후이(安徽), 장시(江西), 후베이(湖北), 후난(湖南), 충칭(重庆), 쓰촨(四川), 윈난(云南), 구이저우(贵州) 등 11개 성 및 시를 포괄하며, 국가 면적의 21.4%, 인구나 GDP는 국가 전체의 40 %를 초과함(<https://baike.baidu.com>).
2) 12·5 계획: 중국국민경제사회발전 제12차 5개년 계획(2011-2015년)을 지칭함.

그동안 중국 내륙경제와 대외경제 직결되는 양쯔강 항만의 역할과 기능이 매우 강조되고 중요해짐에도 불구하고 이들 항만의 효율성 분석 연구는 거의 이뤄지지 않았다. Zhang and Du(2018)의 연구만이 3단계 DEA를 통해 양쯔강 유역의 20개 항만을 대상으로 효율성을 분석하긴 했으나, 이 연구에서는 단일연도의 효율성을 분석한데 그치고 있다. 이처럼 양쯔강 유역의 항만의 효율성 분석 연구가 거의 이뤄지지 않은 이유는 무엇보다 항만들의 일관된 데이터 수집의 한계 때문이라고 할 수 있다. 각 항만에서 공개하는 데이터는 서로 일관되지 못하고 연도별로 지속적으로 공개하고 있지도 않다. 본 연구 역시 이러한 어려움으로 투입변수의 선택과 모든 내륙항만을 고려하지 못했다는 한계를 지닌다. 그럼에도 불구하고 8년 동안의 양쯔강 주요 항만들의 운영효율성을 처음으로 평가함으로써 항만의 효율성 개선과 경쟁력 증진을 위한 시사점을 제공하였다는데서 학술적 의의를 지닌다 할 수 있다.

II. 선행연구

항만효율성과 경쟁력 분석은 학계에서도 오랫동안 주요 관심사였으며, 다양한 분석방법을 통해 더욱 견고하고 정확한 효율성 측정을 위한 연구가 계속되어 오고 있다. 본 연구 역시 이러한 노력의 하나로서 그동안 데이터 수집의 한계로 인해 연구가 거의 이뤄지지 않은 양쯔강경제벨트상의 14개 주요항만들을 대상으로 3단계 DEA 모델을 적용하여 상대적 효율성 분석하였다.

그동안 항만효율성 분석에서는 다양한 평가방법들이 적용되어 왔다. 최근에는 항만 효율성 평가 방법으로 다중기준의사결정분석(MCDA: Multi-Criteria Decision Analysis)을 활용한 연구도 꾸준히 증가하고 있다. Gök-K i sa et al. (2022)는 MCDA 접근 방식을 통해 터키의 민영화된 항만의 기능을 평가하였고, Huang et al. (2003)은 MCDA 평가모형을 수립하고, FMGC(Fuzzy Multi-criteria Grade Classification)모형을 이용하여 동아시아 8개 컨테이너 항만의 운영 효율성을 평가하기도 하였다. 또한 거리 함수(distance function)를 사용하여 항만 효율성을 평가하는 일부 연구도 있다(Pérez et al., 2020; Wang et al., 2022). 이 밖에도 항만 효율 평가 모델을 제안한 연구도 있는데, Zhang and Su(2019)는 BP 네트워크 이론을 기반으로 효율성의 포괄적인 평가 모델을 수립하여 제안하였다. Sun et al.(2022)은 패널데이터를 기반으로 항만 효율성 평가를 위한 Risk-based 효율성 평가 모형을 제안하였다. Dai(2020)는 항만물류의 생산 효율성을 평가하기 위해 게임모형을 기반으로 정량적 모델을 구축하였다. 그 외에도 Fuzzy-IPA(Fuzzy Importance-Performance Analysis) 분석 (Hua et al., 2020), 베이지안 (Bayesian) 분석(Fahim et al., 2022)등이 적용되어 다양한 DMU(Decision Making Unit)를 대상으로 상대적 효율성이 평가되었다.

그러나 무엇보다 대표적인 효율성 분석방법으로는 DEA를 들 수 있다. DEA는 효율성 분

석 연구에서 가장 많이 활용된 분석 방법으로서 투입(input) 대비 산출(output)을 계산함으로써 의사결정단위(DMU)의 상대적 효율성을 측정하는 비모수적 방법(Non-parametric Method)이다(Charnes et al.(1978)). 이에 대해 3단계 DEA 모델은 전통적 DEA를 보다 확장시킨 형태로서 보다 정확한 효율성 측정을 위한 방법으로 활용되고 있다. 3단계 DEA에서는 우선 1단계에서 DEA-BCC 라는 가장 기본적인 DEA 모델을 이용하여 항만의 효율성 값을 측정하고, 2단계에서는 SFA 회귀를 이용하여 환경적 요인과 통계적 잡음의 영향을 제거하게 된다. 그리고 난 후 3단계에서 조정된 값을 가지고 다시한번 DEA-BCC 모델을 적용하여 분석함으로써 보다 실질적이고 정확한 항만 효율성 값을 얻게 된다(Liu and Liu, 2016).

이러한 3단계 DEA분석은 다양한 분야에서 폭넓게 적용되고 있으며, 특히 운송 물류 영역에서 그 활용이 확대되고 있다. Zhang and Li (2021)는 2013년부터 2017년까지 베이징-텐진-허베이 지역(京津冀地区)의 물류 산업 효율성을 평가하였다. Gan et al.(2022)은 장시성(江西省) 11개 도시의 녹색 물류 효율성을 분석하였다. Song et al.(2020)과 Zeng et al.(2020)은 각각 중국의 항공운송 및 공항의 운영 효율성을 3단계 DEA로 효율성을 평가하였다. 특히 본 연구와 관련한 항만의 효율성분석에서 3단계 DEA를 활용한 연구들을 살펴보면, Zhang et al.(2021)은 중국 연안의 상위 10위 항만의 효율성을 평가하였고, 이중 상하이, Ningbo-저우산(宁波-舟山), 선진, 홍콩(香港) 및 가오슝(高雄) 항만의 효율성이 상대적으로 높게 나타났으나, 10개 항만의 전반적인 효율성 수준은 비교적 낮게 확인되었다. Lin and Lu(2021)는 랴오닝성(辽宁省)과 산둥성(山东省)에 있는 6개의 1억 톤 이상의 항만을 대상으로 항만의 종합 효율성(TE), 규모 효율성(SE) 및 순수기술효율성(PTE)을 분석하였고, 그 결과 각 항만의 수준에서 상당한 차이를 발견했으며, GDP, 총인구수, 외국인 투자액 등의 환경 요인이 항만 효율성 향상에 큰 영향을 미친다는 결론을 제시하였다. Huang et al.(2018)은 발해항만군(渤海港口群)³⁾, 양쯔강 삼각주 항만군(长三角港口群)⁴⁾, 남동해안항만군(东南沿海港口群)⁵⁾ 및 주강 삼각주 항만군(珠三角港口群)⁶⁾의 상대 효율성을 평가하였는데, 그 결과 환경 요인을 고려한 후 연안 항만의 순수기술효율성 값이 향상되어 1단계 측정 효율값에서 항만의 순수기술효율성이 과소평가되었음을 확인하였다. Li et al. (2013)은 중국 내 42개 연안의 컨테이너 터미널의 화물입출항의 단면 데이터를 기반으로 컨테이너터미널의 효율성을 평가한 결과, 이들 터미널의 종합 효율성과 규모 효율성은 낮게 평가되었다. 또한 서로 다른 항만 그룹의 운영 효율성에도 큰 차이가 발견되었는데, 양쯔강 삼각주와 발해 지역의 터미널 효율성은 상대적으로 높은 반면 남동부 해안과 주강 삼각주 항만의 효율성

3) 발해항만군(渤海港口群): 단둥(丹东), 잉커우(营口), 진저우(锦州), 친황다오(秦皇島), 탕산(唐山), 창저우(沧州), 옌타이(烟台), 르자오(日照) 항의 컨테이너 운송 시스템(<https://zh.wikipedia.org>).

4) 양쯔강 삼각주 항만군(长三角港口群): 쑤저우(苏州), 난징(南京), 연운항(连云港)항으로 구성된 컨테이너 운송 시스템(<https://zh.wikipedia.org>).

5) 남동해안항만군(东南沿海港口群): 푸저우(福州), 취안저우(泉州), 푸톈(莆田), 장저우(漳州)항의 컨테이너 운송 시스템(<https://zh.wikipedia.org>).

6) 주강 삼각주 항만군(珠三角港口群): 산터우(汕头), 주하이(珠海), 중산(中山)항의 컨테이너 운송 시스템(<https://zh.wikipedia.org>).

은 상대적으로 낮게 나타났다. Zhang and Du(2018) 연구는 2016년 양쯔강 주변 20개 주요 항만의 효율성을 평가하여 양쯔강 연안 항만 효율성의 변화 추세와 공간적 특성을 밝히고 포트 효율성 개선하기 위한 정책적 시사점을 제시하였다. 분석 결과 양쯔강 연안 주요 항만, 특히 양쯔강 중상류의 항만 지역의 규모 효율성이 낮고 투자가 분산되어 규모의 경제를 형성하기 어렵다는 것을 검증하였다.

본 연구는 기존에 이뤄진 선행연구들과 다른 몇 가지 차별성을 지닌다. 첫째, 대부분의 중국 내륙항만의 효율성 분석 연구는 거의 대부분 중국 전역의 내수로 항만을 대상으로 하고 있고, 양쯔강 내수로 항만을 대상으로 한 효율성 분석 연구가 거의 이뤄지지 않은 상황에서 본 연구가 시도되었다는 점이다. 둘째, 양쯔강 항만에 대한 일부 연구인 Zhang and Du(2018)의 연구가 양쯔강 항만의 단일연도 효율성을 분석한 반면, 본 연구는 2010년부터 2017년까지 패널데이터를 가지고 효율성을 분석하고 시간의 흐름에 따른 효율성의 변화추이까지 검토하였다는데서 차별성이 존재한다.

Ⅲ. 연구방법

DEA 방법은 Charnes et al.(1978)에 의해 처음 소개되었으며 의사결정단위(DMU)의 상대적 효율성을 분석하는 방법으로서 선형 계획법에 기반한 비모수적 방법으로 생산함수 형식을 요구하지 않고 여러 투입 및 산출 변수를 처리할 수 있다는 특징을 가진다(Bray et al., 2015; Jiang et al., 2012). 이러한 특징으로 DEA는 다른 전통적인 효율성 측정 방법보다 더욱 유연한 효율성 측정 도구로 인정되며(Poitras et al., 1999) 다양한 영역에서 DMU의 상대적 효율성을 분석하기 위해 오랫동안 환영받으며 사용되어 오고 있다(Chang et al., 2021).

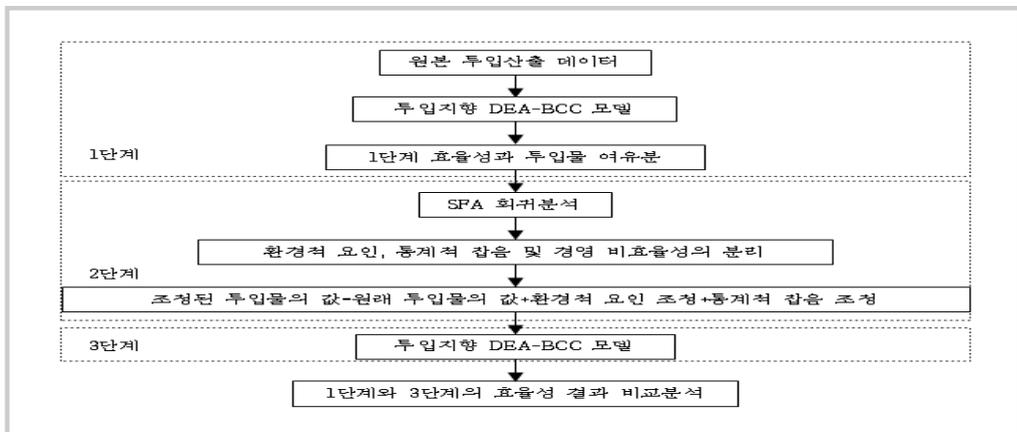
DEA의 기본 아이디어는 DMU의 투입을 산출로 변환하는 것이다(Pjevevevi et al., 1970). 효율성은 주어진 투입으로 얻은 산출물을 기반으로 추정되므로 투입을 산출물로 전환하는 과정에서 노동력, 토지 및 자본과 같은 일부 자원이 소비되어야 한다. 따라서 투입산출의 효율성 점수는 항상 1보다 작거나 같아야 한다(Ablanedo, 2010). 가장 널리 사용되는 두 가지 전통적인 DEA 모델은 CCR과 BCC모델이다. DEA-CCR 모델은 산출지향(output-oriented) 관점에서 불변규모수익(CRS: constant return to scale)을 가정한다. 즉 다중 투입 및 다중 산출의 DMU를 가지며, 투입 규모의 변동 여부를 관계없이 효율에 영향을 미치지 않으므로 얻은 효율성은 기술효율성(TE: technical efficiency)을 의미한다. DEA-BCC 모델은 투입지향(input-oriented) 관점에서 가변규모수익(VRS: variable return to scale)을 가정하고 효율성은 규모의 영향을 받기 때문에 얻은 효율성은 순수기술효율성(PTE: pure technical efficiency)과 규모효율성(SE: scale efficiency)을 포함하게 된다

(Poitras et al., 1999). 투입 지향의 경우 효율성 측정의 목표는 산출량을 줄이지 않고 생산 비용을 최소화하기 위해 최적의 자원(투입물) 양을 결정하는 것이며, 산출지향 경우 비효율적인 의사 결정 단위는 주어진 투입에 따라 출력을 늘리도록 제안한다. 따라서 일반적으로 투입 지향 모델은 관리 및 운영 문제에 초점을 맞추는 반면에 산출 지향 모델은 계획 및 전략에 사용된다(Nong, 2022). 그동안의 항만효율성에 관한 많은 선행연구 대다수는 규모에 따라 영향을 받는 투입지향 DEA 분석 방법을 활용해오고 있음을 알 수 있다(Bergantino et al., 2013).

그러나 전통적인 DEA 모델은 결정론적 모델이기 때문에 무작위 영향의 가능성을 배제하고 생성된 비효율성은 전적으로 DMU의 부적절한 관리 때문이라고 가정하고 있다는 단점을 지닌다(Zeng et al., 2020). 이에 Fried et al.(2002)는 3단계 DEA를 제안하였다. 3단계 DEA는 SFA를 사용하여 환경적 요인과 통계적 잡음을 분리하고 경영 비효율성(management inefficiency)으로 인한 투입물 여유분(slack)값을 얻을 수 있다. SFA 기법의 경우에는 무수적 방법으로 환경적 요인 및 통계적 잡음의 영향을 조정할 수 있고 효율성 평가에서 외생적 요인을 제외시킴으로써 더욱 현실적인 평가 결과를 얻을 수 있다는 장점을 지닌다(Niu et al., 2021; Lin and Lu, 2021).

따라서 본 연구는 중국 양쯔강 연안 내륙항만의 효율성은 규모에 영향을 받는다는 가정과 함께 3단계 DEA분석을 통해 2010년부터 2017년까지 14개 항만의 실질적이고 현실적인 상대적 효율성을 평가해봄으로써 기술효율성, 순수기술효율성, 규모효율성을 함께 평가해보고자 하였다. 본 연구의 분석단계는 그림 1을 통해 확인할 수 있다.

〈그림 1〉 3단계 DEA 분석과정



1. 1단계 : DEA-BCC 분석

첫 번째 단계는 투입지향 DEA-BCC 모델을 통해 투입산출 데이터를 사용하여 효율성 평가를 수행하였다.

$$D(\epsilon) = \min [\theta - \epsilon(\hat{e}^T S^- + e^T S^+)]$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, S^-, S^+ \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$j = 1, 2, \dots, n$ 은 DMU

X, Y는 각각 투입물 벡터와 산출물 벡터

θ, S^+, S^- 는 추정 변수

If $\theta = 1, S^+ = S^- = 0$, DEA 평가 유효

If $\theta = 1, S^+ \neq 0$, or $S^- \neq 0$, DEA 평가 약하게 유효

If $\theta < 1$, DEA 평가 무효

DEA-BCC 모델은 TE, PTE 및 SE의 3가지 효율값을 제시하고 TE=SE×PTE를 만족한다. 이중 TE(기술효율성)는 항만의 생산 및 운영 활동에 관련된 모든 자원을 가장 합리적으로 활용하는 정도를 말하며 항만의 종합경쟁력 수준을 반영한다. PTE(순수기술효율성)은 항만 생산 및 운영과정에서 자체 관리 및 과학기술 수준의 영향요인을 고려한 투입과 산출 간의 이익 합리성을 말한다. SE(규모효율성)은 생산 운영에서 항만의 기존 규모가 변화할 때 산출에 미치는 영향의 정도를 의미한다.

2. 2단계: SFA 회귀분석

Fried et al.(2002)는 DEA 모형분석을 통해 얻은 투입물 여유분(슬랙)이 환경 요인, 통계적 잡음 및 경영 비효율성의 세 가지 요인에 영향을 받는 것으로 간주하였다. 투입물 여유분은 원래 투입량과 최적 효율에 따른 투입량의 차이를 말한다. 즉, 항만 효율이 최적에 도달했다고 가정할 때 항만에 대한 불필요한 투입으로 간주할 수도 있다. 따라서 2단계에서는 SFA 회귀를 적용하여 투입물 여유분 중에서 환경적 요인, 통계적 잡음 및 경영 비효율성을 분리함으로써 동일한 환경선상의 DMU를 만들게 된다. 이후 제1단계에서 얻은 투입물 여유분을 사용하여 각 환경변수 및 통계적 잡음을 회귀시키는 것이다. 회귀분석 결

과에 따라 환경적 요인의 값, 혼합오차항(Mixed Error Term) 및 경영 비효율 항목을 각각 산출할 수 있다. 통계적 잡음은 혼합오차항에서 경영 비효율 항을 뺀 것과 같다(통계적 잡음=혼합오차항-경영 비효율 항). 마지막으로 얻은 파라미터에 따라 환경변수와 통계적 잡음을 조정하며, 조정된 투입 값은 원래 투입량에 환경변수 조정값과 통계적 잡음 조정값을 더한 값과 같다.

1) 투입물 여유분 값에 대한 환경변수와 혼합오차항의 회귀 모델을 확립한다.

$$S_{nj} = f^n(Z_j; \beta^n) + \nu_{nj} + \mu_{nj}; j = 1, 2, \dots, N; n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

S_{nj} 는 j 번째 DMU의 n번째 투입물 여유분의 값

Z_j 는 환경적 요인

β^n 는 환경적 요인의 계수

$\nu_{nj} + \mu_{nj}$ 는 혼합오차항

ν_{nj} 는 통계적 잡음의 값

μ_{nj} 는 경영 비효율 항목

2) 투입물 변수를 두 단계로 조정한다.

첫 번째 단계에서는 통계적 잡음과 혼합오차항을 분리하기 위해 관리 비효율성 항목을 사용하여 통계적 잡음의 추정치를 추정한다.

$$\hat{E}(\nu_{nj} | \nu_{nj} + \mu_{nj}) = S_{nj} - Z_j \beta^n - \hat{E}\left(\frac{\mu_{nj}}{\nu_{nj}}\right); j = 1, 2, \dots, N; n = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

두 번째 단계에서는 더 나은 환경에서 DMU를 향상 조정하고 다음 공식을 사용한다.

$$x_{nj}^A = x_{nj} + \left[\max_j \{Z_j \hat{\beta}^n\} - Z_j \hat{\beta}^n \right] + \left[\max_j \{\hat{\nu}_{nj}\} - \hat{\nu}_{nj} \right] \quad (4)$$

$$j = 1, 2, \dots, N; n = 1, 2, \dots, N$$

x_{nj} 는 j번째 DMU의 n번째 투입 항목의 실제 값

x_{nj}^A 는 조정된 투입물 값

$\hat{\beta}^n$ 는 환경변수 계수의 예상 값

$\hat{\nu}_{nj}$ 는 통계적 잡음의 예상 값

$[\max_j \{Z_j \hat{\beta}^n\} - Z_j \hat{\beta}^n]$ 는 모든 DMU를 동일한 환경으로 조정하는 것

$[\max_j \{\hat{\nu}_{nj}\} - \hat{\nu}_{nj}]$ 는 모든 DMU의 통계적 잡음을 동일한 상황으로 조정하는 것

3. 3단계 : 조정된 DEA 분석 (DEA-BCC)

제3단계에서는 조정된 DEA 모델을 구축한다. 즉, 2단계에서 조정된 투입물의 값을 다시 BCC 모델로 분석함으로써 환경변수와 통계적 잡음을 배제한 DMU의 상대적 효율성을 분석한다. 이를 통해 얻는 효율성 값은 항만 자체의 실제 운영 효율성을 보다 실질적이고 객관적으로 평가할 수 있다.

IV. 실증분석

1. 변수 선정과 자료의 수집

1) 변수설정

본 논문은 2010년부터 2017년까지 중국 양쯔강 연안 14개 내륙 항만⁷⁾을 각각의 DMU로 정의하고 이들 항만들의 상대적 효율성 분석을 위해 투입, 산출, 환경변수를 선정하였다. 각각의 변수 설정을 위해 <표 1>에서 보는 바와 같이 기존의 선행연구들을 검토하였다. 대다수의 연구에서 산출 변수로 화물 물동량과 컨테이너 물동량을, 투입 변수로는 주로 선석 길이, 선석 수, 야드 면적 등을 활용하였음을 알 수 있다.

본 연구에서는 산출요인으로 화물물동량을, 그리고 투입요인으로는 선석길이와 선석수로 선정하고 분석을 시행하였다. 산출요인으로 선정된 화물물동량은 항만의 생산성과 운영의 효과를 대변하는 지표이며, 항만 규모를 평가하는 결정적인 요인으로 평가되기도 한다. 또한 투입요인으로 선정한 선석 수와 길이는 항만의 규모를 반영하는 항만의 기본인프라로서 선박의 정박 시간을 결정하고 선박의 정박을 제한함으로써 화물물동량 처리에 영향을 미치게 되어 항만의 효율성에 중요한 영향을 미치게 된다(Huang et al., 2018; Peng et al., 2018).

<표 1> 선행연구들의 투입, 산출, 환경 변수

저자	년도	투입 변수	산출 변수	환경변수
Bergantino et al.	2013	안벽크기, 터미널수, 취급항만면적,	총물동량, 총TEU	PGDP, 인구밀도, 고용률, 접근성

7) 양쯔강 연안 14개 주요 내륙항만: 池州(츠저우), 合肥(허페이), 黄石(황스), 荆州(징저우), 武汉(우한), 宜昌(이창), 长沙(창사), 常州(창저우), 南京(난징), 南通(난통), 镇江(전강), 南昌(난창), 扬州(양저우), 泰州(태저우).

		취급장비		
Dan et al.	2013	터미널길이, 취급장비수량, 인력	컨테이너처리량	GDP, 수입량, 수출량, 지역인구
Huang et al.	2018	선석길이, 선석수, 항만투자건설 수준	화물처리량	GDP, 항로 수, 평균선석수심, 배후교통망 밀도, 항만 내 고급인력 비율
Tong et al.	2020	선석, 선석길이, 부피, 수량, 순증량, 항만산업고정자산의 순가치, 항만근로자수	화물처리량, 컨테이너처리량, 화물처리량 증가율, 컨테이너처리량 증가율	GDP, 평균임금, 수출입총액, 총인구, 고속도로 노선 마일리지
Lin and Lu	2021	선석길이, 선석수	화물처리량	인구, GDP, 수출입투자, 운송지역의 평균급여, 외국인 투자
Zhang et al.	2021	교량수, 선석수, KT 선석수, 시설수, 선석길이, 야드면적, 도선시간, 근로자수, 항만투자, 시가, 주당수익	화물 처리량, 화물처리량 증가율, 컨테이너 처리량, 컨테이너처리량 증가율, 화물 처리 능력, 컨테이너 처리 능력, 연간 총 가치, 연간 총 가치 증가율	노선수, 평균정박길이, GDP, 내륙교통마일리지
Zhu and Lin	2021	선석수, 터미널 길이	컨테이너처리량 화물처리량	GDP, 수출입총액, 인구, 외자자본총액

또한 항만효율성에 영향을 미치는 환경요인을 배제하고 항만의 순수한 상대적 효율성을 분석하기 위해 본 연구에서는 항만이 위치한 배후지역의 경제발전수준, 대외무역수준, 인구 규모, 외국자본의활용수준 이상 4가지 환경변수를 설정하여 이러한 환경요인들의 효과를 배제하고자 하였다.

첫째, 지역경제 발전 수준은 항만 화물물동량과 밀접한 관련이 있으며 경제가 더욱 발전한 지역은 상대적으로 활발한 운송물류 시스템을 갖추고 있다(Sun and Chen, 2009). 일반적으로 항만 배후 도시의 GDP는 이러한 항만 배후도시의 경제수준을 대변하는 환경변수로 주로 사용되어 왔으며(Li et al., 2022) 본 연구에서도 역시 항만 배후 도시의 GDP를 배후 도시의 경제수준을 대변하는 환경변수로 사용하였다.

둘째, 배후도시의 수출입과 항만 물동량 사이에는 강한 상관관계가 존재한다(Fan et al., 2022). 즉, 대외무역 수준이 높은 지역은 항만 의존도가 높고, 물류효율성에도 영향을 미치게 된다(Li et al., 2022). 따라서 본 연구에서는 배후도시의 대외무역 수준을 대변하는 환경변수로 수출입 무역총액을 선정하였다.

셋째, 인구 규모는 도시의 도시화 발전 규모를 반영하며, 도시화 규모의 향상은 항만의 발전을 견인하게 된다. 즉 도시 인구의 증가가 항만물동량의 확대에 영향을 미칠 수 있기 때문에(Chen et al., 2018) 항만 배후도시의 인구규모를 환경변수로 결정하였다.

넷째, 외국 자본의 유치와 사용은 항만의 금융 및 장비, 기술 등의 시스템 도입과 개선에

영향을 미침으로서 항만 물동량 개발을 촉진할 수 있다(Zhu and Lin, 2021). 따라서 본 연구에서는 이러한 배후도시의 외자활용수준을 하나의 환경변수로 설정하였다.

〈표 2〉 변수 선택

구분	변수	표시	설명	단위
투입변수	선석길이	LENGTH	각 정박지의 총 길이	미터
	선석 수	NUMBER	항만에 사용되는 정박지 수	개
산출변수	화물물동량	PORT THROUGHPUT	연간 입출항 화물량	만 톤
환경변수	경제 수준	GDP	항만 배후 도시의 GDP	억 위안
	대외무역 수준	TRADE	항만 배후 도시 수출입 총액	억 달러
	인구 규모	POPULATION	연말 인구수	만인
	외자 활용수준	FOREIGN	외국 자본의 실제 사용	억 달러

〈표 3〉 기술통계분석 결과

구분	변수	관측 수	평균	표준편차	최소값	최대값
투입변수	선석길이	112	20861	13565.26	4275	71200
	선석 수	112	254.62	199.84	57	910
산출변수	화물물동량	112	8892.52	6302.71	1172.40	24215.01
환경변수	경제수준	112	2.85e+07	2.71e+07	1592756	1.34e+08
	대외무역수준 (수출입무역총액)	112	9643105	9359112	142924.5	4.13e+07
	인구규모 (배후도시인구)	112	230.65	157.65	63.30	672
	외자활용수준	112	159279.90	160928.80	321	964690

2) 자료의 수집

데이터의 가용성과 완전성을 고려하여 본 논문은 양쯔강 연안 14개의 주요 내륙항만을 샘플로 선정하였으며, 2010년부터 2017년까지 총 8년간의 데이터를 수집하고 정리하였다. 이들 데이터는 주로 <중국 항만 연감 (中国港口年鉴)> 과 <중국 도시 통계연감 (中国城市统计年鉴)> 을 토대로 확보되었으며 DEAP2.1 소프트웨어를 사용하여 분석되었다.

2. 실증분석 결과

1) 1단계 : DEA-BCC 분석 결과

지난 2010년부터 2017년까지 8년동안 환경변수와 통계적 잡음의 영향을 고려하지 않고 DEA-BCC모형을 적용하여 분석한 결과는 <표 4>와 같다. 우선 14개 항만의 전체 평균 효율성을 살펴보면 TE가 0.338, PTE가 0.507, 그리고 SE는 0.667로 이는 양쯔강 연안 내륙항만들이 전체적으로 비교적 낮은 효율성을 보이고 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다. 매년 TE값은 0.5를 초과하지 않으며, PTE는 연평균 값이 0.5 내외를 유지하고 있고, SE 값은 0.7에서 0.8 사이를 유지하고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 TE는 PTE와 SE로 구성된다. 따라서 중국 양쯔강 내륙 항만의 TE가 낮은 이유는 낮은 PTE가 견인한 것으로 해석된다. 이는 여전히 내륙항만의 기술환경과 관리수준이 상대적으로 낮음을 나타내는 결과라 할 수 있다. 따라서 전반적으로 여전히 양쯔강 항만들의 생산인프라와 장비의 개선이 필요할 것으로 보인다.

각 항만들의 효율성을 살펴보면 난통항만의 경우, 2010년부터 2017년까지 TE, PTE 및 PTE에서 모두 효율성이 가장 높게 나타났다. 난통항은 중국의 주요 내륙컨테이너항만으로서 양쯔강의 첫 번째 심해항이며 세계 최대의 LNG 선박의 단방향 항해가 이뤄지고 있는 곳이다. 동시에 철광석, 비철금속광석, 비금속광석, 유황, 곡물 등의 벌크화물의 운송도 함께 이뤄지고 있다. 특히 철광석 환적량은 양쯔강 항만의 60% 이상을 차지하고 있다. 즉 난통항의 경우, 현재의 투입인프라를 최대한 활용하고 있는 것으로 보인다. 태저우항은 2010년부터 2013년까지 2위였다가 2014년 이후 효율성이 소폭 하락하였다가 다시 회복세를 보였다. 태저우항은 2014년 컨테이너 부두 시범 운영을 시작했는데 기술효율성차원에서 개선의 여지가 남아있는 것으로 보인다. 전강항의 경우, TE는 3~4위권이었지만 2014년 이후 하락세가 지속되었다. 전강항은 2013년부터 2015년까지 전강항은 저탄소 항만 건설을 위한 실행 계획으로 항만 기계와 장비의 친환경 에너지로의 전환, 선박전력 공급기술 및 에너지 자동화 관리, 항만 지능형 배차 시스템과 같은 저탄소 운영 조치를 시행하였다. 이러한 갑작스러운 기술혁신 정책으로 기인한 결과로 해석해 볼 수 있으며, 저탄소 항만건설이 완성된 이후에는 효율성이 향상할 것으로 기대해볼 수 있다. 창사항의 경우, 초반에는 낮은 효율성을 보였지만 2014년 이후 효율성 개선 및 순위가 꾸준히 상승해오고 있음을 확인할 수 있다. 2014년 베이징-광저우, 상하이-쿤밍(昆明) 고속철 대동맥 두 개가 창사에서 교차하게 됨에 따라 창사는 중국 중부에서 가장 중요한 고속철 황금허브 도시가 되어 입지적 우위를 다졌다. 또한 2014년 창사의 첫 지하철이 개통되어 창사의 경제권이 지속적으로 확장되고 창사항의 화물 흐름이 더욱 촉진되어 창사항의 효율성이 향상된 것으로 보인다. 난징항의 효율성 순위는 줄곧 매우 안정적인 상태를 보이고 있다. 반면에 6위로 출발한 우한항은 TE 순위가 불안정하

고 전반적으로 하락세를 보이고 있는데, 이는 우한항이 양쯔강 중상류 입지하고 있다는 지리적 한계 때문일 수 있다. 유사하게, 황스항, 이창항, 창저우항 및 징저우항은 모두 제한된 지리적 위치로 인해 전반적으로 이들 항만의 효율성은 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

특히, 태저우항, 전강항, 난징항, 양저우항, 창저우항 등 상위 6개 항만이 모두 장쑤성(江苏省)에 위치하고 있는데 장쑤성은 중국에서 유일하게 강(江), 하(河), 항만이 존재하는 성이다. 장쑤성 항만은 화물 통과 능력, 만 톤 이상의 정박지 수 등 여러 지표에서 전국 1위를 차지하고 있으며, 경제발전으로 인하여 장쑤성에 위치한 항만들은 상대적으로 다른 내륙항만에 비해 효율성이 높은 것으로 나타났다.

양쯔강 유역에 따른 효율성을 비교해보면, 역시 징저우항과 이창항을 포함한 중상류 항만⁸⁾들은 주로 PTE와 TE가 낮게 나타나고 있는 반면 하류의 대부분 항만⁹⁾에서는 상대적으로 높은 효율성을 보이고 있음을 알 수 있다.

〈표 4〉 양쯔강 내륙항만의 상대적 효율성 분석 결과(2010-2017)

항만	구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Mean
창저우	TE	0.312	0.37	0.387	0.412	0.357	0.337	0.397	0.405	0.372
	PTE	0.371	0.459	0.531	0.534	0.47	0.448	0.511	0.549	0.484
	SE	0.84	0.807	0.729	0.771	0.76	0.752	0.778	0.739	0.772
허페이	TE	0.407	0.561	0.343	0.28	0.359	0.445	0.492	0.552	0.430
	PTE	0.502	0.691	0.431	0.343	0.449	0.533	0.56	0.711	0.528
	SE	0.812	0.812	0.795	0.817	0.798	0.836	0.878	0.776	0.816
황스	TE	0.206	0.21	0.217	0.233	0.25	0.374	0.717	0.422	0.329
	PTE	0.273	0.308	0.382	0.373	0.402	0.505	0.949	0.606	0.475
	SE	0.753	0.684	0.567	0.625	0.623	0.74	0.755	0.697	0.681
징저우	TE	0.058	0.051	0.062	0.065	0.071	0.072	0.079	0.077	0.067
	PTE	0.077	0.074	0.109	0.109	0.107	0.107	0.116	0.118	0.102
	SE	0.747	0.693	0.564	0.595	0.661	0.671	0.681	0.658	0.659
우한	TE	0.41	0.357	0.327	0.309	0.31	0.334	0.373	0.402	0.353
	PTE	0.418	0.381	0.367	0.34	0.35	0.369	0.401	0.451	0.385
	SE	0.983	0.936	0.891	0.907	0.886	0.904	0.93	0.892	0.916
이창	TE	0.107	0.131	0.062	0.073	0.164	0.178	0.231	0.283	0.154
	PTE	0.12	0.151	0.086	0.092	0.191	0.199	0.251	0.33	0.178
	SE	0.889	0.873	0.726	0.796	0.857	0.894	0.919	0.857	0.851
창사	TE	0.53	0.535	0.633	0.691	0.708	0.777	0.833	0.551	0.657
	PTE	0.586	0.622	0.905	0.918	0.972	1	1	0.661	0.833
	SE	0.905	0.86	0.7	0.753	0.728	0.777	0.833	0.832	0.799
창저우	TE	0.241	0.228	0.196	0.207	0.182	0.163	0.18	0.174	0.196
	PTE	0.246	0.238	0.214	0.219	0.201	0.177	0.192	0.194	0.210
	SE	0.978	0.958	0.916	0.948	0.906	0.919	0.934	0.898	0.932
난징	TE	0.493	0.558	0.529	0.505	0.498	0.487	0.498	0.468	0.505
	PTE	0.494	0.899	1	1	1	1	1	1	0.924
	SE	0.999	0.621	0.529	0.505	0.498	0.487	0.498	0.468	0.576

8) 중상류 항만군 :이창항, 황스항, 징저우항, 우한항, 창사항, 난징항을 포함

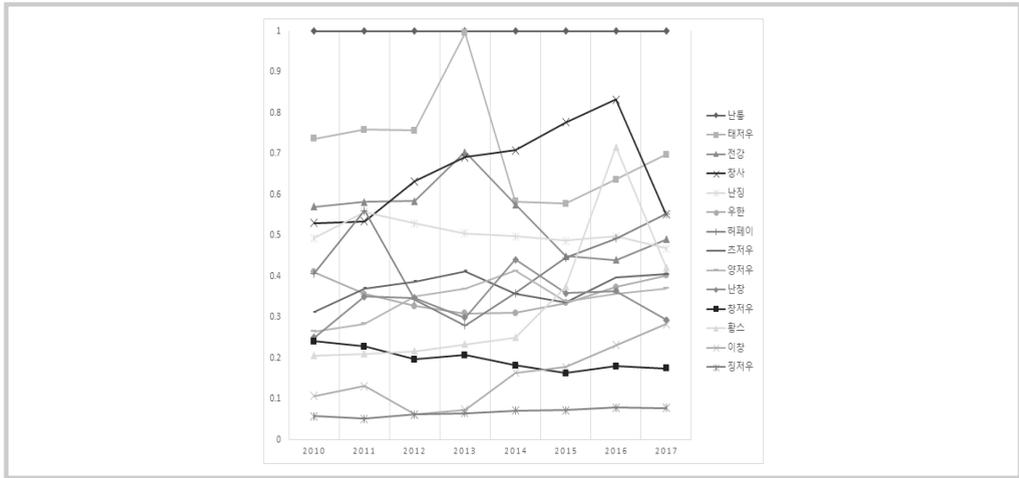
9) 하류항만군: 츠저우항, 허페이항, 창저우항, 난징항, 난통항, 전강항, 양저우항과 태저우항

난통	TE	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	PTE	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SE	1	1	1	1	1	1	1	1	1
전강	TE	0.57	0.582	0.584	0.704	0.576	0.449	0.44	0.49	0.549
	PTE	0.58	0.597	0.603	0.723	0.6	0.469	0.456	0.519	0.568
	SE	0.984	0.976	0.969	0.974	0.96	0.956	0.965	0.944	0.966
난창	TE	0.25	0.35	0.347	0.299	0.441	0.359	0.364	0.293	0.338
	PTE	0.366	0.483	0.561	0.485	0.655	0.508	0.545	0.456	0.507
	SE	0.683	0.725	0.618	0.617	0.673	0.706	0.668	0.643	0.667
양저우	TE	0.265	0.284	0.35	0.369	0.413	0.339	0.358	0.37	0.344
	PTE	0.276	0.3	0.383	0.389	0.438	0.36	0.373	0.396	0.364
	SE	0.961	0.947	0.914	0.948	0.943	0.941	0.959	0.934	0.943
태저우	TE	0.737	0.759	0.757	0.996	0.583	0.578	0.637	0.698	0.718
	PTE	0.752	0.777	0.783	1	0.636	0.621	0.648	0.712	0.741
	SE	0.98	0.977	0.967	0.996	0.917	0.93	0.984	0.98	0.966
평균	TE	0.399	0.427	0.414	0.439	0.422	0.421	0.471	0.442	0.429
	PTE	0.435	0.515	0.515	0.510	0.535	0.528	0.578	0.499	0.468
	SE	0.894	0.848	0.778	0.804	0.801	0.822	0.842	0.808	0.824

〈표 5〉 상대적 기술효율성(TE) 순위

항만 \ 연도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
난통	1	1	1	1	1	1	1	1
태저우	2	2	2	2	3	3	4	2
전강	3	3	4	3	4	5	7	5
창사	4	6	3	4	2	2	2	4
난징	5	5	5	5	5	4	5	6
우한	6	8	10	8	10	11	9	9
허페이	7	4	9	10	8	6	6	3
츠저우	8	7	6	6	9	10	8	8
양저우	9	10	7	7	7	9	11	10
난창	10	9	8	9	6	8	10	11
창저우	11	11	12	12	12	13	13	13
황스	12	12	11	11	11	7	3	7
이창	13	13	14	13	13	12	12	12
징저우	14	14	13	14	14	14	14	14

〈그림 2〉 상대적 기술효율성 순위



2) 2단계 : SFA 분석 결과

두 번째 단계로 SFA 확률변경분석을 위하여 첫 단계에서 얻은 각 투입 변수의 여유분 (slack)을 종속 변수로 사용하고, 환경요인으로 선정한 4개의 변수, 즉 배후도시의 GDP, 인구, 수출입총액, 외자활용수준을 각각 독립변수로 선택하여 FRONTIER 4.1 소프트웨어를 활용하여 회귀분석을 시행하였다.

SFA 회귀분석은 투입 변수의 여유분을 종속변수로 추정하므로 추정 계수가 음수이면 환경 요인이 슬랙(여유분)에 긍정적 영향을 미침으로 환경 요인이 투입물 여유분을 줄이는 데 유리한 요소로 작용하며 반대로 추정계수가 양수이면 이 환경변수가 투입 여유분을 줄이는 데 불리함을 나타낸다.

〈표 6〉에서 보는 바와 같이 해당 자유도에서의 카이제곱 분포표와 비교하여 자유도가 4 이고 λ 값이 1일 때 선석의 길이와 선석 수의 우도비 검정 LR 값은 각각 12.4와 11.6으로 모두 5% 유의수준에서 유의하게 나타났다. 이는 경영 비효율성이 존재하며 SFA 모델을 사용할 수 있음을 보여준다. 위의 4가지 환경적 요인과 투입 여유분의 SFA 회귀계수에 따르면 배후도시의 GDP는 선석 수의 여유분에 유리한 요소로 작용하며 항만 화물물동량 증가를 촉진하여 항만 기반 시설의 발전을 촉진하고 항만 효율성을 향상시킬수 있음을 보여준다. 도시의 수출입총액은 두 변수의 여유분에 불리하며 수출입 무역의 증가는 항만의 고정 자산에 대한 투자를 증가시킬 수 있지만 그에 따라 생산량이 증가하지 않아 항만 자원의 활용도가 감소시킬 수 있음을 나타낸다. 인구 규모는 선석길이에 유리한 요소로 더 많은 인구가 운송 수요를 증가시키고 운송 투입의 여유분을 감소시켜 운송 효율성을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 인구 규모는 선석 수에 대해서는 불리한 요소로 작용하고 있는데, 인구 증가는 배후 경제의 성장을 촉진할 수 있지만 경제 성장은 항만에 대한 맹목적인 투자 증가

로 이어져 결국 자원 낭비를 초래하고 항만 효율에 영향을 미칠 수 있다고 해석해볼 수 있다. 외자 활용 수준은 두 투입물 변수의 여유분에 모두 불리하게 작용하며, 이는 항만이 선석의 대규모 건설에 너무 많은 투자를 하고 기반 시설 건설과 자산 활용 사이에 자원의 효과적인 배분이 이루어지지 않았음을 보여주는 결과라 할 수 있다. 과도한 외자 자산 사용으로 선석이 방치되고 운항 자원이 낭비돼 운항 효율성이 떨어졌기 때문으로 보인다.

위의 상황은 중국의 양쯔강 연안 내륙항만의 운영 효율이 환경적 요인과 통계적 잡음의 영향을 크게 받는다는 것을 보여주며, 환경적 요인과 통계적 잡음의 영향을 제거하지 않으면 효율성 평가에 오류를 발생시킬 가능성을 보여준다. 따라서 본 논문에서는 현 단계의 회귀 결과에 따라 항만 투입 변수를 재조정하여 원래의 산출 변수를 그대로 유지하고 Deap2.1 소프트웨어를 다시 사용하여 환경적 요인과 통계적 잡음의 영향을 제거한 항만의 실제 효율성 값을 구하였다.

〈표 6〉 SFA 회귀분석 결과

구분	LENGTH		NUMBER	
	coef.	S.E	coef.	S.E
Constant Term	-8.69E+02 ***	1.00E+00	-9.16E+01 ***	1.01E+00
GDP	1.82E-05	1.49E-04	-4.57E-06 *	2.75E-06
FOREIGN	1.64E-02 *	1.85E-02	5.64E-04 *	4.63E-04
POPULATION	-1.64E+01 ***	9.95E-01	3.40E-01 *	2.99E-01
TRADE	8.90E-05 *	9.70E-05	3.95E-06 *	4.34E-06
σ^2	3.12E+08 ***	1.00E+00	1.11E+05 ***	1.00E+00
λ	1.00E+00 ***	1.14E-06	1.00E+00 ***	7.80E-06
log likelihood function	-3.71E+02		-2.33E+02	
LR test of the one-side error	1.24E+01		1.16E+0.1	

주: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

3) 3단계 : 조정 후 DEA 분석 결과

2단계 SFA 회귀 결과에 따른 환경적 요인과 통계적 잡음을 제거 후 다시 조정된 값을 토대로 DEA-BCC 모델의 투입 및 산출 값에 대입하여 각 DMU의 효율성 값을 분석하였다.

1단계와 3단계 효율성의 값을 비교하면 환경적 요인과 통계적 잡음의 영향을 제거한 후

각 DMU의 효율성 값의 변화를 확인할 수 있다. <표 7>에서 보는 바와 같이 14개 항만의 평균 TE값은 1단계 분석 값인 0.429에서 0.421로 약간 낮아졌고, PTE는 0.468에서 0.725로 크게 향상되었다. 반면에 SE는 0.824에서 0.567로 크게 감소했다. 이는 각 항만의 PTE의 비효율성이 환경적 요인과 통계적 잡음에서 비롯됨을 증명한다. 그리고 대부분의 경우에는 PTE가 SE보다 높기 때문에 항만은 항만 규모 최적화에 주의를 기울여야 한다.

<표 7> 3단계 조정된 효율성 분석 결과(2010-2017)

항만	구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Mean
창저우	TE	0.181	0.211	0.235	0.294	0.233	0.223	0.269	0.278	0.241
	PTE	0.6	0.689	0.677	0.632	0.719	0.757	0.712	0.805	0.699
	SE	0.302	0.307	0.348	0.466	0.324	0.295	0.378	0.345	0.346
허페이	TE	0.227	0.308	0.319	0.319	0.298	0.351	0.382	0.393	0.325
	PTE	0.911	0.954	0.612	0.485	0.684	0.783	0.747	0.98	0.770
	SE	0.25	0.323	0.521	0.658	0.436	0.448	0.511	0.401	0.444
황스	TE	0.115	0.118	0.13	0.168	0.152	0.216	0.299	0.243	0.180
	PTE	0.593	0.652	0.605	0.554	0.715	0.715	0.847	0.839	0.690
	SE	0.194	0.181	0.214	0.303	0.213	0.301	0.353	0.29	0.256
징저우	TE	0.078	0.064	0.079	0.083	0.078	0.081	0.085	0.089	0.080
	PTE	0.4	0.324	0.346	0.284	0.439	0.443	0.425	0.366	0.378
	SE	0.195	0.196	0.229	0.294	0.178	0.183	0.201	0.244	0.215
우한	TE	0.862	0.549	0.504	0.528	0.397	0.448	0.434	0.635	0.545
	PTE	1	0.875	0.72	0.686	0.851	0.874	0.978	1	0.873
	SE	0.862	0.628	0.7	0.769	0.467	0.513	0.444	0.635	0.627
이창	TE	0.144	0.154	0.104	0.112	0.185	0.205	0.236	0.286	0.178
	PTE	0.394	0.363	0.234	0.202	0.353	0.363	0.414	0.52	0.355
	SE	0.367	0.424	0.442	0.553	0.524	0.565	0.569	0.549	0.499
창사	TE	0.438	0.458	0.401	0.736	0.344	0.389	0.419	0.476	0.458
	PTE	1	1	1	1	1	1	1	0.958	0.995
	SE	0.438	0.458	0.401	0.736	0.344	0.389	0.419	0.497	0.460
창저우	TE	0.392	0.294	0.264	0.289	0.254	0.219	0.214	0.226	0.269
	PTE	0.514	0.41	0.354	0.312	0.389	0.338	0.318	0.347	0.373
	SE	0.763	0.717	0.746	0.927	0.653	0.649	0.673	0.65	0.722
난징	TE	1	0.91	0.843	0.792	0.632	0.629	0.601	0.586	0.749
	PTE	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SE	1	0.91	0.843	0.792	0.632	0.629	0.601	0.586	0.749
난통	TE	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	PTE	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SE	1	1	1	1	1	1	1	1	1
전강	TE	0.706	0.605	0.629	0.732	0.575	0.462	0.452	0.517	0.585
	PTE	0.848	0.738	0.704	0.826	0.71	0.607	0.615	0.661	0.714
	SE	0.832	0.82	0.893	0.887	0.81	0.762	0.735	0.781	0.815
난창	TE	0.15	0.218	0.173	0.187	0.237	0.23	0.208	0.215	0.202
	PTE	1	1	0.968	0.853	0.983	0.948	1	1	0.969
	SE	0.15	0.218	0.179	0.219	0.241	0.242	0.208	0.215	0.209

양저우	TE	0.415	0.365	0.393	0.445	0.427	0.359	0.367	0.405	0.397
	PTE	0.608	0.559	0.522	0.489	0.56	0.501	0.495	0.54	0.534
	SE	0.681	0.653	0.752	0.911	0.763	0.717	0.741	0.751	0.746
태저우	TE	0.663	0.711	0.711	0.922	0.572	0.554	0.624	0.723	0.685
	PTE	0.826	0.874	0.798	0.945	0.755	0.705	0.749	0.792	0.806
	SE	0.802	0.813	0.891	0.976	0.757	0.786	0.833	0.912	0.846
평균	TE	0.455	0.426	0.413	0.472	0.385	0.383	0.399	0.434	0.421
	PTE	0.764	0.746	0.681	0.662	0.726	0.717	0.736	0.772	0.725
	SE	0.560	0.546	0.583	0.678	0.524	0.534	0.548	0.561	0.567

〈표 7〉에 따르면 2단계를 거친 조정된 DEA 분석결과 양쯔강 내륙항만의 효율이 크게 달라졌음을 알 수 있으며, 변화폭이 클수록 외부 요인이 효율에 미친 영향이 컸음을 확인할 수 있다. 특히 우한항, 난창항, 츠저우항, 허페이항의 평균 PTE 값은 변화의 폭이 비교적 크게 나타났는데, 조정 전후 난창항, 츠저우항, 허페이항, 황스항, 징저우항에서 SE 평균값의 큰 변화도 감지되었다. 심지어 황스항, 징저우항 및 난창항의 경우 SE 효율성 값이 절반이상 낮아지기도 하였다.

보다 구체적으로 살펴보면 조정된 효율성 결과에서 난통항의 여전히 효율성 값 1을 보이며 상대적으로 가장 높은 효율성을 보였다. 난징항의 경우, PTE 값은 2010년부터 2017년까지 1이었지만 SE의 값은 2017년에 하락세를 보이고 있다. 창사항, 허페이항, 난창항의 PTE는 상대적으로 고효율 수준이지만 SE가 너무 낮아 TE도 낮게 평가되었다. 우한항은 환경요인과 통계적 잡음의 영향을 제거한 후 전반적인 TE 추세가 감소하고 PTE는 0.686으로 떨어진 후 회복세를 보이면서 비교적 높은 수준의 효율성을 유지하고 있는 양상이다. 반대로 SE는 변화 폭이 크고 불규칙하게 나타났다. 태저우항의 각 효율 값은 2010년부터 2017년까지 큰 변동 없이 비교적 안정적인 수준을 유지하였는데, 이는 외부의 환경요인이 크게 작용하지 않았음을 보여준다.

조정 후의 TE를 기준으로 한 효율성 순위를 보면, 〈표 9〉에서 보는 바와 같이 난통항이 조정 전후 모두 1위를 기록하였다. 난통항은 고효율의 기반시설을 토대로 높은 물동량을 창출하면서 전체적으로 높은 항만운영능력을 보여주고 있다. 난통항은 양쯔강 하류 북부에 위치하고 있으며 강(江), 하(河), 해(海)가 만나는 중추적 허브항만으로서 중국 남북 연안의 각 항만과 세계 각 항만을 통항할 수 있는 중국의 1종 대외 개방항임과 동시에 상하이 국제 운항센터 조합항의 주요 구성원이다¹⁰⁾. 현재 난통항은 양쯔강 연안에서 가장 선진적인 벌크 운영 시스템을 갖추고 있으며, 최대 톤수의 벌크 부두와 양쯔강 항만 중 최대 면적의 항만 인프라를 보유하고 있으며 양쯔강 연안 항만 중 가장 큰 광석 중계 기지와 대두 및 유채 수출입 기지(Lu and Wang, 2020)의 역할을 수행하고 있다. 2위는 난징항으로 나타났는데, 난징항은 2010년 효율성 값이 1로 난통항과 함께 1위를 차지했다. 2010년부터 2013년까지 1단계에서 2위를 차지한 타이저우항은 3단계에서 3, 4위를 기록했다. 전강항의 TE순위는 여

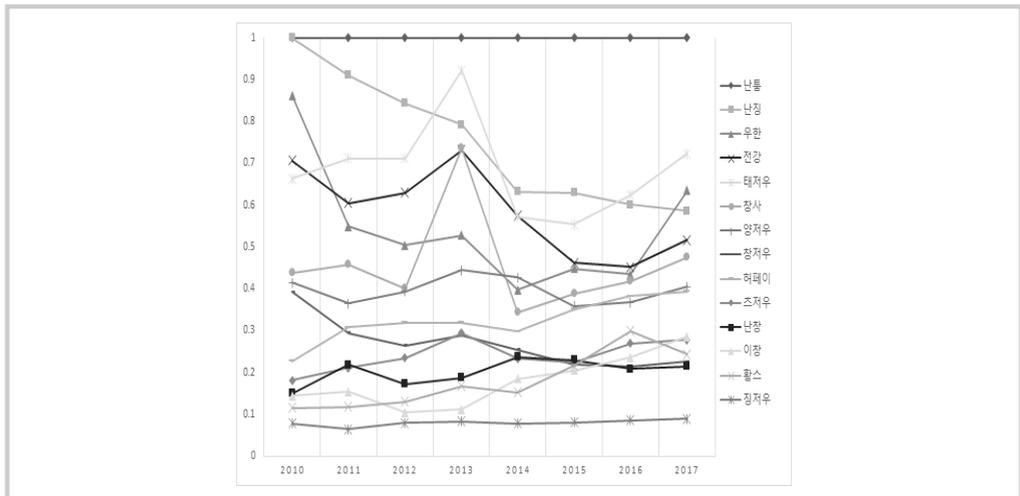
10) <https://www.chinaports.com>

전히 1단계와 마찬가지로 3~5위로 나타났다. 창사항의 TE순위는 외부 요인을 제거한 후 감소하였는데, 이는 창사항의 항만 효율성이 환경 요인에 더 많이 의존함을 보여준다. 창사항은 양쯔강 중류에 위치하고 있으며 양쯔강 유역의 배후지로서 동서남북을 연결하고 교통환경이 상대적으로 우위에 있어 향후 입지적 잠재력으로 항만 건설과 투자가 더욱 활발해 질 것으로 보인다. 황스항, 이창항 및 징저우항의 순위는 여전히 상대적으로 낮게 나타났는데, 이는 환경적 요인 및 통계적 잡음을 제외하더라도 이들 항만의 효율성은 양쯔강 연안의 다른 항만에 비해 여전히 뒤떨어져 있음을 보여준다.

〈표 9〉 3단계 DEA 분석 결과 항만효율성의 순위

항만 \ 연도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
난통	1	1	1	1	1	1	1	1
난징	1	2	2	3	2	2	3	4
우한	2	5	5	6	6	5	5	3
전강	3	4	4	5	3	4	4	5
태저우	4	3	3	2	4	3	2	2
창사	5	6	6	4	7	6	6	6
양저우	6	7	7	7	5	7	8	7
창저우	7	9	9	10	9	11	12	12
허페이	8	8	8	8	8	8	7	8
츠저우	9	11	10	9	11	10	10	10
난창	10	10	11	11	10	9	13	13
이창	11	12	13	13	12	13	11	9
황스	12	13	12	12	13	12	9	11
징저우	13	14	14	14	14	14	14	14

〈그림 3〉 연도별 항만효율성의 변화



〈표 8〉는 중상류 및 하류 유역에 따라 항만을 구분하여 평균효율을 계산한 다음 유역별 효율성 값을 비교 분석한 결과이다. 1단계와 비교하여 중상류 및 하류의 평균 TE 값은 1단계와 비교하여 큰 변화가 없었으며 PTE 및 SE는 3단계에서 분석 결과에서 평균 효율성 값에 분명한 변화가 확인되었다. PTE의 경우 양쯔강 중상류는 조정 전 0.413에서 0.710으로 크게 증가했는데, 이는 양쯔강 중상류의 환경 요인이 항만물동량 수준 즉 산출 변수 수준을 제한했음을 나타내며, 동시에 항만의 관리 능력이 높지만 개발 환경은 상대적으로 열악하다고 볼 수 있다. SE 분석결과에 따르면 중상류의 평균값은 0.762에서 0.378로 감소하였고 하류의 경우 SE의 평균값은 0.162 감소하였다. 이는 운영효율성에 있어서 중상류의 항만에서의 환경요인의존도가 하류에 비해 높은 것으로 분석되었다.

〈표 8〉 조정 전후 효율성 비교(2010~2017)

	TE			PTE			SE		
	TE1	TE2	변화	PTE1	PTE2	변화	SE1	SE2	변화
중상류	0.316	0.274	-0.042	0.413	0.710	+0.297	0.762	0.378	-0.384
하류	0.514	0.531	+0.017	0.602	0.648	+0.046	0.871	0.709	-0.162

V. 결론 및 제언

최근 몇 년 동안 중국 내륙 항만 간의 과열경쟁이 심화되면서, 항만 자체의 운영 효율성을 개선함으로써 항만의 경쟁력을 향상시키는 것이 무엇보다 중요해지게 되었다. 특히 중국의 대내외 경제에 있어 경제 및 물류 대동맥인 양쯔강은 최근 중국의 최상위 정책인 일대일로 비전의 추진으로 입지적 중요성과 함께 양쯔강 내륙 항만들의 역할과 기능이 더욱 강조되고 있다. 중국의 주요 대내외 해운 관문으로서의 역할을 하게 될 양쯔강 내륙항만들은 이미 치열한 경쟁에 합류한 상태이다.

각 항만들이 경쟁력을 확보하기 위해서는 우선 현재의 각 항만의 효율성 수준을 확인함으로써 경쟁 환경에서 발생할 수 있는 위기와 기회를 식별하고, 적절한 대응책을 취할 수 있도록 해야 한다. 하지만 그동안 양쯔강 유역의 항만들의 효율성을 평가한 연구는 Zhang and Du(2018) 연구를 제외하고 거의 이뤄지지 않았다. 따라서 본 연구는 Zhang and Du(2018) 연구를 더욱 발전시켜 14개 양쯔강 내륙항만을 대상으로 2010년부터 2017년까지의 패널데이터를 구축하고, 3단계 DEA를 통해 실질적인 효율성을 분석하고자 하였다. 동시에 시간의 흐름에 따른 효율성의 변화와 함께 유역별 효율성의 차이도 함께 검토하였다.

분석을 위하여 우선 1단계 DEA-BCC를 통해 효율성을 분석하고, 2단계에서는 SFA 회귀 분석을 통해 효율성에 영향을 미칠 수 있는 환경변수(배후도시 GDP, 도시 총인구, 수출입총

액, 외자활용수준)들의 영향과 통계적 잡음을 제거하였다. 그 후 3단계 DEA-BCC를 통해 조정된 효율성값을 도출하고 1단계의 전통적 DEA분석결과와의 비교를 통해 환경변수들의 효과를 검토하였다.

분석결과를 살펴보면, 우선 14개 항만의 전체 평균 효율성은 TE가 0.338, PTE가 0.507, 그리고 SE는 0.667로 전체적으로 낮게 평가되었다. 중국 양쯔강 내륙 항만의 TE가 낮은 이유는 낮은 PTE가 견인한 것으로 해석된다. 이는 여전히 내륙항만의 기술환경과 관리수준이 최대의 효율성을 발휘하고 있지 못한 상태임을 말해주며 여전히 개선의 여지가 많이 남아있음을 대변하는 결과이다. 개별 항만들의 효율성을 살펴보면 난통항만의 경우, 2010년부터 2017년까지 TE, PTE 및 PTE에서 모두 효율성이 가장 높게 나타났다. 그리고 태저우항 전강항 등 주로 연안에 가까운 하류 항만의 효율성이 높게 평가되었다. 특히 창사항의 경우, 중국 중부의 주요 교통 물류 허브도시로의 입지적 우위를 지닌 중상류항만임에도 불구하고 4위의 효율성을 갖는 것으로 평가되었다.

2단계 SFA 분석결과 양쯔강 연안 내륙항만의 운영 효율이 도시 GDP, 도시 총인구, 수출입총액, 외자활용수준과 같은 환경적 요인과 통계적 잡음의 영향을 크게 받는다는 것은 확인하였다. 따라서 이러한 환경요인과 통계적 잡음의 영향을 제거하여 효율성 값을 조정하였다. 이러한 조정된 값을 통해 얻게 된 최종적 3단계 DEA-BCC 분석 결과, 14개 항만의 평균 효율성 값이 1단계 분석 값과의 확인한 차이가 있음이 확인되었다. 14개 항만의 전반적인 종합효율성은 평균 0.429에서 0.421로 약간 낮아졌고, PTE는 0.468에서 0.725로 크게 향상된 반면 SE는 0.824에서 0.567로 크게 감소했다. 이는 각 항만의 순수기술효율성 차원에서 비효율성이 환경적 요인과 통계적 잡음에서 비롯됨을 증명하는 것이라 할 수 있다.

각 항만들의 효율성 변화를 살펴보면 조정된 효율성 결과에서 역시 난통항이 여전히 상대적으로 가장 높은 효율성을 보였다. 그리고 1단계에서 4~5위의 효율성을 보인 난징항의 경우 순위가 최종 결과값에서는 2~3위로 효율성이 향상되었음을 확인할 수 있다. 즉 1단계에서 종합효율성 순위는 데이터상 가장 최근인 2017년을 기준으로 봤을 때, 난통항, 태저우항, 허페이항, 창사항, 전강항 등의 순위였으나, 2단계를 통해 조정된 이후에 이들 순위는 1위 난통항, 태저우항, 우한항, 난징항, 전강항 순으로 변화되었음을 확인할 수 있다. 이는 전통적 DEA분석 결과값이 다른 여러 환경요인에 크게 좌우되고 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 3단계 DEA 분석을 통해 이러한 환경요인을 배제한 항만 자체의 순수한 상대적 효율성 평가하여 제시할 수 있었다.

이러한 결과를 토대로 다음과 같은 시사점을 제시할 수 있다. 첫째, 각 항만운영사 및 지방정부는 양쯔강 내륙항만들의 순수한 상대적 효율성 분석 결과를 토대로 항만의 인프라 및 기술측면과 운영측면, 어느 부분에서의 효율성 개선이 필요한지 정확한 진단과 이에 대한 대응책을 마련해야 한다. 따라서 난통항을 제외한 다른항만의 경우 2010년 이후 전체적으로 효율성이 낮아지고 난통항과의 격차가 커지고 있는 상황에서 난통항의 사례를 면밀히 진단하여 벤치마킹할 필요가 있을 것이다. 예를 들어 난통항은 기본적으로 입지적 우위가 있기는

하지만 기술과 규모효율성에서 매우 높은 경영효율성을 발휘하고 있다. 이에 타 항만들은 난통항의 하드웨어 인프라의 배치와 활용, 그리고 소프트웨어 측면에서의 항만 운영전략 등을 구체적으로 검토하여 벤치마킹함으로써 경쟁력을 향상해야 한다. 둘째, 분석결과, 양쯔강의 중상류 지역은 입지적 한계로 인해 하류 항만에 비해 상대적으로 효율성이 낮게 평가되었다. 그러나 중상류지역 역시 중국의 새로운 경제중심축인 서부내륙 지역으로의 접근과 일대일로 노선의 주요한 관문이라는 점을 고려할 때 입지적 중요성을 무시할 수 없다. 따라서 중국 중앙정부는 양쯔강 하류에서 중상류에 이르기까지의 전반적으로 낮은 효율성을 지니고 있는 양쯔강 내륙항만들의 스마트화 및 운영효율성 향상을 위한 기본 인프라 지원이 필요하며, 유역별 환경에 따른 차별적 투자가 이뤄져야 할 것이다. 항만들 역시 기술과 규모효율성을 최대화하기 위한 운영전략의 마련이 시급하다. 마지막으로 선박은 한 항만에서만 정박하는 것이 아니라 다수의 항만을 기항하며 운영하기 때문에 양쯔강 내륙항만 간 연결을 강화하고 정보의 공유 등 항만간 비즈니스 및 기술협력의 강화가 요구된다 할 수 있다.

지난 2021년 11월 중국 정부는 외국적 선사에 대해 연안 카보타지(Cabotage)를 3개 항만(다롄, 톈진, 칭다오)을 대상으로 2024년까지 한시적으로 허용하기로 하였다(노컷뉴스, 2021. 12. 09). 카보타지는 자국 내 연안운송을 자국 선박으로 제한하는 정책으로 중국은 '샤오파이'로 불려지기도 한다(김세원, 2021). 만일 이러한 내륙 연안 운송의 카보타지가 개방된다면 그동안 중국의 내륙 연안운송의 사업의 진출 또한 가능해지게 된다. 이러한 상황에서 본 연구는 중국 내륙연안운송의 주요한 물류 대동맥인 양쯔강 내 연안항만들의 경영효율성을 비교해봄으로써 한국의 해운 기업 및 항만운영사에게 양쯔강 내 환적항만의 선택 문제와 함께 한중 해운네트워크 구축, 그리고 중국의 연안항만 운송 사업 진출에 대한 중요한 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

본 연구는 기존의 선행연구들과 달리 다음과 같은 차별성을 갖는다. 첫째, 양쯔강 내수로 항만을 대상으로 한 효율성 분석 연구가 거의 이뤄지지 않은 상황에서 본 연구가 이뤄졌다는 점이다. 둘째, Zhang and Du(2018)의 연구가 양쯔강 항만의 단일연도를 대상으로 효율성을 평가한 반면, 본 연구는 2010년부터 2017년까지 패널데이터를 가지고 효율성을 분석하고 시간의 흐름에 따른 효율성의 변화추이까지 검토하였다는데서 차별성과 학술적 의의를 기대할 수 있다.

참고문헌

- 김세원(2020), “중국의 카보타지 개방 이슈 및 영향 고찰,” 「국제상학」, 제35권 제3호, pp. 269-286.
- “중국 카보타지 허용에도 끄떡없는 부산항...이유는?,” 「노컷뉴스」, 2021.12.09., <https://www.nocutnews.co.kr/news/5670946>,

- Ablanedo-Rosas, J. H., H. Gao, X. Zheng, B. Alidaee and H. Wang (2010), “A study of the relative efficiency of Chinese ports: A financial ratio-based data envelopment analysis approach”, *Expert Systems*, Vol.7 No.5, pp.349-362.
- Bergantino, A. S., E. Musso and F. Porcelli (2013), “Port management performance and contextual variables: Which relationship? Methodological and empirical issues”, *Research in Transportation Business and Management*, Vol.8, pp.39-49.
- Bray, S., L. Caggiani and M. Ottomanelli (2015), “Measuring Transport Systems Efficiency Under Uncertainty by Fuzzy Sets Theory Based Data Envelopment Analysis: Theoretical and Practical Comparison with Traditional DEA Model”, *Transportation Research Procedia*, Vol.5, pp.186-200.
- Chang, Young-Tae, Ah-Hyun Jo, Kyoung-Suk Choi and Suhyung Lee (2021), “Port efficiency and international trade in China”, *Transportmetrica A: Transport Science*, Vol.17 No.4, pp.801-823.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), “Measuring the efficiency of decision making units”, *European journal of operational research*, Vol.2 No.6, 429-444.
- Chen, J., Y. Fei, Y. Zhu and F. Zhang (2018), “Allometric relationship between port throughput growth and urban population: A case study of Shanghai port and Shanghai city”, *Advances in Mechanical Engineering*, Vol.10 No.3, pp.1-11.
- Dai, J. (2020), “Evaluation Method of Logistics Transportation Efficiency of Port Enterprises Based on Game Model”, *Journal of Coastal Research*, Vol.103, pp.609-613.
- Dan, L. I., L. Weixin and P. Feng (2013), “The efficiency measurement of coastal container terminals in China”, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, Vol.13 No.5, pp.10-15.
- Fahim, P. B. M., J. Rezaei, B. Montreuil and L. Tavasszy (2022), “Port performance evaluation and selection in the Physical Internet”, *Transport Policy*, Vol.124, pp.83-94.
- Fan, G., X. Xie, J. Chen, Z. Wan, M. Yu and J. Shi (2022), “Has China’s Free Trade Zone policy expedited port production and development”, *Marine Policy*, Vol.137, pp.1-14.
- Fried, H. O., C. A. K. Lovell, S. S. Schmidt and S. Yaisawarnng (2002), “Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data

- Envelopment Analysis”, *Journal of productivity Analysis*, Vol.17, pp.157-174.
- Gan, W., W. Yao, and S. Huang (2022), “Evaluation of Green Logistics Efficiency in Jiangxi Province Based on Three-Stage DEA from the Perspective of High-Quality Development”, *Sustainability*, Vol.14 No.2, pp. 1-19.
- Gök-Kısa, A. C., P. Çelik and İ. Peker (2022), “Performance evaluation of privatized ports by entropy based TOPSIS and ARAS approach”, *Benchmarking: An International Journal*, Vol.29 No.1, pp.118-135.
- Hua, C., J. Chen, Z. Wan, L. Xu, Y. Bai, T. Zheng and Y. Fei (2020), “Evaluation and governance of green development practice of port: A sea port case of China”, *Journal of Cleaner Production*, Vol.249, pp.1-10.
- Huang, Wen-Chih, Junn-Yuan Teng, Miin-Jye Huang and Ming-Shin Kou (2003), “Port Competitiveness Evaluation by Fuzzy Multicriteria Grade Classification Model”, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol.11 No.1, pp.53-60.
- Huang, X., H. Chen, Y. Wang and H. Piao (2018), “Research on Port Efficiency Measurement Based on Three-stage Cascade Data Envelopment Analysis Control Strategy”, *Proceedings of the 2018 International Conference on Information Science and System*, pp. 43-49.
- Jiang, J. L., Ek-Peng Chew, Loo-Hay Lee and Z. Sun (2012), “DEA based on strongly efficient and inefficient frontiers and its application on port efficiency measurement”, *OR Spectrum*, Vol.34 No.4, pp.943-969.
- Li, D., W. Luan and F. Pian (2013), “The Efficiency Measurement of Coastal Container Terminals in China”, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, Vol.13 No.5, pp.10-15.
- Li, H., L. Jiang, J. Liu and D. Su (2022), “Research on the Evaluation of Logistics Efficiency in Chinese Coastal Ports Based on the Four-Stage DEA Model”, *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.10 No.8, pp.1-20.
- Lin, B. and W. Lu (2021), “Port Efficiency Evaluation Based on Three-Stage DEA Model”, *ICIC Express Letters Part B: Applications*, Vol.12 No.10, pp.925-931.
- Liu, C. C. (2008), “Evaluating the operational efficiency of major ports in the Asia-Pacific region using data envelopment analysis”, *Applied Economics*, Vol.40 No.13, pp.1737-1743.
- Liu, X. and J. Liu (2016), “Measurement of Low Carbon Economy Efficiency with a Three-Stage Data Envelopment Analysis: A Comparison of the Largest Twenty CO₂ Emitting Countries”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol.13 No.11, pp.1-14.

- Lu, W. Z. and L. K. Wang (2020), "Prediction of port logistics demand based on BP neural network-a case study of Nantong Port", *Academic Journal of Computing & Information Science*, Vol.3 No.3, pp.34-42.
- Mou, N., C. Wang, T. Yang and L. Zhang (2020), "Evaluation of development potential of ports in the Yangtze river delta using FAHP-entropy model", *Sustainability*, Vol.12 No.2, pp. 1-24.
- Niu, D., T. Gao, Z. Ji, Y. Liu and G. Wu (2021), "Analysis of the Efficiency of Provincial Electricity Substitution in China Based on a Three-Stage DEA Model", *Energies*, Vol.14 No.20, pp.1-17.
- Nong, T. N. (2022), "Performance efficiency assessment of Vietnamese ports: An application of Delphi with Kamet principles and DEA model", *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, In Press, pp.1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2022.10.002>
- Peng, P., Y. Yang, F. Lu, S. Cheng, N. Mou and R. Yang (2018), "Modelling the competitiveness of the ports along the Maritime Silk Road with big data", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.118, pp.852-867.
- Pérez, I., M. M. González and L. Trujillo (2020), "Do specialisation and port size affect port efficiency? Evidence from cargo handling service in Spanish ports", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.138, pp.234-249.
- Pjevčević, D., A. Radonjić, Z. Hrle and V. Čolić (1970), "DEA Window Analysis for Measuring Port Efficiencies in Serbia", *PROMET - Traffic and Transportation*, Vol.24 No.1, pp.63-72.
- Poitras, G., J. Tongzon and H. Li (1999), "Measuring Port Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis," Working paper Singapore: National University of Singapore. pp.1-18.
- Song, M., G. Jia and P. Zhang (2020), "An Evaluation of Air Transport Sector Operational Efficiency in China based on a Three-Stage DEA Analysis", *Sustainability*, Vol.12 No.10, pp.1-16.
- Sun, H. and X. Chen (2009), "Analysis on Differences of Economic Factors Affecting the Cargo Throughput of Three Main Ports in China", In *Logistics: The Emerging Frontiers of Transportation and Development in China*, pp.3409-3415.
- Sun, Q., L. Chen and Q. Meng (2022), "Evaluating port efficiency dynamics: A risk-based approach", *Transportation Research Part B: Methodological*,

Vol.166, pp.333-347.

- Tong, L., L. G. Zhong, Z. Jing and X. Xiang (2020), "Logistics Efficiency Analysis of Dalian Port in China Considering Environmental Factors and Random Errors: Measurement based on Three-Stage DEA-Tobit Model", Proceedings of the 2020 4th International Conference on Management Engineering, *Software Engineering and Service Sciences*, pp.239-244.
- Wang, M., X. Wu, Y. Xie and Y. Chiu (2022), "Comparative analysis of port efficiency in Yangtze River Delta and Pearl River Delta: A meta Dynamic D.D.F approach", *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, pp.1-21.
- Yu, S., L. Gong and M. Qi (2022), "Efficiency Analysis of the Coastal Port Group in the Yangtze River Delta", *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.10 No.11, pp.1-17.
- Zeng, Z., W. Yang, S. Zhang and F. Witlox (2020), "Analysing Airport Efficiency in East China using a Three-stage Data Envelopment Analysis", *Transport*, Vol.35 No.3, pp.255-272.
- Zhang, J. and L. Du (2018), "Efficiency Evaluation of Main Ports of the Yangtze River Main Line—Empirical Research Based on Three-Stage DEA Model", Proceedings of the 2018 International Conference on Transportation and Logistics, Information and Communication, Smart City (TLICSC 2018), Chengdu City, China.
- Zhang, J. and Y. Li (2021), "Research on the Efficiency of Beijing Tianjin Hebei Logistics Industry Based on Three Stage DEA Model", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol.791 No.1, pp.1-5.
- Zhang, S. and W. Su (2019), "An Improved Evaluation Method on Port Efficiency Based on BP Neural Network", 2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC), pp.1311-1314.
- Zhang, X., J. Lu and Y. Peng (2021), "Efficiency Evaluation of Major Coastal Ports in China: Application of the Three-stage DEA Model", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol.809 No.1, pp.1-8.
- Zhu, B. and B. Lin (2021), "Efficiency Evaluation of Ports in Bohai Rim Region Based on Three-Stage DEA", *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol17 No.3, pp.1067-1074.

Efficiency Assessment of China's Yangtze River Ports - Based on the 3-Stage DEA

Xi-Na Ji

young-Suk Choi

Abstract

As competition between ports intensifies, port efficiency has always been a hot topic in the port and shipping economy. Boosting regional and national economies by improving port efficiency and promoting sustainable development of ports is also a concern for port operators and local and national governments. In this situation, this study has the following objectives. First, using panel data from 2010 to 2017, the efficiency of 14 major inland ports along the Yangtze River was analyzed, and changes in port efficiency over time were examined. Second, 14 inland ports are divided into the middle, upper, and lower Yangtze River port groups to compare and review differences in efficiency levels of ports by basin. For the study, we applied a three-step DEA analysis method, which evaluated the pure relative efficiency of the port itself by removing the effects of environmental factors and statistical noise that could affect the efficiency evaluation and presented the results. As a result, it was confirmed that there was a clear difference in the efficiency value of the port between the first-stage and the third-stage efficiency evaluation result. In addition, the downstream ports showed relatively high efficiency compared to the middle and upstream ports.

〈Key Words〉 Yangtze River ports, Chinese ports, Port efficiency, Three-Stage DEA