

Super-SBM 모형을 이용한 국내 양곡전용부두 항만의 효율성 분석

심민섭* · 이창환** · 김율성*** · † 남정우

*국립한국해양대학교 해양콘텐츠융복합협동과정 물류시스템전공 박사과정, **고려사일로 관리실장/상무,
***국립한국해양대학교 물류시스템공학과 교수, † 국립한국해양대학교 일반대학원 물류시스템학과 박사과정

Analyzing the Efficiency of Grain Handling Ports in Korea Using the Super-SBM Model

Min-Seop Sim* · Chang-Hwan Lee** · Yul-Seong Kim*** · † Jung-Woo Nam

*Doctoral researcher, Department of Convergence Interdisciplinary Education, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

**Management Planning Department Director, Management Planning Department, KCTC SILO, Busan 48750, Korea

***Professor, Logistics system engineering, Korea maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

† Doctoral researcher, Logistics system engineering, Korea maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 글로벌 양곡시장은 COVID-19, 기상이변 및 자연재해, 러시아-우크라이나 전쟁 등으로 인하여 불확실성이 커지면서 양곡수급의 불안정이 발생하였다. 그리고 최근 지가상승과 제분·사료공장에 대한 민원의 제기로 양곡화물 연관업체는 경기도 지역에서 경기도 남부권, 충청권 등으로 이전하였다. 이러한 국내의 양곡시장의 변화에도 불구하고 국내 양곡부두는 유연하게 반응하여 제반시설을 효율적으로 운영하지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 Super-SBM 모형을 이용한 국내 양곡부두 효율성 분석을 진행하였으며, 다음과 같은 결과를 도출하였다. 첫째, Super-SBM 모형 CCR 분석결과 효율성 값이 1.000보다 높아 효율적으로 분석된 양곡부두 항만은 평택항, 군산항으로 나타났다. 둘째, Super-SBM 모형 BCC 분석결과 효율성 값이 1.000보다 높아 효율적으로 분석된 양곡부두 항만은 부산항, 평택항, 군산항으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 국내 양곡전용부두 항만의 운영계획과 관련된 다양한 시사점을 도출하였다.

핵심용어 : 양곡전용부두 항만, 항만 운영계획, 효율성 분석, Super-SBM 모형, 양곡 물동량

Abstract : The risks in global grain markets have increased due to COVID-19, extreme weather, natural disasters, and the Russia-Ukraine conflict. Additionally, in Korea, the locations for grain manufacturing have shifted owing to various factors. Despite these environmental changes, grain handling ports in Korea are limited in their capacity to respond promptly, resulting in operational inefficiencies. This study clarified changes in grain throughput and analyzed the efficiency of grain handling ports using the Super-SBM model. It suggested that the ports in Pyeongtaek and Gunsan were the most efficient, based on CCR and BCC results in 2022. These findings could provide several insights related to port operating plans for port operators, managers, and developers.

Key words : grain handling port, port operating plan, efficiency analysis, super-sbm model, grain throughput

1. 서 론

양곡부두란 양곡전용 보관시설(사일로)을 갖춘 부두로 국내 양곡부두는 인천항, 평택항, 군산항, 부산항, 울산항에 위치하고 있다. 인천항과 부산항은 해외로부터 양곡화물을 수입하여 처리하는 비율이 높으며, 이에 비해 군산항과 울산항은 연안 화물선을 통한 내륙운송 비율이 타 항만보다 높은 상황이다. 양곡화물의 경우 농가에 사료를 공급하거나 식용으로 사용되고 있으며, 과거에는 육류와 밀가루의 소비자가 밀집된 인천, 서울, 경기권의 양곡 수입량이 많았다. 하지만, 최근 지가상승과 제분·사료공장에 대한 민원의 제기로 양곡화물 연관업체가 경기도 지역에서 경기도 남부권, 충청권 등으로 이전

하자 평택항, 군산항 등 지방의 양곡 물동량이 증가하는 추세에 있다.

인천항, 평택항, 군산항 간 양곡화물을 유치하기 위한 경쟁이 두드러지고 있다. 인천항은 2017년 4만톤급 사일로 시설 증설, 평택항은 2011년 5만톤급 양곡부두 개장, 군산항은 2009년 10만톤급 사일로 시설을 증설하는 등 각 항만은 아낌없는 투자를 진행하고 있다. 하지만, 인접한 항만 간 과도한 경쟁으로 인한 효율성 저하 등의 꾸준한 문제점이 지적되고 있다 (Gong et al., 2017). 따라서, 정부는 권역별 양곡화물을 안정적으로 수급하기 위한 체계를 확보할 필요가 있다.

우리나라 항만별 양곡부두에서 하역된 양곡은 양곡 전용 보관시설(사일로)에서 일정 기간을 보관한 뒤 화주에게 운송

† Corresponding author : 정희원, skawjddn1252@g.kmou.ac.kr 051)410-4890

* 정희원, tla6355@g.kmou.ac.kr 051)410-4890

** 정희원, maso@kctc.co.kr 051)646-6700

*** 종신회원, logikys@kmou.ac.kr 051)410-4332

된다. 그러나 화주들이 자체보관 시설을 증설하지 않고 양곡 부두의 사일로로 자신의 보관창고처럼 이용하려는 경향이 증가하고 있다. 이로 인해 양곡화물 하역 및 저장공간 부족으로 선박의 체선 현상이 발생하게 되었다.

글로벌 양곡시장은 COVID-19, 기상이변 및 자연재해, 러시아-우크라이나 전쟁 등으로 인하여 불확실성이 커지면서 양곡수급의 불안정이 발생하였다. 특히, 러시아, 미국, 캐나다 등 주요 국가의 양곡 생산 부진과 주요 수입국들의 수요 확대에 인하여 양곡 수급의 불안정은 심화되고 있다. 하지만, 이러한 글로벌 양곡시장의 변화에도 불구하고 국내 양곡부두는 제반시설이나 운영계획의 유연한 모습을 보여주지 못하고 있다.

양곡화물은 벌크화물의 종류 중 하나로 우리나라 항만물동량의 약 67%가 벌크터미널을 통해 처리되고 있지만, 국내 벌크터미널 효율성 평가와 관련된 연구는 극히 제한되어 있다. 국내 벌크터미널은 높은 혼재율로 인하여 서비스 수준이 저하되고 있으며, 벌크터미널 서비스 수준을 개선하고자 정확한 평가와 진단이 필요한 상황이다(Lee and Lee, 2022).

따라서 본 연구에서는 우리나라 항만별 양곡 물동량 변화를 파악하고 Super-SBM 모형을 이용한 국내 양곡부두 효율성을 분석하고자 한다. 구체적으로, 글로벌 양곡시장 및 국내 양곡시장의 환경변화를 살펴보고, 양곡화물과 관련된 선행연구를 검토하였다. Super-SBM 모형 분석 시 투입변수는 양곡부두의 저장공간과 하역능력을 고려하였으며, 산출변수는 양곡 물동량으로 선정하였다. 이후 Super-SBM 모형 분석결과를 바탕으로 국내 양곡부두의 운영계획과 관련된 다양한 시사점을 도출하였다. 분석에 사용된 기초데이터를 살펴보면, 양곡부두의 저장공간과 하역능력은 각 양곡부두 운영사 홈페이지 및 해양수산부에서 발표한 자료를 활용하였다. 또한, 양곡부두 처리물동량은 한국무역통계진흥원의 한국무역통계 정보포털(Trade Statistics Service, TRASS)에서 발표한 2022년 수출입 양곡 물동량을 사용하였다.

2. 이론적 배경

2.1 글로벌 양곡시장 환경변화

2015년 이후 안정세를 보이던 국제곡물 가격은 코로나-19, 미·중 무역전쟁 등으로 인한 글로벌 공급망의 위기로 2020년 하반기부터 상승세로 전환되었다. 그리고 2022년 2월 밀, 옥수수 등의 주요 생산 및 수출국인 러시아가 우크라이나를 침공하면서 세계 곡물 가격이 급격하게 증가하였다. 2015년 1월 2일 시카고선물거래소(CBOT, Chicago Board of Trade)에서 발표한 통계자료에 따르면, 밀, 옥수수, 대두의 세계 곡물 가격은 각각 213.11달러/톤, 155.58달러/톤, 368.53달러/톤을 기록하였다. 2021년 1월 2일 코로나-19가 빠르게 확산되고, 미·중 무역전쟁이 치열해지자 밀, 옥수수, 대두의 세계 곡물 가격은 각각 236.35달러/톤, 190.74달러/톤, 481.70달러/톤으로 크게 상

승하였다. 그리고 2022년 상반기 러·우 전쟁에 따른 공급망 위기로 인하여 밀, 옥수수, 대두의 세계 곡물 가격은 각각 475.46달러/톤(2022.03.07.기준), 322.13달러/톤(2022.04.29.기준), 649.43달러/톤(2022.06.09.기준)으로 최근 5년(2018~2022년) 중 가장 높은 수치를 기록하였다. 2015년부터 2022년까지 세계곡물 가격의 변화는 <Fig 1>과 같다.

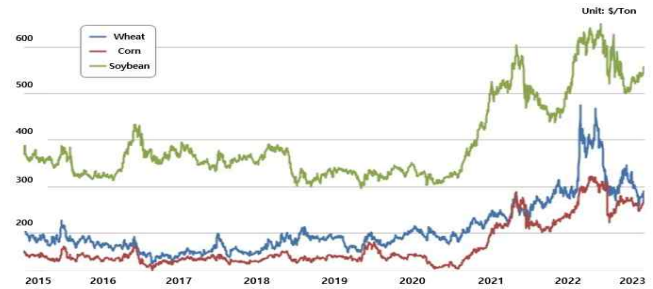


Fig 1 Global grain price trends(2015.01.02.~2022.12.31)

Source : KREI(Korea Rural Economic Institute)

USDA(United States Department of Agriculture)의 양곡 수급 전망에 따르면, 세계 곡물 생산량과 소비량은 최근 3년(2019/20~2021/22) 간 증가하는 추세이다. 세계 곡물 생산량은 2019/20 26억 8,000만톤에서 2021/22 27억 9,600만 톤으로 증가하였으며, 세계 곡물 소비량은 2019/20 26억 6,200만톤에서 2021/22 27억 7,600만 톤으로 증가하였다. 이와 반대로, 세계 곡물 재고율은 2019/20 30.7%에서 2021/22 28.4%로 감소하였다. 이와 관련된 자세한 내용은 <Table 1>과 같다.

Table 1 Production, consumption, and distribution of agricultural commodities for main countries

(Unit: Million Ton)

Type	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23 (Estimate)
Production	2,680	2,725	2,796	2,738
Consumption	2,662	2,734	2,776	2,755
Inventory(%)	30.7	29.1	28.4	27.7

Source: KREI(2023), World Grain Market, Vol. 12, No. 3

2021/22 품목별 수급 동향을 살펴보면, 쌀 생산량은 5억 1,400만 톤, 소비량은 5억 1,700만 톤, 재고율은 35.5% 수준을 기록하였다. 밀 생산량은 7억 7,900만 톤, 소비량은 7억 8,900만 톤, 재고율은 34.4% 수준을 기록하였다. 옥수수 생산량은 12억 1,600만 톤, 소비량은 11억 8,200만 톤, 재고율은 25.9% 수준을 기록하였다. 대두 생산량은 3억 5,800만 톤, 소비량은 3억 6,200만 톤, 재고율은 27.3% 수준을 기록하였다. 2022/23 품목별 수급 동향을 살펴보면, 쌀 생산량은 5억 1,000만 톤, 소비량은 5억 1,900만 톤, 재고율은 33.4% 수준을 기록하였다. 밀 생산량은 7억 8,900만 톤, 소비량은 7억 8,800만 톤, 재고율은 33.9% 수준을 기록하였다. 옥수수 생산량은 11억 4,800만 톤, 소비량은 11억 5,700만 톤, 재고율은 25.6% 수준을 기록하

었다. 대두 생산량은 3억 7,500만 톤, 소비량은 3억 7,100만 톤, 재고율은 26.9% 수준을 기록하였다. 이와 관련된 자세한 내용은 <Table 2>와 같다.

Table 2 Production, consumption, and distribution of rice, wheat, corn and soybean in the world
(Unit: Million Ton)

Type		2021/22	2022/23 (Estimate)
Rice	Production	514	510
	Consumption	517	519
	Inventory(%)	35.5	33.4
Wheat	Production	779	789
	Consumption	789	788
	Inventory(%)	34.4	33.9
Corn	Production	1,216	1,148
	Consumption	1,182	1,157
	Inventory(%)	25.9	25.6
Soybean	Production	358	375
	Consumption	362	371
	Inventory(%)	27.3	26.9

Source: KREI(2023), World Grain Market, Vol. 12, No. 3

한국농촌경제연구원(KREI)은 세계 바이오 연료의 수요 증가와 미국의 옥수수 작황 부진이 전망되는 가운데 곡물 가격 안정세가 더더질 것으로 예상하였다. 2023년 1월 말부터 2월 중순까지 러시아-우크라이나 전쟁으로 인한 러시아의 흑해 곡물 수송선 보안검사 지연으로 아프리카, 중동 지역의 식량 위기 발생 우려가 커졌다. 또한, 국제연합(UN)과 튀르키예의 중재 하에 2022년 7월 우크라이나와 러시아는 흑해를 통한 수출을 방해하지 않겠다는 흑해곡물협정을 체결하였으나, 2023년 7월 러시아는 협정 연장을 거부하고 파기를 선언하였다.

Table 3 Grain self-sufficiency rate in South Korea from 1960 to 2020

Year	Grain self-sufficiency rate (Excluding fodder)					Grain self-sufficiency rate (Including fodder)				
	Rice	Wheat	Corn	Bean	Total	Rice	Wheat	Corn	Bean	Total
1960	100.8	35.3	50.0	92.6	98.6	100.8	33.9	18.9	79.3	94.5
1965	100.7	27.8	77.8	108.7	98.8	100.7	27.0	36.1	100.0	93.9
1970	93.1	15.9	82.9	92.3	86.1	93.1	15.4	18.9	86.1	80.5
1975	94.6	5.8	25.7	97.9	79.1	94.6	5.7	8.3	85.8	73.0
1980	95.1	4.8	27.1	64.3	69.6	95.1	4.8	5.9	35.1	56.0
1985	103.3	0.5	15.5	62.7	71.6	103.3	0.4	4.1	22.5	48.4
1990	108.3	0.05	8.2	64.9	70.3	108.3	0.1	1.9	20.1	43.1
1995	93.6	0.5	5.1	37.0	55.7	93.6	0.3	1.1	9.9	29.1
2000	102.9	0.1	3.7	28.2	55.6	102.9	0.1	0.9	6.8	29.7
2005	102.0	0.4	3.4	30.9	53.6	102.0	0.2	0.9	9.7	29.3
2010	104.5	1.7	3.8	32.4	54.1	104.5	0.9	0.9	10.1	27.6
2015	101.0	1.2	4.1	32.1	50.2	101.0	0.7	0.8	9.4	23.9
2020	92.8	0.8	3.6	30.4	45.8	-	0.5	0.7	7.5	20.2

Source: MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), <https://www.mafra.go.kr>

2.2 국내 양곡시장 환경변화

세계 곡물 가격 급등은 쌀 이외의 대부분 곡물을 해외에서 수입하여 충당하는 우리나라의 식량안보에 대한 우려를 증대시켰다. 2007-2008년 애그플레이션(Agflation, 농산물 가격이 급등하여 일반 물가가 상승하는 현상) 이후 식량안보가 다시 한번 우리나라의 주요 의제로 등장하였다. 우리나라에서는 식량안보에 관하여 높은 해외 곡물 의존도에 따른 국내 양곡자급률 확대에 초점을 맞추고 있다.

국내 양곡시장의 공급과 수요는 지속적으로 성장하고 있으나 국내 양곡자급률은 지속적으로 저하되고 있다. 농림축산식품부에서 발표한 자료에 따르면, 국내 양곡자급률(사료용 제외)은 1960년 98.6%였으나, 지속적으로 하락하여 1970년 86.1%, 1980년 69.6%, 1990년 70.3%, 2000년 55.6%, 2010년 54.1%, 2020년 45.8%를 기록하였다. 2020년 품목별 양곡자급률은 쌀 92.8%, 밀 0.8%, 옥수수 3.6%, 콩 30.4%로 나타났다.

국내 양곡자급률(사료용 포함)은 1960년 94.5%였으나, 매년 지속적으로 하락하여 1970년 80.5%, 1980년 56.0%, 1990년 43.1%, 2000년 29.7%, 2010년 27.6%, 2020년 20.2%를 기록하였다. 2020년 품목별 양곡자급률은 밀 0.5%, 옥수수 0.7%, 콩 7.5%로 나타났다. 국내 양곡자급률 하락의 주요 원인으로서는 우리나라의 농가 고령화, 생산 정체, 농지면적 감소, 식생활 변화 등이 있다. 정부는 우리나라 식량안보 기반을 확충하고 식량위기 대응역량을 제고하여 농가경제의 불안요인을 최소화할 필요가 있다.

양곡화물의 경우 단위당 가치가 비교적 낮아 내륙운송비에 많은 영향을 받게 되며, 이로 인하여 사료공장 인근의 양곡부두 활용도가 높은 상황이다. 과거 양곡은 가공하여 가축의 사료나 식용으로 사용되기 때문에 소비자가 밀집된 서울, 인천,

경기권 양곡부두의 수입량이 많았다. 하지만, 사료공장은 지가 상승, 제분 및 사료공장에 대한 민원(생산공정에서 발생하는 냄새, 노후된 외관, 도시 미관)의 이유로 지방으로 이전되는 추세이다. 특히, 2010년 평택항이 개장하면서 인천항을 주로 이용하던 양곡화물 화주들이 상대적으로 임대료와 제반비용이 저렴한 경기 및 이남 지역으로 거점을 이전하는 현상을 보이고 있다(Park et al., 2012). 이에 따라 국내 양곡시장의 환경 변화를 살펴보고, 양곡부두의 비효율적인 운영, 양곡 물동량 증가에 따른 하역공간 및 저장공간 추가확보 등과 같은 문제점을 개선할 필요가 있다.

국내 양곡 물동량은 양곡화물 연관업체들의 공동구매로 이루어지고 있으며, 부산항(5부두), 인천항(4부두 #3, 5부두 #52, 7부두), 평택항(서부두 #8, #9), 군산항(6부두 #61, #62), 울산항(양곡부두)에 위치한 양곡부두를 통해 처리되고 있다. 한국무역통계 정보포털(TRASS)에 따르면, 2022년 국내 전체 양곡 물동량 약 16,879,459톤 중 군산항은 약 4,772,459톤(28.3%)에 해당하는 가장 많은 양곡 물동량을 처리하였다(HS코드 10 곡물 기준). 그 다음으로 인천항이 약 4,524,256톤(26.8%)의 양곡 물동량을 처리하였으며, 평택항 약 4,056,760톤(24.0%), 울산항 약 1,629,778톤(9.7%), 부산항 약 1,330,094톤(7.9%) 등의 순으로 나타났다. 2022년 우리나라의 전체 수입물동량은 약 16,821,304톤으로 우리나라 전체 양곡 물동량의 99.7% (16,821,304톤/16,879,459톤) 비중을 차지하고 있다. 특히, 인천항, 평택항, 군산항에서는 우리나라 수입 양곡 물동량 중 약 79.3%(13,336,260톤/16,821,304톤) 비중을 차지하고 있다. 이와 반대로 우리나라 전체 수출물동량은 약 58,154톤으로 전체 양곡 물동량의 0.3%(58,154톤/16,879,459톤) 비중을 보이고 있다. 이를 통해 우리나라는 다른 나라에 대한 양곡화물의 수입 의존도가 굉장히 높은 것을 알 수 있다. 이와 관련된 자세한 내용은 <Table 4>와 같다.

2.3 선행연구 고찰

2.3.1 국내 양곡화물 관련 선행연구

Park et al.(2012)은 향후 인천항에서 취급되는 양곡화물 물동량의 수요를 System Dynamics를 통해 알아보았다. 양곡화물 물동량에 영향을 주는 요인으로는 인구, 1인당 연간 양곡 소비량, GDP, GRDP, 환율, BDI를 선정하였다. 분석결과, 2020

년 인천항의 양곡화물 물동량은 약 200만톤으로 예측되었으며, 인천항의 양곡화물 물동량이 지속적으로 감소하는 추세라고 설명하였다. 또한, 절대평균오차비율(MAPE: Mean Absolute Percentage Error) 검증 결과 해당 분석은 6.3%의 결과값을 얻어 정확한 예측으로 판정되었다. 이러한 결과를 바탕으로 인천항은 양곡 물동량을 유치하기 위하여 공격적인 마케팅 전략과 양곡산업 유치 전략이 요구된다고 강조하였다.

Cho(2015)는 국내에서 생산된 쌀을 해외로 수출하기 위하여 국내 양곡부두 운영현황을 바탕으로 부산지역 양곡부두 운영방안을 제시하였다. 수출용 양곡 부두를 운영하기 위해서 기존의 양곡부두를 리모델링하는 방안과 신규 쌀 수출용 양곡부두 건설 방안을 제시하였다. 그리고 수출용 양곡 부두 운영 기회를 상실할 경우 국내 쌀 재고량 급증 및 쌀 가격 폭락 등과 같은 문제점으로 인하여 농가에 많은 어려움이 발생할 것으로 예상하였다.

Gong et al.(2017)은 서해안권 항만인 인천항, 평택·당진항, 군산항의 경쟁품목인 양곡, 목재, 철재화물에 대한 항만 집중도 분석과 변이-할당분석을 통해 화물의 집중도와 항만 경쟁관계를 연구하였다. 분석결과, 양곡화물은 2007년부터 2010년까지 화물의 집중도가 높았으나, 2010년 이후 집중도가 크게 낮아지며 물동량이 분산되기 시작하였다. 이는 평택·당진항의 양곡화물 처리물동량이 5만톤급 양곡부두의 개장과 규제 완화로 인하여 크게 상승한 반면, 인천항은 사일로 시설의 포화로 비산먼지 등의 행정규제와 단속이 심화되어 관련 업체들이 타항만으로 이전하여 나타난 결과라고 설명하였다.

2.3.2 벌크터미널 및 양곡부두 효율성 관련 선행연구

Lee et al.(2012)은 국내 주요 벌크터미널의 효율성을 비교 분석하여 벌크터미널의 효율적 운영방안을 제시하고자 DEA 분석을 진행하였다. 분석 대상은 항만물류협회에 등록된 벌크 하역수입 상위 20개사를 선정하였으며, 투입변수로 야적장 면적, 선석길이, 산출변수로 화물처리량과 하역수입을 선정하였다. 분석결과, 포항항과 인천항의 일부 벌크 하역사의 효율성이 가장 높게 나타났다. 이후 준거집단 간의 비교를 통해 벌크 화물 유치 경쟁 심화에 따른 하역단가 인하를 완화하기 위하여 정책적 지원이 시급하다고 설명하였다.

Lee and Lee(2022)는 우리나라 벌크터미널의 서비스 수준에 대한 효율성을 평가하고자 Super-SBM 모형 분석을 진행

Table 4 Throughput of Korean grain handling ports in 2022

Port	Export(Ton)	Import(Ton)	Throughput(Ton)
Busan	2,549(4.4%)	1,327,545(7.9%)	1,330,094(7.9%)
Incheon	212(0.4%)	4,524,043(26.9%)	4,524,256(26.8%)
Pyeongtaek	2(0.0%)	4,056,758(24.1%)	4,056,760(24.0%)
Gunsan	17,000(29.2%)	4,755,459(28.3%)	4,772,459(28.3%)
Ulsan	16,293(28.0%)	1,613,486(9.6%)	1,629,778(9.7%)
etc	22,098(38.0%)	544,013(3.2%)	566,111(3.4%)
Total	58,154(100.0%)	16,821,304(100.0%)	16,879,459(100.0%)

Source: TRASS(Trade Statistics Service), <https://www.bandtrass.or.kr>

하였다. 벌크터미널을 13개 품목으로 구분하여 DMU로 선정하였으며, 투입변수로 터미널 연장, 터미널 하역능력, 평균수심, 평균 접안능력, 산출변수로 물동량을 선정하였다. 분석결과, 철광석과 유류 품목 관련 벌크터미널의 효율성이 가장 높게 나타났다. 또한, 잡화, 고철, 목재 관련 벌크터미널의 효율성은 낮게 나타났으며, 해당 터미널은 대규모 하역기가 불필요하며, 전용성이 낮다는 특징을 도출하였다. 동 연구는 벌크터미널 분류체계 개편을 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 벌크터미널 간 구분을 허물고 통합을 추진할 필요성을 제시한 점에서 의의가 있다.

Santos et al.(2016)은 브라질 북동부의 복합운송 양곡부두의 효율성을 평가하고자 DEA 분석을 진행하였다. 5개 양곡터미널을 운영실적을 2011년, 2012년으로 구분하여 총 10개의 DMU를 선정하였으며, 투입변수로 저장공간, 처리능력, 산출변수로 처리물동량을 선정하였다. 분석결과, 2011년에 비해 2012년 시간이 지남에 따라 5개 양곡부두의 효율성은 크게 개선되었다. 이러한 결과는 공공 및 민간 부문의 의사결정 자료로서 활용될 것이라고 설명하였다.

Peixoto et al.(2017)은 생산적 효율성을 가진 복합운송 양곡부두가 순수기술효율성을 가지고 있는 확인하기 위하여 DEA-CCR 분석과 DEA-BCC 분석을 진행하였다. 브라질의 동남권 복합운송 양곡부두 12개를 DMU로 선정하였으며, 투입변수로 하역능력, 저장공간, 직원 수, 산출변수로 처리물동량을 선정하였다. 분석결과, CCR분석과 BCC분석에서 모두 3개의 DMU가 효율적으로 나타났다. 그리고 CCR분석에서는 비효율적이지만 BCC분석에서 효율적인 2개의 DMU에 대하여 규모의 비효율성이 나타난다고 설명하였다.

Jeong et al.(2024)은 국내 양곡 터미널 효율성을 평가하고자 국내 9개의 양곡 화물 전용 터미널을 대상으로 DEA-SBM Window 및 DEA-Window 분석을 진행하였다. 투입변수는 Ship Unloader, 보관능력, 선석길이, 평균수심, 산출변수로 처리물동량을 선정하였다. 분석결과, 군산에 위치한 선광 터미널의 효율성이 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 국내 양곡 터미널의 운영 효율성 제고를 위한 기초자료로서 의의가 있다.

2.3.3 선행연구와의 차별점

기존 선행연구를 살펴보면, 국내 벌크터미널을 대상으로 효율성 분석을 진행된 연구는 일부 있으나, 국내 양곡부두를 대상으로 효율성을 분석한 연구는 미비한 상황이다. 글로벌 양곡시장과 국내 양곡시장의 환경변화가 급속하게 진행되고 있는 가운데, 국내 양곡부두의 제반시설 및 운영현황을 점검하고, 상대적 효율성 분석을 통해 양곡부두의 운영계획을 재정립할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 각 양곡부두 운영사 홈페이지 및 해양수산부에서 발표한 통계자료, Trass 자료를 바탕으로 국내 양곡부두 운영현황을 검토하였다. 이후 양곡부두의 전용장비인 Ship Unloader의 하역능력, 사일로의 저장능력 등 수집된 기초자료를 바탕으로 Super-SBM 모형 분석을 진

행하였다. Jeong et al.(2024)은 투입변수의 변화가 없을 때 양곡부두 효율성의 해석에 대한 다양한 향후 보완이 필요하다고 설명하였다. 그리고 Super-SBM 모형은 효율성 값이 1.000으로 나타난 다수의 DMU가 존재할 때 더 효율적인 DMU를 판별할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 분석대상을 항만별로 구분하여 지역적인 특성을 고려하였으며, 국내 양곡부두의 효율적 운영계획을 위한 다양한 시사점을 도출하였다.

2.4 Super-SBM 모형 분석기법

DEA 모형을 사용할 경우 효율성 값이 1.000으로 나타난 다수의 의사결정단위(DMU, Decision Making Units)가 존재할 때 상대적으로 더 효율적인 DMU를 판별할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 초효율성 지표를 사용하면 1.000보다 큰 효율성 점수를 부여하여 각 의사결정단위의 순위를 정할 수 있다(Song, 2020). 초효율성 모형은 기존의 효율적 생산변경에 존재하는 DMU 사이에서 계산하고자 하는 DMU를 제외한 뒤에 효율적 생산변경을 새롭게 도출하고, 앞서 제외한 DMU와 효율적 생산변경과의 거리를 다시 계산하여 효율성을 측정하는 방식이다(Kang and Park, 2022). 생산변경과의 거리가 멀수록 효율적인 DMU로 식별하며, 이를 통해 1.000보다 큰 초효율성을 도출할 수 있다. 하지만, 투입변수 및 산출변수의 여분(slacks)을 고려하지 않고 효율성을 분석하여 효율적인 변수의 점수가 실행불능해의 문제점이 발생할 수 있다(Park et al., 2015). 이러한 문제점을 해결하기 위해 Tone(2002)은 Super-SBM 모형(Super Slack-Based Measure)을 제안하였다. 이는 여분 기반 초효율성 모형으로, 규모수익불변(VRS, Variable Return to Scale)을 가정한 Super-SBM 공식은 아래 식(1)과 같다.

$$\delta^k = \min \left[\frac{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \overline{x}_m / x_m^k}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \overline{y}_n / y_n^k} \right]$$

$$s.t. \quad \overline{x}_m \geq \sum_{j=1, j \neq k}^J x_m^j \lambda^j \quad (m = 1, 2, \dots, M)$$

$$\overline{y}_n \leq \sum_{j=1, j \neq k}^J y_n^j \lambda^j \quad (n = 1, 2, \dots, N)$$

$$\overline{x}_m \geq x_m^k, \overline{y}_n \geq y_n^k$$

$$\lambda^j \geq 0, \quad (j = 1, 2, \dots, J, j \neq k)$$

- δ^k = 관측치 k의 여분 기반 초효율성
- x_m^k = 관측치 k의 m번째 투입요소
- y_n^k = 관측치 k의 n번째 산출요소
- \overline{x}_m = 관측치 k를 제외하고 만들어진 생산변경 상에 존재하는 투입요소 벡터
- \overline{y}_n = 관측치 k를 제외하고 만들어진 생산변경 상에 존재하는 산출요소 벡터

3. 연구 설계

3.1 분석 개요 및 변수 설정

본 연구에서는 국내 양곡부두 간 상대적 효율성을 비교하고자 DEA-Solver Professional version 13.1 프로그램을 사용하여 Super-SBM 모형 분석을 진행하였다. 투입변수 및 산출변수는 Super-SBM 모형 분석결과에 직접적인 영향을 미치므로 시사점의 가치가 있는지 판단하여야 한다.

따라서 투입변수 및 산출변수의 적정성 및 신뢰성을 확보하기 위하여 다음 원칙에 부합하도록 변수를 선정하였다. 첫째, DEA 분석 시 DMU는 투입변수 및 산출변수 합 2배 이상이 되어야 신뢰성이 있다고 판단한다(Golany and Roll (1989); Homburg(2001); Dyson et al. (2001)). 따라서 DMU의 개수를 고려하여 적절한 투입변수와 산출변수를 선정하였다. 둘째, DEA는 투입변수 및 산출변수를 선정하여 분석한 다음 상대적으로 비효율적인 변수를 파악하고 산출을 극대화하는 것이 목적이므로 개선이 가능한 변수를 선정해야 된다. 셋째, 투입변수 및 산출변수는 DMU와 직접적인 연관이 있어야 하며 주관적 판단은 배제되어야 한다. 따라서 벌크터미널 및 양곡부두의 효율성 관련 선행연구를 검토한 뒤 변수를 선정하여 객관성을 확보하고자 하였다.

앞서 살펴본 3가지 원칙에 따라 부합하는 변수를 <Table 5>와 같이 선정하였다. 투입변수는 저장공간, 하역능력 2가지로 구성되며, 산출변수는 양곡 물동량으로 선정하였다. 양곡부두의 저장공간은 사일로의 크기와 개수에 따라 결정되며 양곡부두의 회전율과 화주의 서비스 수준을 결정짓는 중요한 변수이다. 그리고 하역능력은 일정한 단위 시간에 선박의 화물을 싣고 내릴 수 있는 능력으로 효율성을 측정하기 위한 중요한 변수이다. 따라서, 양곡부두의 효율성은 동일 기간 내 저장공간과 하역능력에 따라 결정된다고 할 수 있다(Santos et al., 2016). 특히, Jeong et al.(2024)은 양곡부두 내 하역기기, 보관시설 등의 인프라는 매우 중요하며 물동량의 처리 능력과 직결될 수 있다는 점을 통해 중요하다고 설명하였다.

기존 선행연구를 살펴보면, 벌크터미널 및 양곡부두의 성과를 나타내는 지표로서 산출변수로서 물동량을 선정하고 있다. 이에 본 연구에서도 양곡 물동량을 산출변수로 선정하였다.

Table 5 Input and output variables for the DMUs

Variables		Reference
Input 1	Storage Capacity	Jeong et al.(2024), Santos et al.(2016)
Input 2	Handling Capacity	Peixoto et al.(2017), Santos et al.(2016)
Output 1	Grain Throughput	Jeong et al.(2024), Peixoto et al.(2017)

양곡부두의 저장공간과 하역능력은 각 양곡부두 운영사 홈페이지 및 해양수산부에서 발표한 통계자료를 활용하였다. 또한, 양곡 물동량은 TRASS(Trade Statistics Service)에서 발표한 2022년 항만별 수출입 양곡 물동량을 사용하였다. 왜냐하면, 해당 기간동안 COVID-19, 기상이변 및 자연재해, 러시아-우크라이나 전쟁 등으로 인하여 글로벌 양곡시장의 불확실성이 커지면서 국내 양곡부두의 효율적인 운영이 중요해졌기 때문이다. 2022년 국내 양곡화물 처리 항만의 저장능력, 하역능력, 양곡 물동량에 대한 자세한 내용은 <Table 6>과 같다.

3.2 분석 대상

TRASS(Trade Statistics Service)에 따르면, 우리나라에서 HS코드 10에 해당하는 곡물을 취급하는 항만은 총 12개(군산항, 인천항, 평택항, 울산항, 부산항, 목포항, 부산신항, 마산항, 광양항, 동해항, 경인항, 온산항)이다. 본 연구에서는 2022년 기준 전국 양곡 물동량 중 약 97%의 비중을 차지하고 양곡전용부두를 보유한 5개 항만(부산항, 인천항, 평택항, 군산항, 울산항)을 의사결정단위(DMU)로 선정하였다. 부산항은 고려사이로, 인천항은 한진(4부두), CJ대한통운(4부두), 선광(5부두), 대한사이로(7부두), 한국TBT(7부두), 평택항은 태영그레인터미널(서부두), 군산항은 선광(6부두), 울산항은 태영인더스트리(양곡부두)가 양곡전용부두를 운영하고 있다.

Table 6 Performance of grain handling ports sorted by Ports in Korea in 2022

Grain Handling Ports	2022		
	Storage Capacity (0,000Ton)	Handling Capacity (0,000RT)	Grain Throughput (Ton)
Busan	132	1,350	1,330,094
Incheon	1,020	8,870	4,524,256
Pyeongtaek	320	3,240	4,056,760
Gunsan	700	3,180	4,772,459
Ulsan	180	1,730	1,629,778

4. 실증 분석

4.1 Super-SBM 모형 CCR 분석결과

DEA 모형은 투입지향모형(Input-Oriented Model)과 산출지향모형(Output-Oriented Model)으로 구분할 수 있는데 투입변수가 반고정된 항만이나 터미널의 경우 일반적으로 산출지향모형이 자주 쓰이고 있다(Jeh et al., 2022; Kang et al., 2021). 따라서, 본 논문 역시 산출지향 모형을 사용하여 분석을 진행하였다. 그리고 규모수익불변(CRS, Constant Returns to Scale)을 가정하고 있는 CCR 분석과 규모수익가변(VRS, Variable Return to Scale)을 가정하고 있는 BCC 분석을 동시에 진행하여 보다 객관적인 결과를 도출하고자 하였다. 투입변수는 저장공간(Input 1)과 하역능력(Input 2)을 사용하였으며, 산출변수로는 양곡 물동량(Output 1)으로 선정하였다.

Super-SBM 모형의 CCR 분석결과 2022년 5개 항만의 평균 효율성은 0.880으로 나타났다. 부산항의 효율성은 0.795로 나타났다. 그리고 인천항은 효율성은 0.397로 가장 낮은 효율성을 기록하였다. 평택항의 효율성은 2022년 1.265로 가장 높은 효율성을 기록하였다. 군산항의 효율성은 1.199의 효율성을 기록하였다. 마지막으로, 울산항의 효율성은 0.746으로 평균보다 낮은 효율성을 나타냈다. 따라서 효율성 점수가 1.000 이상인 항만은 평택항과 군산항으로 나타났다. 그리고 Super-SBM 모형을 통해 효율적(효율성 점수 1.000 이상)인 2개의 항만 중 평택항의 효율성이 상대적으로 더 높다는 것을 확인하였다.

4.2 Super-SBM 모형 BCC 분석결과

Super-SBM 모형의 BCC 분석결과 2022년 5개 항만의 평균 효율성은 1.129로 나타났다. 부산항의 효율성은 1.000으로 나타났다. 그리고 인천항은 효율성은 0.948로 평균 보다 낮은 효율성을 기록하였다. 특히, 인천항은 양곡물동량 감소추세에 따라 저장공간과 하역능력에서 각각 320천톤, 5,690천RT의 초과분이 발생하는 것을 확인하였다. 평택항의 효율성은 2022년

1.639로 가장 높은 효율성을 기록하였다. 군산항의 효율성은 1.202로 비교적 높은 효율성을 기록하였다. 마지막으로 울산항의 효율성은 0.858로 평균 보다 낮은 효율성을 기록하였다. 따라서, 효율성 점수가 1.000 이상인 항만은 부산항, 평택항, 군산항으로 나타났다. 그리고 Super-SBM 모형을 통해 효율적(효율성 점수 1.000 이상)인 3개의 항만 중 평택항의 효율성이 가장 높으며, 그 다음으로 군산항, 부산항이 효율적인 것을 알 수 있다.

4.3 Super-SBM 모형 종합결과

Super-SBM 모형 분석결과를 종합하면, 평택항과 군산항이 효율적인 항만으로 나타났다. 평택항과 군산항은 CCR, BCC 분석에서 1.000이 넘는 효율성을 보이고 있다. 그리고 2개의 효율적인 항만 중 평택항이 상대적으로 더욱 효율적인 것을 초효율성 분석을 통해 확인하였다. 이러한 결과는 DEA 분석 및 SBM-DEA 분석을 사용한 기존 선행연구와 달리 Super-SBM 모형을 사용하여 확인할 수 있는 결과이다. 특히, 평택항은 규모수익가변(VRS)을 의미하는 BCC 분석에서 군산항의 효율성 격차가 크게 벌어지는 것으로 나타났다.

인천항과 울산항은 CCR 분석 및 BCC 분석에서 평균보다 낮은 효율성을 기록하였다. 이러한 결과는 양곡부두 항만으로 경쟁력이 다소 미흡하다는 것을 의미한다.

마지막으로, 부산항은 CCR 분석에서 효율성이 평균 0.880보다 낮은 0.795를 기록하였지만, BCC 분석에서 효율성이 1.000으로 개선되었다. 따라서 CCR 분석 대비 BCC 분석에서 효율성이 크게 개선된 것으로 보아 비효율성의 원인이 규모의 효율성(생산규모 측면)에 있는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

5.1 연구결과의 요약 및 결론

COVID-19, 기상이변 및 자연재해, 러시아-우크라이나 전쟁 등으로 발생한 양곡수급의 불안정이 심화되고 있는 가운데 국내 양곡부두의 운영현황을 검토하고, 효율적 운영계획을 세

Table 7 Super-SBM Model results of grain handling ports in South Korea

Operators	CCR				BCC			
	Score	Slack			Score	Slack		
		Input 1	Input 2	Output 1		Input 1	Input 2	Output 1
Busan	0.795	0	13	343,319,406	1.000	0	0	5,060
Incheon	0.397	0	0	6,876,729,963	0.948	320	5,690	248,203,286
Pyeongtaek	1.265	0	0	851,050,853	1.639	0	0	1,580,875,821
Gunsan	1.199	0	0	790,823,547	1.202	0	0	802,253,009
Ulsan	0.746	0	0	555,052,099	0.858	0	0	269,744,182
Average	0.880	-	-	-	1.129	-	-	-

우는 것은 중요하다. 특히, 국내 양곡부두는 단순히 양곡화물을 하역하는 공간이 아닌 양곡화물의 화주가 임시로 화물을 저장하는 공간으로 활용하고 있기에 양곡 저장공간을 고려한 효율성을 파악할 필요가 있다. 하지만, 기존 선행연구를 살펴보면, 벌크터미널 및 양곡부두와 관련된 연구는 미비한 상황이며, 특히 양곡부두의 효율적인 운영계획을 위한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 우리나라 양곡전용부두를 보유한 5개 항만(부산항, 인천항, 평택항, 군산항, 울산항)을 대상으로 Super-SBM 초효율성 분석을 진행하여, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, Super-SBM 모형 CCR 분석결과, 2022년 효율성 값이 모두 1.000보다 높아 효율적으로 분석된 양곡부두는 평택항, 군산항으로 나타났으며, 부산항, 인천항, 울산항은 평균 0.880 보다 낮은 효율성을 보이고 있다.

둘째, Super-SBM 모형 BCC 분석결과, 2022년 효율성 값이 모두 1.000보다 높아 효율적으로 분석된 양곡부두는 부산항, 평택항, 군산항으로 나타났으며, 인천항, 울산항은 평균 1.129 보다 낮은 효율성을 보이고 있다. 특히, 인천항은 양곡 물동량 감소추세에 따라 저장공간과 하역능력에서 각각 320천톤, 5,690천RT의 초과분이 발생하는 것을 확인하였다.

분석결과에 대한 시사점으로 첫째, 군산항과 평택항은 기존의 양곡부두 시설을 유지하여 양곡 물동량을 효율적으로 처리하는 것이 바람직하다. 군산항과 평택항은 인천항의 높은 지가와 비산면지 민원으로 인한 양곡화물 연관업체의 이전으로 양곡 물동량이 증가하자 우리나라 양곡부두 중 상대적으로 효율적인 양곡부두로 분석되었다. 또한, 앞으로 인천항 양곡 물동량이 지속적으로 군산항과 평택항으로 이전될 경우 양곡부두 내 저장공간 및 하역능력을 증설시켜 양곡 물동량 증가에 대응하는 것이 바람직하다고 판단된다.

둘째, 부산항 양곡부두는 부산항 신항으로 이전 시 양곡화물의 저장공간과 하역능력을 충분히 구축할 필요가 있다. 부산항의 경우 규모수익불변(CRS)을 가정한 Super-SBM CCR 분석에서 2022년 효율성이 0.795로 나타나 비효율적인 양곡부두로 분석되었다. 또한, 부산항은 CCR 분석과 반대로 BCC 분석에서 효율성이 크게 개선된 것으로 보아 비효율성의 원인이 규모의 효율성(생산규모 측면)에 있다는 것을 확인하였다. 이는 부산항의 양곡부두 내 하역시설 및 저장능력이 수용 임계점을 이미 초과하여 효율성이 지속적으로 감소하는 것으로 판단된다. 부산항 양곡부두는 2022년 북항 2단계 재개발 착공에 따라 2030년까지 기능 폐쇄가 예정되어 있다. 그리고 2027년 상반기에 부산항 신항 남컨테이너 내 5만DWT급 양곡부두 1선석 규모에 적합하도록 안벽 300m의 양곡부두 대체선석을 개장할 예정이다. 따라서 기존 부산항 북항 5부두 내 양곡부두의 부족한 저장능력을 개선하기 시의적절한 상황이라고 판단된다. 부산항 신항 양곡부두의 효율적인 운영을 위해서는 예측된 양곡 물동량에 대비한 충분한 저장공간을 마련하고 고도화된 하역장비 및 기계설비를 통해 하역능력을 갖출 필요가

있다.

셋째, 인천항은 불필요한 양곡부두의 저장공간과 하역능력에 대해 용도변경을 고려할 필요가 있다. 2022년 Super-SBM 모형 BCC 분석결과, 인천항은 저장공간과 하역능력에서 각각 320천톤, 5,690천RT를 줄여야 효율적인 상태로 도달하는 것으로 나타났다. 양곡 물동량은 양곡화물을 취급하는 화주의 연관업체와 연관성이 높다. 화주들은 높은 지가와 양곡화물로 발생하는 비산면지로 인한 민원으로 인하여 양곡화물 연관업체를 점차 지방으로 이전하는 추세이다. 한국무역통계진흥원의 한국무역통계 정보포털(TRASS)에 따르면, 2010년 인천항의 수출입 양곡 물동량은 6,908,845톤이었지만, 2022년 수출입 양곡 물동량은 약 34.5%가 감소한 4,524,256톤을 기록하였다. 이러한 추세에 따라 앞으로도 인천항에서 취급하는 양곡 물동량은 감소하여, 양곡부두의 저장공간 및 하역능력과 양곡 물동량 간의 불균형은 점차 심화될 것으로 예상된다. 따라서 효율적인 인천항 양곡부두의 운영을 위해서는 현재 양곡부두로 활용중인 저장공간 및 하역능력에 대한 용도변경을 고려할 필요가 있다.

5.2 연구의 한계 및 향후연구

본 연구는 국내 양곡부두를 대상으로 2022년 상대적 효율성을 파악하여 분석결과를 토대로 양곡부두 운영계획과 관련된 다양한 시사점을 도출하였다. 하지만, 본 연구는 국내 양곡부두 간 상대적 효율성 분석에 머무르고 있으며, 국외 양곡부두의 효율성을 비교분석하지 못하였다는 한계점이 있다. 또한, 국내 양곡전용부두를 확보한 항만은 5가지로 한정되어 있어 DEA 분석 시 충분한 의사결정단위(DMU)를 고려하지 못하였다는 한계점이 있다. 특히, DMU가 제한됨에 따라 선석길이, 평균수심 등 전통적인 터미널 효율성에 영향을 미치는 요인을 고려하지 못하였다. 따라서 향후에는 국내외 양곡부두 간 효율성을 비교분석하는 연구가 추가로 진행되어 국내 양곡부두의 효율적인 운영을 위한 다양한 정책적 방안이 제안되길 기대한다.

References

- [1] Cho, G. S.(2015), "Operating Plans in Grain Terminal for the Export of Grain-with a Focus on Busan", *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, Vol. 27, No. 4, pp. 1118-1128.
- [2] Dyson, R. G., Allen, R., Camanho, A. S., Podinovski, V. V., Sarrico, C. S. and Shale, E. A.(2001), "Pitfalls and protocols in DEA", *European Journal of operational research*, Vol. 132, No. 2, pp. 245-259.
- [3] Golany, B. and Roll, Y.(1989), "An application procedure for DEA", *Omega*, Vol. 17, No. 3, pp. 237-250.
- [4] Gong, J. M., Nam, T. H. and Yeo, G. T.(2017), "The

- Concentration of Bulk Cargoes on the West Coast: An Analysis Focused on the Incheon, Pyeongtaek-Dangjin and Gunsan Ports”, *Journal of shipping and logistics*, Vol. 33, No. 4, pp. 749-768.
- [5] Homburg, C.(2001), “Using data envelopment analysis to benchmark activities”, *International journal of production economics*, Vol. 73, No. 1, pp. 51-58.
- [6] Jeh, J. W., Nam, J. W., Sim, M. S., Kim, Y. S and Shin, Y. R.(2022), “A Study on the Efficiency Analysis of Global Terminal Operators Based on the Operation Characteristics”, *Sustainability*, Vol. 14, No. 1, p. 536.
- [7] Jeong, S. H., Lee, H. C., Choi, Y. S., Listan B. M. and Yeo, G. T.(2024), “A Study on the Analysis of the Efficiency of Domestic Grain Terminal”, *Journal of shipping and logistics*, Vol. 40, No. 1, pp. 1-20.
- [8] Kang, D. H. and Park, C. H.(2022), “A Study on the Efficiency of Seafood Processing Companies Based on Super-SBM”, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, Vol. 34, No. 1, pp. 10-22.
- [9] Kang, S. H., Nam, J. W., Sim, M. S. and Kim, Y. S.(2021). A Study on the Productivity and Efficiency Comparative Analysis of Container Terminal in Busan New Port, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 45, No. 3, pp. 138-147.
- [10] Lee, N. Y. and Lee, S. Y.(2022), “A study on the efficiency assessment of bulk terminals in Korea using DEA”, *The Asian journal of shipping and Logistics*, Vol. 38, No. 2, pp. 447-462.
- [11] Lee, S. H., Lee, T. H. and Yeo, G. T.(2012), “Efficiency Measurement of the Korean Major Bulk Terminals”, *The Asian journal of shipping and Logistics*, Vol. 28, No. 2, pp. 245-264.
- [12] Park, J. M., Jeon, J. W. and Yeo, G. T.(2015), “A Study on Efficiency of Resident Logistics Companies in Port Hinterland Using Super-SBM”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 39, No. 6, pp. 507-514.
- [13] Park, S. I., Jung, H. J. and Yeo, G. T.(2012), “Forecasting the Grain Volumes in Incheon Port Using System Dynamics”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 36, No. 6, pp. 521-526.
- [14] Peixoto, M. G. M., Mendonça, M. C. A., Musetti, M. A., Batalha, M. O. and Sproesser, R. L.(2017), “Grain intermodal terminals: evaluation of pure technical efficiency by Data Envelopment Analysis”, *Production*, Vol. 27.
- [15] Santos, A. B., Sproesser, R. L., Batalha, M. O., Campeão, P. and Pereira, M. W. G.(2016), “Are the grain intermodal terminals in Brazil’s Northeastern region efficient?”, *CEP*, 13565, 905.
- [16] Song, K. S.(2020), “A Study on the Communication Index and Efficiency Evaluation of Regional Governments:Application of DEA, SEM, Super-SBM Models”, *Korean local government review*, Vol. 22, No. 1, pp. 21-49.
- [17] Tone, K.(2002), “A Slack Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 143, pp. 32-41.

Received 09 July 2024

Revised 19 July 2024

Accepted 30 July 2024