

메타프론티어 DEA를 이용한 국내 항만의 효율성 분석: 항만형 자유무역지역을 중심으로*

최정원¹⁾

경북대학교 대학원 무역학과 박사과정

김창수²⁾

부산대학교 무역학과 조교수

서영준³⁾

경북대학교 대학원 무역학과 부교수

요 약

우리나라는 주요 무역항의 배후단지에 항만형 자유무역지역 지정을 통해 항만 및 수출입 물류 산업의 원활화와 부가가치 창출 효과를 기대해왔다. 본 연구는 효율성의 관점에서, 자유무역지역 지정 항만과 그렇지 않은 항만의 효율성 간의 차이가 존재하는지 실증적으로 분석하였다. Meta-Frontier DEA 기법을 적용하여 국내 무역항 중 자유무역지역 무역항 5곳과 일반 무역항 6곳의 메타효율성, 그룹효율성, 기술격차비율을 비교하였다. 해당 항만들의 2019년과 2020년의 자료를 활용하여 항만 하역종사자 수, 안벽 길이, 야적장 넓이를 투입변수로, 항만 처리 물동량을 산출변수로 한 모형을 설정하였다. 분석 결과, CCR 모형에서는 메타효율성의 관점에서 자유무역지역 무역항의 평균 효율성 점수가 일반 무역항에 비해 약간 높은 것으로 나타났다. 특히 자유무역지역 무역항의 경우 메타프론티어와의 기술 격차가 없는 것으로 나타나며, 일반 무역항의 경우 그룹 내 평균 효율성은 높으나 기술 격차로 인한 평균 메타효율성은 비교적 낮게 도출되었다. 반면, BCC 모형에서는 일반 무역항 그룹의 전반적인 평균 효율성 점수가 높게 나타나 이러한 결과가 두 그룹의 비효율성 원인 차이에 기인하였음을 분석하였다. 자유무역지역의 항만들은 순수기술효율성을, 일반 무역항은 규모 효율성을 높일 수 있는 방향으로의 정책적 개선이 필요한 것으로 판단된다. 마지막으로 2020년의 평균 효율성 점수가 전반적으로 2019년보다 더 높은 것으로 도출되었다.

핵심주제어 : 자유무역지역, 항만 효율성, 메타프론티어 분석, 자료포락분석

논문접수일 2022년 10월 05일

심사완료일 2022년 11월 04일

게재확정일 2022년 11월 22일

*본 논문은 한국연구재단과 아태경상저널에서 정한 윤리규정을 준수함.

*본 논문은 2022학년도 경북대학교 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었음.

1) 제1저자, chlwjddnjs73@knu.ac.kr

2) 제2저자, kcs4194@pusan.ac.kr

3) 교신저자, y.seo@knu.ac.kr

1. 서론

국제 무역에서의 항만은 전통적으로 내륙 운송과 해상 운송의 연결을 위한 공간으로 여겨져 왔으나, 글로벌 공급 사슬의 확대에 따라 사슬의 주요 거점으로서 종합 물류 기능을 수행하고 있다. 이에 따라 항만의 역할은 단순 화물처리뿐만 아니라 일반적인 물류 서비스와 부가가치를 창출하는 다양한 서비스를 제공하는 방향으로 확대되어 왔다(Pettit and Beresford, 2009). 또한, 기업 간 국제 경쟁의 증가에 따라 제조업 및 연관 산업의 기업들은 경쟁력 제고를 위해 글로벌 물류 체계 변화 대응의 필요성에 주목해왔다(이성우 외, 2012). 이러한 추세에 따라, 아시아 지역을 포함한 세계 각국은 관련 국내외 기업 유치 및 무역과 고용의 창출을 통한 산업 발전을 위해 경제특구(Special Economic Zone)의 일종인 자유무역지역(Free Trade Zone)을 항만 및 배후단지 지역에 설치하여 운영하고 있다(UN ESCAP, 2005). 자유무역지역의 범위와 개념은 문헌별로 상이하나, UN ESCAP(2005)과 이윤 외(2020)에 따르면 수출 및 대외지향적 생산·가공 활동에 특화된 역외지역으로 외국 투자 유치를 위한 정부의 인센티브가 작용되는 지역으로 정의할 수 있다. 우리나라에서는 외국인 투자 유치 및 지역 개발, 수출 촉진, 국제물류의 원활화를 목적으로 자유로운 제조, 물류, 유통, 무역 활동을 자유롭게 할 수 있도록 조세감면, 임대료 인화, 무관세 혜택을 부여하는 지역을 의미한다(박재규 외, 2020). 특히 항만의 물류 기능이 다양화, 고도화됨에 따라 항만 간 물동량 유치를 위한 경쟁 또한 치열해져 왔다. 이러한 항만의 국제 경쟁력 제고를 위해 여러 아시아 국가들은 항만 및 배후단지에 자유무역지역을 설치하여 물류 관련 부가가치 산업을 지원하여 경제적 이익 창출을 도모하고자 한다(UN ESCAP, 2005).

우리나라의 경우 수출입 물동량의 99.7%가 해상 운송을 통해 이루어지며, 이에 따라 항만 산업은 부산, 인천, 울산 등의 주요 항만 도시들의 성장 동력으로 작용하며 국가와 지역경제의 성장에 크게 기여하고 있다(이태휘, 2017). 이러한 항만 산업의 활성화를 위해 우리나라는 부산항, 광양항, 인천항, 포항항, 평택·당진항에 항만형 자유무역지역을 설정하여 운영하고 있다(강성훈 외, 2017). 2021년에는 코로나19 이후 제조업 경기 회복세 및 코로나19 관련 제품의 수요 증가로 인해 자유무역지역 입주기업의 수출이 크게 증가하여 역대 수출액인 109.4억 달러를 달성하였고, 이는 우리나라 전체 수출액의 1.7%에 해당한다(산업통상자원부, 2022). 입주기업의 수출액만 보았을 때 크게 높은 비중을 차지하지는 않으나, 항

만 물동량 창출을 통한 지역 산업의 발전 가능성을 크게 내포하고 있다는 점에서 항만형 자유무역지역 제도의 영향을 실증적인 관점에서 분석해볼 필요가 있다(박재규 외, 2020).

항만 산업의 경쟁 격화에 따라 자원 활용 측면에서의 항만의 효율성 증진이 항만 경쟁력 제고 방안으로 주목되어 왔다(Cullinane and Wang, 2006). 실제 이전 여러 연구에서 항만의 효율성을 해당 국가 항만경쟁력을 높이는 데에 중요한 요인 중 하나로 인식하였다(Chin and Tongzon, 1998; Wu and Lin, 2008; Wu and Goh, 2010). 그럼에도 불구하고 항만 내 자유무역지역의 설치와 항만 효율성에 관련된 실증적인 연구는 거의 없는 실정이다. 자유무역지역에 대해 실증적으로 효율성을 평가하는 국내 문헌은 한정적이며, 특히 항만형 자유무역지역과 관련하여 항만의 효율성을 평가한 연구가 거의 존재하지 않는다. 따라서, 본 연구는 국내에 항만형 자유무역지역이 설치되어 있는 지역의 무역항과 그렇지 않은 무역항의 효율성을 도출하여 비교 및 분석을 실시하고자 한다. 이를 위해 그룹별 효율성과 기술격차를 비교할 수 있는 Meta-Frontier DEA 기법을 사용하여 2019년과 2020년의 항만 효율성을 도출하고자 한다.

2. 선행연구

2.1. 한국 자유무역지역 현황

자유무역지역의 지정 및 운영에 관한 법률 제1조에 따르면, 자유무역지역이란 관세법, 대외무역법 등 관계 법률에 대한 특례와 지원을 통하여 자유로운 제조물류 유통 및 무역 활동 등을 보장하기 위한 지역을 의미한다. 우리나라의 자유무역지역은 1970년에 최초로 당시 마산과 익산 지역에 지정된 생산 중심의 수출자유지역(Free Export Zone)으로부터 시작되었다. 이후 2000년, 수출무역지역이 생산·물류·판매·전시기능이 추가된 자유무역지역으로 전환되고, 이어서 2002년에 부산항과 광양항이 물류 기능 중심의 관세자유지역으로 지정되었다. 이후 2004년에 자유무역지역의 지정 및 운영에 관한 법률의 개정을 통해 수출자유지역과 관세자유지역이 현재의 자유무역지역으로 통합되었다(강성훈 외, 2017). 현재 자유무역지역의 경우 크게 산업단지형과 공항·항만형으로 구분되어 있으며, 2020년 기준 산업단지형 7개, 항만형 5개, 공항형 1개로 총 13개의 자유무역지역

이 운영되고 있다(산업통상자원부, 2020).

본 연구의 분석 대상인 항만형 자유무역지역의 경우 부산항, 광양항, 인천항, 포항항, 평택·당진항이 지정되어 있으며, 각 항만공사 또는 관할지방해양수산청에 의해 관리되고 있다. 자유무역지역의 지정은 자유무역지역의 지정 및 운영에 관한 법률 시행령 제4조에 따라 (1) 연간 1천만 톤 이상의 화물을 처리할 수 있고, 정기적인 국제 컨테이너 선박 항로가 개설되어 있을 것, (2) 3만 톤급 이상의 컨테이너 선박용 전용부두가 있을 것, (3) 육상구역의 면적 및 그 배후지의 면적이 50만㎡ 이상일 것, (4) 배후지는 해당 항만과 접해있거나 전용도로 등으로 연결되어 있어 화물의 보관, 포장, 혼합, 수선, 가공 등 항만의 물류기능을 보완할 수 있어야 한다는 조건을 모두 만족해야 가능하다.

산업통상자원부(2020)에 따르면, 항만형 자유무역지역 5곳의 입주업체는 2019년 기준 총 136곳으로 입주율이 97%에 이르며 고용인원은 4,844명에 달한다(<표 1>). 부산항 자유무역지역의 경우 북항, 남항, 감천항, 신항을 포함한 지역이 자유무역지역에 포함되어있으며, 2020년에는 부산·진해지역인 신항의 남측과 서측의 컨테이너터미널 및 항만배후단지와 서측 컨테이너 부근 피더 부두에 해당하는 2,827,000㎡이 확대 지정되었다. 광양항 자유무역지역 또한 2019년 8월에 항만배후단지 중 167,140㎡가 확대 지정되었고, 인천항 자유무역지역 또한 신항 배후단지의 추가 지정에 대한 논의가 존재한다.

<표 1> 항만형 자유무역지역 현황 (2019년 기준)

구분	부산항	광양항	인천항	포항항	평택·당진항
위치	부산, 경남 창원시	전남 광양시	인천	경북 포항시	경기 평택시
지정일자	2002.1.1.	2002.1.1.	2003.1.1.	2008.12.8.	2009.3.30
면적(천㎡)	9,364	8,880	1,837	925	1,429
입주업체 수 (외투업체 수)	67(65)	50(27)	1(-)	3(-)	15(9)
입주율(%)	100	94.6	100	79	100
고용인원(명)	2,759	1,279	28	23	755
관리기관	부산지방해양수 산청, 부산항만공사	여수지방해양수 산청, 여수광양항만공 사	인천지방해양수 산청, 인천항만공사	포항지방해양수 산청	평택지방해양수 산청

출처: 산업통상자원부(2020), 양항진(2020)

2021년 기준 자유무역지역의 수출액은 우리나라 전체 수출액의 1.7%에 달한다. 2019년을 제외하고는 자유무역지역의 입주기업의 수출액이 증가하는 추세였으며, 코로나19가 발생한 2020년에도 2019년 대비 수출액이 2배 가량 증가하였다. 이후 2021년에는 코로나19의 회복세와 관련 제품의 수요 증가에 따라 입주기업의 수출이 더욱 증가하여 109.4억 달러의 수출액을 달성하였다(산업통상자원부, 2022). 또한, <표 2>에 따르면, 최근 5년간 우리나라 전체 수출액 대비 자유무역지역 입주기업의 수출액 비중은 2017년 0.35%에서 2021년 1.70%로 계속 증가하는 추세를 보이며, 특히 공항형 자유무역지역의 수출액이 크게 증가하였다. 산업단지형과 항만형 자유무역지역의 경우 수출액이 전체 수출액과 유사한 증가 흐름을 보인다.

<표 2> 자유무역지역 수출입 현황

구분	2017	2018	2019	2020	2021
자유무역지역 전체 수출액(백만 달러)	2,009	3,074	2,542	5,767	10,937
산업단지형 수출액(백만 달러)	2,009	1,788	1,438	1,505	1,937
항만형 수출액(백만 달러)	-	71	49	89	113
공항형 수출액(백만 달러)	-	1,215	1,055	8,846	8,846
국가 수출액 대비 자유무역지역 수출액의 비중(%)	0.35	0.51	0.47	1.13	1.70

출처: 산업통상자원부(2022)

2.2. 항만 효율성 관련 DEA 연구

DEA 방법론을 최초로 항만 데이터에 적용한 Roll and Hayuth(1993)의 연구를 시작으로, 다수의 연구들이 항만 효율성 평가에 DEA를 사용해왔다. 이후 Tongzon(2001)은 DEA를 통해 실제 16개 항만의 1996년 데이터를 사용하여 상대적 효율성을 측정하였다. 이때 투입변수는 크레인 수, 컨테이너 선석 수, 예인선 수, 터미널 면적, 지연 시간, 항만공사 노동자 수를 선정하였고, 산출변수는 처리물동량과 ship working rate(working hour 당 이동한 컨테이너 수)를 선정하였다.

본 연구에서 적용한 Meta-Frontier DEA의 경우 서로 다른 생산함수를 지닌 그룹의 기술격차를 비교하고, 이에 따라 전체 메타효율성과 그룹효율성을 측정할 수 있는 모형이다(박노경, 2017). 이에 따라 항만 효율성의 연구에서도 항만을 분

류하여 효율성을 비교하는 Meta-Frontier 분석 기법이 다수 적용되어 왔다. 박노경(2016)은 아시아 지역 13개 항만의 2009, 2010, 2013년의 데이터를 사용하여 항만들의 개별효율성과 그룹효율성, 기술격차를 분석하였다. 이 경우 항만의 그룹을 구별하는 클러스터링 과정을 기본 CCR 결과와 교차효율성의 매트릭스값을 기반으로 평균 연결 분석법을 사용하여 사후에 구분하였고, 이후 그룹효율성과 기술갭 비율을 도출하여 평가하였다. 이때 투입요소는 수심, 총면적, 크레인 수로 하였고, 산출요소는 컨테이너화물 처리량으로 선정하였다. 이후 동일 저자의 연구인 박노경(2017)의 경우 지역과 연도를 각각 아시아 지역 38개 컨테이너 항만과 2005년부터 2014년까지로 확장하여, 일차적으로 지역별로 클러스터링하여 Meta-Frontier DEA 효율성을 도출하였다. 이때 산출변수는 이전과 동일한 컨테이너 화물처리량으로, 투입요소는 수심, 선석길이, 총면적, 크레인수를 투입변수로 설정하였다. 이후 정수계획 모형을 기반으로 새롭게 클러스터링한 후의 그룹 효율성 및 기술 갭을 도출하여, 이전의 지역별 클러스터링 결과와의 차이를 분석하였다.

국외 연구의 경우 Nguyen et al., (2018)은 베트남의 43개 항만을 대상으로 Meta-Frontier SFA와 DEA를 사용하여 항만의 효율성 점수를 도출하였는데, 이때 북쪽, 중앙, 남쪽 지역을 기준으로 그룹을 구별하여 분석하였다. 이때 투입요소는 선석 길이, 터미널 면적, 창고 수용능력, 화물 취급 장비이며 산출요소는 화물 물동량으로 선정하였다. 항만 외에도 항만공사를 분석 대상으로 설정한 Fernandez et al., (2021)의 연구는 1995년부터 2015년까지의 26개 스페인 항만공사의 운영 효율성을 측정하였다. 스페인 항만당국의 분류에 따라 화물 취급의 다양성 정도에 따라 3단계로 나뉜 그룹을 바탕으로 Meta-Frontier 분석을 적용하였다. 이때의 투입변수는 노동자의 수, 생산 요소에 대한 지출, 터미널 면적으로, 산출요소는 각각 liquid bulk, solid bulk, general bulk, general cargo 물동량과 총 여객 수를 선정하였다. 또한, 이차 분석으로 회귀분석을 적용하여 항만 효율성과 컨테이너화 수준 사이의 상관관계를 분석하고자 하였다.

이러한 Meta-Frontier DEA를 사용하여 항만 효율성을 분석한 연구는 <표 3>에 정리해두었으며, 모든 연구가 공통적으로 항만 간의 집단 분류 기준에 대한 근거를 구체적으로 명시하였다. 실제로 박노경(2016)과 박노경(2017)은 아시아 지역의 항만들을 클러스터링하는 과정 자체를 연구의 주요 목적으로 설정하였으며, Nguyen et al., (2018)과 Fernandez et al., (2021)은 각각 항만들의 지역과 취급 화물의 다양성 정도를 바탕으로 항만 간 집단을 구분하여 분석하였다. 따라서 본

연구 또한 항만형 자유무역지역이 설치된 지역의 항만과 그렇지 않은 항만을 바탕으로 생산함수가 상이하다고 판단되는 그룹 간 기술격차와 그룹효율성, 메타효율성을 분석하고자 한다.

〈표 3〉 항만 효율성 관련 Meta-frontier DEA 연구

연구자	분석방법	연구대상	분류 기준	연도	투입변수	산출변수
박노경 (2016)	Meta-Frontier DEA, 교차효율성 모형, 덴드로그램	아시아 12개 항만	교차효율성 메트릭스 값, 덴드로그램 기반	2009,	- 수심(m)	- 컨테이너 화물처리량(TEU)
				2010, 2013	- 총면적(㎡) - 크레인 수(개)	
박노경 (2017)	Meta-Frontier DEA, 정수계획모형	아시아 38개 항만	항만 지역 및 정수계획모형 기반	2005-2	- 선석길이(m) - 수심(m)	- 컨테이너 화물처리량(TEU)
				014	- 총면적(㎡) - 크레인 수(개)	
Nguyen et al., (2018)	Meta-Frontier DEA, SFA	베트남 43개 항만	항만 지역 기준	2015	- 선석 길이(m) - 터미널 면적(㎡) - 창고 수용 능력(㎡) - 화물 취급 장비(톤) - 정보 기술(개)	- 물동량(톤)
					- Solid bulk 물동량(천 톤)	
Fernández et al., (2021)	Meta-Frontier DEA	스페인 26개 항만공사	항만 취급 화물 다양성 기준	1995-2	- 노동자 수(명) - 총면적(천 ㎡)	- Liquid bulk 물동량(천 톤)
				015	- 생산요소에 대한 지출(천 유로)	- General cargo 물동량(천 톤) - 여객 수(명)

2.3. 항만형 자유무역지역 연구

기존의 한국 자유무역지역 관련 연구들은 해외 자유무역지역 제도와의 비교를 통해 제도의 보완 등 전반적인 개선 방안을 제시하는 경우가 다수 존재한다 (Yang, 2009; 박재규 외, 2020), Yang(2009)의 연구는 항만 배후단지 기능의 관점

에서 한국과 대만의 항만자유무역 지역의 정책을 비교·분석하였다. 분석 결과, 한국과 대만의 항만 자유무역지역 입주기업에 대한 인센티브는 유사하나, 한국이 관세 및 상품에 대한 세금 외에도 기업 관련 세금의 면제가 포함된 넓은 범위의 세금 면제 혜택을 제공한다. 다만, 자유무역지역의 지리적 범위나 허용되는 경제활동의 범위가 대만이 더 넓다고 분석하였다. 박재규 외(2020)는 항만형 자유무역지역에 특화된 기업의 비즈니스 모형을 제시하고, 현재 제도의 개선점을 제시하여 이를 적용한 시뮬레이션 모형을 통해 적용 효과를 분석하였다. 현재 한국의 자유무역지역 제도가 수출 위주의 제도이기 때문에 항만형 자유무역지역 입주업체들의 활동이 하역과 보관 등의 보세구역과 유사한 활동으로 제한되어 있어, 특화된 활동을 위해 비거주자가 자유무역지역에 보관을 목적으로 내국물품으로 반입신고한 제품에 대해서는 관세영역으로 재반출이 가능하도록 개선해야 한다고 주장하였다.

자유무역지역 또는 항만물류배후단지를 대상으로 DEA를 적용한 연구들은 다음과 같다. Liu et al., (2021)은 중국 내 항만 자유무역시범구에 해당하는 항만들의 2010년부터 2017년까지의 효율성을 Super-SBM DEA 기법을 이용하여 평가하였다. 또한, Tobit 회귀분석을 사용하여 도출한 항만 효율성 점수에 영향을 미치는 항만 자유무역지역 관련 요인을 포함한 외부 및 내부 요인을 검증하였다. 이때 DEA 모형의 투입변수는 선석 수와 길이, 순자산, 상품 판매비용, 노동자의 수이며, Desirable 산출변수는 항만 물동량과 컨테이너 물동량, 판매 이윤, Undesirable 산출변수는 SO₂ 배출량과 NO_x 배출량이다. 이윤 외(2020)는 국내 산업단지형 자유무역지역의 운영효율성을 DEA를 사용하여 분석하였다. 국내에서는 최초로 전체 산업단지형 자유무역지역을 실증적으로 연구한 논문으로, 2014년부터 2018년까지의 실제 데이터를 통해 자유무역지역 자체의 상대적인 효율성을 평가하였다. 투입변수는 외국인 투자, 내국인 투자, 임대면적, 고용을 사용하여 수출 매출액을 산출변수로 하는 내수효율성, 내수 매출액을 산출변수로 하는 수출효율성, 수출과 내수 매출액을 산출변수로 한 운영효율성의 세 가지 모형으로 분석하였다. 그리고 이를 통해 내수효율성과 수출효율성의 높고 낮음을 바탕으로 DMU들을 4개의 군집으로 분류하여 분석하였다. 박홍균(2011)은 광양항과 부산항의 항만물류배후단지의 효율성을 DEA 기법을 통해 도출하였다. 이 경우에는 자유무역지역 자체를 주제로 한 연구는 아니지만, 항만형 자유무역지역에 포함되는 부산항과 광양항의 배후단지에 대해 2010년의 면적과 투자액을 투입변수로, 산출처리물동량을 산출변수로 하여 배후단지 입주기업들의 효율성을 평가하였다는

점에서 본 연구와 유사한 연구 배경 및 대상을 지닌 연구라고 할 수 있다.

3. 분석방법

3.1. Data Envelopment Analysis (DEA) 모형

기본 DEA 모형은 최초로 Charnes et al., (1978)에서 제시되었다. DEA는 분석 대상인 DMU들에 대해 다수의 투입요소와 산출요소의 상대적인 효율성을 측정하는 데에 자주 사용되는 비모수적 기법이다. 기본 DEA 모형은 크게 규모 수익 불변을 가정하는 Charnes et al., (1987)의 CCR 기법과 규모 수익 가변을 가정하는 Banker et al., (1984)의 BCC 기법으로 나뉘어진다. 또한, 두 모형 모두 산출지향의 방법과 투입지향의 방법이 적용될 수 있는데, 본 연구에서는 주어진 투입변수에 대해 산출물을 극대화하는 산출지향 기반의 CCR과 BCC 모형을 사용하고자 한다.

CCR 모형을 살펴보기 위해, 우선 n 개의 DMU가 각각 다른 양인 m 종류의 투입요소를 사용하여 다른 s 종류의 산출물을 만들어낸다고 가정한다. 이때, y_{rj} ($y_{rj} > 0$)는 DMU $_j$ 의 r 번째 산출물의 양이고, x_{ij} ($x_{ij} > 0$)는 i 번째 투입물의 양이다 ($j = 1, \dots, n$). 또한, $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}) = [x_{ij}]$ 와 $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}) = [y_{rj}]$ 의 (X_j, Y_j) 는 DMU의 투입 및 산출 벡터를 나타낸다. 주어진 DMU $_0$ 의 상대적 효율성 점수는 산출물의 가중치 합과 투입물의 가중치 합의 비율로 계산된다(Charnes et al., 1978). 이때 u_r 과 v_i 는 산출 변수와 투입 변수의 가중치를 의미한다. 이를 기반으로 한 산출지향 CCR 포락 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \phi + \left(\epsilon \sum_{i=1}^m s_i^- + \epsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\ & \text{subject to} \\ & x_{i0} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- \quad (i = 1, \dots, m) \\ & \phi y_{r0} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \quad (r = 1, \dots, s) \end{aligned}$$

$$\lambda_j \geq 0 (j=1, \dots, n); s_i^- \geq 0 (i=1, \dots, m)' s_r^+ \geq 0 (r=1, \dots, s) \quad \text{식 (1)}$$

이때, s_i^- 와 s_r^+ 는 각각 투입과 산출 벡터의 잔여분(slack)을 의미하며, λ_j 는 프론티어 구성에 미치는 영향의 정도를 나타내는 DMU_j의 가중치를 의미한다. ϕ^* 가 1인 경우 해당 DMU는 효율적이며, ϕ^* 가 1보다 큰 경우는 비효율적인 DMU라고 할 수 있다. 일반적으로 DEA에서의 효율성 점수는 0과 1 사이의 값으로 나타나기 때문에, 산출지향 모형에서는 해당 ϕ^* 의 역수를 효율성 점수로 사용한다(고길곤, 2017).

규모 수익 가변을 가정하는 Banker et al., (1984)의 BCC 모형의 경우, 산출지향 BCC 포락 모형은 다음과 같다.

$$\text{Max } \phi + \left(\epsilon \sum_{i=1}^m s_i^- + \epsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

subject to

$$x_{i0} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- \quad (i=1, \dots, m)$$

$$\phi y_{r0} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \quad (r=1, \dots, s)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 (j=1, \dots, n); s_i^- \geq 0 (i=1, \dots, m)' s_r^+ \geq 0 (r=1, \dots, s) \quad \text{식 (2)}$$

CCR 모형과 동일하게 해당 DMU의 가 1인 경우 효율적인 DMU라고 볼 수 있다. CCR 모형과는 λ_j 의 합이 1이라는 제약조건의 추가라는 차이점이 존재한다.

또한, CCR과 BCC 모형을 사용하면 해당 DMU의 규모효율성(SE) 점수를 도출할 수 있다. CCR 효율성 점수는 기술효율성(TE) 점수로 불리며, 이는 규모효율성(SE)과 순수기술효율성(PTE)을 모두 포함한 점수를 의미한다. BCC 모형의 효율성 점수는 PTE이며, 이는 TE에서 SE를 제외한 효율성을 의미한다. 따라서 SE 점수는 다음과 같이 나타낼 수 있다:

$$SE_k = \frac{CCR(\theta_k^*)}{BCC(\theta_k^*)} \quad \text{식 (3)}$$

따라서 본 연구는 CCR과 BCC 모형의 점수를 모두 도출하여 각 항만의 규모효율성의 정도도 함께 분석하고자 한다.

3.2. Data Envelopment Analysis (DEA) 모형

그룹간 기술 격차를 분석하는 Meta-Frontier 기법은 Hayami(1969)와 Hayami and Ruttan(1970)에 의해 처음 제시되었다. 이후 Battese and Rao(2002)의 연구에서 효율성을 측정하는 SFA 기법과 DEA 기법에 Meta-Frontier 개념을 구체적으로 도입하기 시작하였다. 따라서 기존의 DEA 기법이 생산함수가 서로 다른 집단들 간의 기술효율성 비교가 불가능했던 한계점을 극복하여, Meta-Frontier DEA 분석을 통해 서로 다른 생산함수를 지닌 집단 간의 효율성을 비교하는 것이 가능하게 되었다. Meta-Frontier 효율성 값은 동일한 생산함수를 사용하는 DMU들을 동일 그룹으로 분류하고, 그룹별 효율성을 구한 후 각 그룹의 효율성을 포괄하는 효율선으로 나타난다(서충원, 신연수, 2015). 따라서 DEA를 사용하여 각 그룹별 효율성 최대치 값을 포락하는 메타프론티어와 그룹프론티어를 도출한 후, DMU들의 그룹 내 효율성(그룹효율성)과 메타프론티어 효율성(메타효율성), 기술격차비율(TGR)을 구할 수 있다. 이때 TCR이란, 각 DMU와 메타프론티어 간의 효율성 차이를 나타내는 값을 의미한다(강대한, 최강화, 2018). 그리고 이러한 차이를 분석하기 위해 동일한 기술을 가진 DMU들을 분류하는 명확한 기준을 설정해야 하고, 메타프론티어가 포괄하는 각 그룹이 같은 생산 기술을 공유하는지의 여부 또한 확인해야 적절한 분석을 실시할 수 있다(Battese et al., 2004; 서충원, 신연수, 2015).

다음의 메타프론티어 분석 모형은 O' Donnell et al., (2008)을 바탕으로 서술하였다. O' Donnell et al., (2008)에서는 분석 단위를 기업(firm)으로 표현하나, 본 연구는 Meta-Frontier DEA를 사용하기 때문에 분석 단위를 DMU로 표현하고자 한다. 우선, y 와 x 는 음수가 아닌 실제 산출벡터와 투입벡터를 의미한다. 이때 메타 기술 집합(Metatechnology set)은 모든 기술적으로 실현가능한 투입-산출의 집합을 포함하며, 이는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$T = \{(x, y) : x \geq 0; y \geq 0; x \text{ can produce } y\} \quad \text{식 (4)}$$

이러한 메타 기술 집합과 연관된 산출 집합은 특정 투입 벡터인 x 에 의해 정의되며, $P(x) = \{y : (x, y) \in T\}$ 로 표현된다. 이때의 산출 집합의 경계를 산출 메타프론티어로 정의한다. 이를 바탕으로 효율성 측정을 목적으로 하는 메타프론티어 분석에서는 산출 메타 거리 함수(Output metadistance function)를 사용하여 기술 효율성을 측정하며, 산출 메타 거리 함수는 $D(x, y) = \inf_{\theta} \{\theta > 0 : (y/\theta) \in P(x)\}$ 로 정의된다. 산출 메타 거리 함수는 DMU가 주어진 투입 벡터에서 산출 벡터를 방사형으로 확장할 수 있는 최대량을 부여한다. $D(x, y) = 1$ 인 경우에만 해당 관측치 (x, y) 가 메타프론티어에 대해 기술적으로 효율적인 것으로 간주된다.

또한, 그룹별 기술효율성 측정을 위해 분석 단위가 2개 이상인 K 개의 그룹으로 나누는 경우를 고려한다. 이때 k 번째 그룹 내 DMU가 선택할 수 있는 투입-산출 조합은 그룹별 기술 집합에 포함되며, 이는 식 (5)의 T^k 로 표현된다.

$$T^k = \{(x, y) : x \geq 0; y \geq 0; x \text{ can be used by DMUs in group } k \text{ to produce } y\} \quad \text{식 (5)}$$

이때, k 번째 그룹의 산출 집합은 $P^k(x) = \{y : (x, y) \in T^k\}$, $k = 1, 2, \dots, K$ 로, k 번째 그룹의 산출 거리 함수는 $D^k(x, y) = \inf_{\theta} \{\theta > 0 : (y/\theta) \in P^k(x), k = 1, 2, \dots, K\}$ 로 표현된다. 그리고 이 산출 집합과 산출 거리 함수에 따라 k 번째 그룹의 기술효율성이 나타나며, 해당 그룹별 산출 집합의 경계를 그룹프론티어로 정의한다.

또한, 앞서 언급되었듯이 해당 관측치 (x, y) 가 $D(x, y) = 1$ 인 경우에만 기술적으로 효율적인 것으로 간주되는데, 이때 메타 기술 관점에서의 (x, y) 의 기술 효율성에 대한 산출 지향적 측정치는 $TE(x, y) = D(x, y)$ 이다. 예를 들어, $D(x, y) = 0.6$ 인 경우 투입 벡터 x 를 사용하여 해당 DMU가 생산할 수 있는 최대 산출이 60%임을 의미한다. 반면, k 번째 그룹의 기술효율성을 측정하기 위한 k 번째 그룹 기술에 대한 산출 지향적 측정치는 $TE^k(x, y) = D^k(x, y)$ 이다. 이 경우에는 $D^k(x, y) = 0.7$ 인 경우 산출은 투입 벡터 x 와 k 번째 그룹의 기술을 사용하여 해당 DMU_k 가 생산할 수 있는 최대 산출이 70%임을 의미한다. 또한, k 번째 그룹의 산출 거리 함수인 $D^k(x, y)$ 는 메타프론티어에 포함되기 때문에 메타 거리 함수인 $D(x, y)$ 보다 큰 값을 가지게 된다(서충원, 신연수, 2015). 따라서 두 함수 사이의 이질성이 관찰된다면 k 번째 그룹프론티어와 메타프론티어간의 거리를 측정할 수

있다. 이때, k번째 그룹과 산출지향 메타 기술 비율(Meta-Technology Ratio, 이하 MTR)은 다음과 같이 계산된다.

$$MTR^k(x,y) = \frac{D(x,y)}{D^k(x,y)} = \frac{TE(x,y)}{TE^k(x,y)} \quad \text{식 (6)}$$

잠재적 MTR 대비 k번째 그룹에 대한 기술효율성으로 계산된 MTR은 k번째 그룹 DMU의 기술 격차 수준을 나타내며, 이는 기술격차 비율인 TGR을 의미한다(최강화, 2016). 본 연구는 이상의 Meta-Frontier 분석을 적용하여 그룹효율성과 메타효율성, TGR을 분석하여 그룹별 DMU의 효율성을 분석하고자 한다.

3.3. 변수 설명

Meta-frontier DEA 분석을 위한 기간과 투입요소 및 산출요소, 대상 항만은 다음 <표 4>에 제시되어 있다. 분석대상 기간은 2019년과 2020년으로, 코로나19 이전과 이후를 각각 분석해보고자 하였다. 그리고 분석대상인 DMU의 경우 국내 주요 무역항 중 하역종사자 수의 데이터가 존재하는 14개 항만을 설정하였다. 이때 대산항과 군산항, 평택항과 당진항, 동해항과 묵호항은 각각 일부 데이터가 통합된 상태로 존재하여 하나의 항만으로 취급하여 총 11개의 DMU를 바탕으로 효율성을 분석하였다. Meta-frontier 분석에서 중요한 결정 요인인 그룹의 구별 요인은 항만의 자유무역지역 지정 여부를 기준으로 설정하였다.

이를 분석하기 위한 DEA 모형의 투입요소는 하역종사자 수, 안벽 길이, 야적장 면적으로 설정하였고, 산출변수는 항만의 화물 물동량으로 설정하였다. 해당 변수들은 앞서 인용한 참고문헌을 기반으로 설정하였으며, 이들의 기술통계량은 <표 5>에 분석되어 있다. 지역별 하역종사자 수의 경우 한국항만물류협회(2020 & 2021)의 자료를 사용하였으며, 구체적으로 지역별 하역업체와 항운노조원의 인원을 합한 인원을 의미한다. 안벽 길이와 야적장의 경우, 대형 선박의 터미널 접안 증가 및 물동량 증가에 따라 충분한 안벽 길이 및 야적장 넓이의 확보가 항만에 있어 중요 요인으로 주목받고 있음에 따라 기존 연구를 바탕으로 투입변수로 설정하였다(차상현, 노창균, 2018). 두 변수의 경우 해양수산부(2022)의 자료를 사용하였다. 산출변수의 경우 화물 물동량으로 설정하여 해양수산부(2021)의 항만별 물동량 처리 현황을 바탕으로 분석하였다. 이러한 변수를 기반으로 그룹별 항만

효율성 점수 및 기술 격차를 비교하고, 이외에도 개별 DMU의 기술효율성(CCR), 순수기술효율성(BCC) 그리고 규모효율성 점수를 도출하고자 한다.

<표 4> 분석모형 요약

모형	대상 기간	투입요소	산출요소	DMU
Meta-frontier DEA	2019, 2020	하역종사자 수 (명)	화물 물동량 (천 톤)	GROUP 1 (자유무역지역 무역항, 5개)
		안벽 길이 (m)		GROUP 2 (일반 무역항, 6개)
		야적장 면적 (㎡)		울산항, 부산항, 평택·당진항, 포항항, 대산·군산항, 동해·목포항, 마산항, 목포항, 제주항

<표 5> 변수 기술통계량

연도	투입변수			산출변수
	안벽 길이(m)	하역종사자 수(명)	야적장 넓이(㎡)	화물 물동량(천 톤)
2020	Max	32561	7012	4098.828
	Min	3518	575	103.491
	Average	15132.27	1754.82	1531.49
	SD	9402.97	1742.32	1134.68
2019	Max	31165	7101	4098.828
	Min	3518	601	103.491
	Average	14926.00	1779.32	1531.88
	SD	9147.93	1767.16	1134.58

4. 분석결과

4.1. 2019년 Meta-Frontier DEA 분석 결과

Meta-Frontier DEA 방법을 통해 2019년과 2020년의 메타효율성, 그룹효율성, 기술 격차 비율 점수를 도출하였다. 또한, 규모 수익 불변과 가변 모형을 모두 적용하고, 이에 따른 규모효율성과 규모 수익을 도출하였다. 우선 2019년의 분석

결과는 <표 6>에서 확인할 수 있다. 먼저 메타효율성의 관점에서는 자유무역지역 내 무역항의 평균 메타효율성이 0.6945로 비자유무역지역 무역항의 평균 메타효율성인 0.6863보다 조금 높게 나타났다. 다만, 평균 그룹효율성의 경우 일반 무역항의 점수가 0.7413으로 자유무역지역 내 항만의 평균 그룹효율성 점수인 0.6945보다 높게 나타났다. 자유무역지역 내 무역항 그룹에서는 부산항, 광양항이 CCR 모형과 BCC 모형의 측면에서 메타효율성과 그룹효율성뿐만 아니라 TGR 모두 1의 값을 갖는 효율적인 DMU로 나타났다. CCR 모형에서는 인천항과 평택·당진항, 포항항 또한 TGR 값이 모두 1로 나타나 메타효율성과 기술효율성 사이의 기술격차가 전혀 나타나지 않음을 알 수 있다. BCC 모형에서는 평택·당진항과 포항항은 그룹효율성이 1로 그룹 내에서는 효율적으로 나타나지만, 메타효율성과 그룹효율성 간 기술격차가 존재하는 것으로 분석된다.

일반 무역항의 경우, 울산항과 동해·목포항이 CCR 모형과 BCC 모형의 측면에서 메타효율성과 그룹효율성, TGR 값이 모두 1로 나타나 효율적이며, 대산·군산항과 제주항은 BCC 모형 하에서만 모든 값이 1로 도출되어 효율적으로 나타난다. 이 경우 메타효율성과 기술효율성 차이의 기술격차가 존재하지 않음을 알 수 있다. CCR 모형에서는 대산·군산항, 마산항, 목포항의 경우 메타효율성과 기술효율성 간의 기술 격차가 존재하는 반면, 제주항의 경우 TGR 값이 1로 기술격차가 존재하지 않음을 알 수 있다. BCC 모형 또한 마산항과 목포항의 기술 격차가 존재하나, 그 격차가 더욱 줄어든 것으로 나타난다.

규모효율성 측면에서는, 자유무역지역 내 무역항의 규모효율성이 전반적으로 높게 나타난다. 부산항과 광양항은 규모의 관점에서도 효율적으로 나타나며, 인천항도 0.9950으로 효율성에 가까운 점수를 보인다. 이들은 평균적으로 약 96%의 규모효율성을 보여주며, 가장 낮은 포항항의 경우에도 약 88%의 규모효율성을 보여준다. 일반 무역항 규모효율성의 경우 평균 0.7899로 자유무역지역 그룹보다 낮게 나타났으며, 울산항과 동해·목포항이 규모의 관점에서도 효율적으로 나타난다. 이 외에는 목포항, 대산·군산항, 마산항, 제주항의 순서대로 규모 효율성 점수가 낮은 것으로 나타난다. 또한, 규모효율성(SE) 점수와 순수기술효율성(PTE) 점수의 비교를 통해 비효율의 원인을 살펴볼 수 있다(박만희, 2008). 대산·군산항과 제주항의 경우 BCC 모형에서 메타효율성과 그룹효율성이 모두 1이나 PTE보다 SE가 낮아 규모에 기인한 비효율이 발생한 것으로 분석된다. 목포항 또한 비효율의 주원인이 항만의 규모라고 해석할 수 있다($PTE > SE$). 반면 SE보다 PTE가 낮은 인천항, 평택·당진항, 포항항, 마산항의 경우 순수기술에 의해 비효율적

이라고 분석할 수 있다. 또한, 규모의 경제 측면에서 규모에 대한 수익이 증가하는 항만은 7개, 규모에 대한 수익이 불변인 항만은 4개이며 감소하는 항만은 없는 것으로 나타난다.

〈표 6〉 2019년 Meta-Frontier DEA 분석 결과

연도	그룹	DMU	CCR Score			BCC Score			SE	RTS
			ME(TE)	GE	TGR	ME(TE)	GE	TGR		
2019	Group 1 (자유무역지역 무역항)	부산	1	1	1	1	1	1	1	CRS
		광양	1	1	1	1	1	1	1	CRS
		인천	0.4743	0.4743	1	0.4750	0.4774	0.9950	0.9985	IRS
		평택·당진	0.6091	0.6091	1	0.6617	1	0.6617	0.9205	IRS
		포항	0.3891	0.3891	1	0.4422	1	0.4422	0.8799	IRS
		평균	0.6945	0.6945	1	0.7158	0.8955	0.8198	0.9598	-
	Group 2 (일반 무역항)	울산	1	1	1	1	1	1	1	CRS
		대산·군산	0.6878	0.7773	0.8849	1	1	1	0.6878	IRS
		동해·목호	1	1	1	1	1	1	1	CRS
		마산	0.2703	0.3889	0.6950	0.3670	0.4416	0.8311	0.7365	IRS
		목포	0.3361	0.4577	0.7343	0.6842	0.6868	0.9962	0.4912	IRS
		제주	0.8236	0.8236	1	1	1	1	0.8236	IRS
		평균	0.6863	0.7413	0.8857	0.8419	0.8547	0.9712	0.7899	-

4.2. 2020년 Meta-Frontier DEA 분석 결과

2020년의 Meta-Frontier DEA 분석 결과는 〈표 7〉에 제시되어 있다. 2019년의 결과와 비교하였을 때, BCC 기반의 일반 무역항들의 평균 그룹효율성을 제외하고는 전반적으로 2020년의 평균 효율성 점수가 증가한 모습을 보인다. CCR 모형에서의 두 그룹 간 메타효율성의 차이는 2019년과 유사하게 근소한 차이로 자유무역지역 무역항 그룹이 더 높으며, 반대로 그룹효율성의 차이는 일반 무역항이 더 높은 것으로 나타난다. 자유무역지역 내 무역항 그룹에서는 부산항과 광양항이 CCR 모형과 BCC 모형에서 메타효율성과 그룹효율성, TGR 점수가 모두 1로 효율적인 항만으로 도출되었다. CCR 모형에서는 인천항, 평택·당진항, 포항항 모두 TGR 점수가 1로 메타효율성과 기술효율성 간 기술 격차가 존재하지 않음을 알 수 있다. 즉, 모든 자유무역지역 무역항이 메타프론티어를 구성하고 있는 것으로 분석된다. BCC 모형에서는 부산항과 광양항을 제외한 모든 항만이 메타프론티어와의 기술 격차가 존재하며, 평택·당진항과 포항항의 경우 그룹 내에서는 효율적이지만 기술 격차 비율이 인천항보다 높음을 알 수 있다.

일반 무역항의 경우 울산항과 동해·목호항이 CCR과 BCC 모형 모두에서 메

타효율성, 그룹효율성 및 TGR 점수가 1로 효율적으로 도출되었으며, 대산·군산항과 제주항의 경우 BCC 모형에서만 모든 점수가 1로 효율적으로 나타난다. 전반적으로 2019년과 유사하게 CCR 모형에서는 제주항을 제외한 대산·군산항, 마산항, 목포항의 경우 메타효율성과 그룹효율성 간의 기술 격차가 존재하며, BCC 모형에서도 마산항과 목포항의 기술 격차가 존재하는 것으로 나타난다.

규모효율성 측면에서는, 자유무역지역 내 무역항 그룹의 평균 규모효율성이 0.9537로 일반 무역항 그룹의 0.8256보다 높게 나타난다. 부산항과 광양항이 규모의 관점에서도 효율적으로 나타나며, 인천항도 0.9920으로 규모 효율성에 가까운 점수로 나타난다. 일반 무역항 그룹의 경우 2019년에 비해 규모효율성이 전반적으로 증가하였으며, 목포항이 0.4912에서 0.6012로 증가하여 10% 이상으로 가장 크게 개선되었다. 2019년과 동일하게 규모의 관점에서 울산항과 동해·목호항이 효율적으로 나타나며, 대산·군산항과 제주항, 목포항의 비효율성은 규모의 비효율에 기인한 것으로 분석된다. 이 외 인천항, 평택·당진항, 포항항, 마산항의 비효율은 순수기술에 의한 비효율로 동일하게 나타난다. 또한, 규모의 수익 측면에서 규모에 대한 수익이 증가하는 항만은 6개, 규모에 대한 수익이 불변인 항만은 5개이며 감소하는 항만은 2019년과 동일하게 없는 것으로 나타난다.

<표 7> 2020년 Meta-Frontier DEA 분석 결과

연도	그룹	DMU	CCR Score			BCC Score			SE	RTS
			ME(TE)	GE	TGR	ME(TE)	GE	TGR		
2020	Group 1 (자유무역지역 무역항)	부 산	1	1	1	1	1	1	1	CRS
		광 양	1	1	1	1	1	1	1	CRS
		인 천	0.5183	0.5183	1	0.5187	0.5200	0.9975	0.9992	IRS
		평택·당진	0.6554	0.6554	1	0.7076	1	0.7076	0.9262	IRS
		포 항	0.4218	0.4218	1	0.4724	1	0.4724	0.8929	IRS
		평균	0.7191	0.7191	1	0.7397	0.9040	0.8355	0.9637	-
	Group 2 (일반 무역항)	울 산	1	1	1	1	1	1	1	CRS
		대산·군산	0.7188	0.7656	0.9389	1	1	1	0.7188	IRS
		동해·목호	1	1	1	1	1	1	1	CRS
		마 산	0.2931	0.3988	0.7350	0.3943	0.4603	0.8566	0.7433	CRS
		목 포	0.3713	0.4737	0.7838	0.6176	0.6504	0.9496	0.6012	IRS
		제 주	0.8965	0.8965	1	1	1	1	0.8965	IRS
		평균	0.7133	0.7558	0.9096	0.8353	0.8518	0.9677	0.8266	-

5. 결 론

본 연구는 Meta-Frontier DEA를 사용하여 자유무역지역의 무역항과 일반 무역항 간의 메타효율성과 그룹효율성, 기술격차비율을 도출하고자 하였다. 분석 결과를 요약하면 다음과 같다. CCR 모형 기준 자유무역지역 무역항들의 평균 메타효율성은 2019년과 2020년 각각 69.45%와 71.91%, TGR은 모두 100%이며 일반 무역항의 평균 메타효율성은 각각 68.63%와 71.33%, TGR은 88.57%와 90.96%로 나타난다. BCC 모형 기준 자유무역지역 무역항들의 평균 메타효율성은 2019년과 2020년 각각 71.58%와 73.97%, TGR은 81.98%와 83.55%이며 일반 무역항들의 평균 메타효율성은 각각 84.19%와 83.53%, TGR은 97.12%와 96.77%로 도출되었다. 또한, 모든 모형에서 부산항, 광양항, 울산항, 동해·묵호항이 효율적인 항만으로 도출되었다.

이러한 분석 결과를 통해 알 수 있는 사실은 다음과 같다. 첫 번째로 CCR 모형을 기준으로 그룹별 평균 메타효율성 보았을 때, 두 연도 모두 근소한 차이로 자유무역지역이 높게 나타남을 알 수 있다. 또한, 일반 무역항의 경우 그룹효율성을 기준으로 하였을 때는 효율성이 높았으나, 메타효율성 기준에서는 상대적으로 감소하였다. 이는 일반 무역항들이 그룹 내에서의 상대적 효율성은 우수하게 나타나나, 그룹을 통합하였을 때의 효율성은 그 수준이 상대적으로 낮음을 의미한다. 또한, 자유무역지역 무역항의 경우 CCR 모형 기준에서는 모든 항만이 기술 격차가 존재하지 않으며, 일반 무역항은 기술 격차가 존재함을 알 수 있다. 실제로 2019년과 2020년 모두 자유무역지역 무역항의 경우 모든 항만의 TGR이 1로 도출되었다. 이는 자유무역지역 무역항의 그룹프론티어와 메타프론티어가 일치함을 나타내고, 이들 사이의 기술격차가 없음을 의미한다.

다만, 순수기술효율성 점수를 도출하는 BCC 모형에서는 두 연도 모두 일반 무역항의 평균 점수가 더 높게 나타난다. 또한, BCC 모형에서 자유무역지역 무역항들의 평균 메타효율성 점수와 그룹효율성 간의 차이가 일반 무역항들보다 더 큰 결과 또한 CCR 모형과 반대된다. 이러한 차이는 두 그룹 간 비효율 원인의 차이에 그 원인이 있는 것으로 분석된다. 일반 무역항 중 마산항을 제외한 대산·군산항, 제주항, 목포항의 경우 모두 비효율의 원인이 규모에 있으며, 마산항과 자유무역지역 무역항 중 인천항과 평택·당진항, 포항항은 순수기술에 의한 비효율이 발생한 항만에 해당한다. 따라서 규모의 비효율성이 발생한 대산·군산항, 목포항, 제주항의 경우 항만의 시설 부족에 의한 저생산성이 발생하였으므로

물동량 처리를 위한 항만의 규모 확대가 필요한 것으로 분석된다. 반면, 인천항과 평택·당진항, 포항항과 같이 순수기술에 의해 비효율성이 나타나는 자유무역지역 항만의 경우, 이를 보완하기 위해 시설의 확충보다는 자유무역지역 정책과 연계하여 IoT 기반 시스템 구현, 전문인력 양성, 물류 네트워크 구축과 같이 효과적인 물동량 및 투자 창출을 위한 장기적인 전략이 고려되어야 할 것으로 보인다(하명신, 2009; 박선율 외, 2017; Yang and Yip, 2019).

또한, 2019년과 2020년 사이의 효율성 점수 차이가 유의미하게 크지는 않으나, 2019년 대비 2020년이 오히려 효율성의 측면에서 증가한 모습을 보인다. 앞선 기술통계에서 볼 수 있듯이 투입요소는 큰 변화가 없으나 코로나19로 인해 항만의 물동량이 감소했음에도 불구하고, 일반 무역항의 BCC 모형 메타효율성 점수를 제외하고는 메타효율성 및 그룹효율성이 증가하였음을 알 수 있다. 따라서 이는 대부분 2019년 대비 2020년의 무역항들의 규모효율성 개선에 기인한 것으로 보인다.

본 연구는 국내 항만형 자유무역지역의 항만 자체에 대해 DEA 기법을 통해 효율성을 분석한 첫 시도로 보인다. 자유무역지역이 설치된 무역항과 그렇지 않은 무역항을 나누어 Meta-Frontier 관점에서의 효율성 연구를 진행하였다는 점이 기존 연구와의 가장 큰 차별점이라고 할 수 있다. 다만, 국내 항만형 자유무역지역 지정 항만의 수가 5개로 충분한 수의 DMU를 확보하지 못하였다는 점이 주요 한계점으로 손꼽힌다. 이를 최대한 극복하기 위해 국내 주요 무역항을 분석에 함께 포함하여 Meta-Frontier 분석을 실시하고자 하였고, 이를 통해 메타효율성과 그룹효율성을 모두 도출하여 분석하고자 하였다. 이 외에도 여러 연도의 데이터를 바탕으로 기술수준과 생산성 변화를 비교할 수 있는 Malmquist 분석을 추가적으로 실시하여 비교하지 못한 부분을 추후과제로 남겨두고자 한다. 또한, 자유무역지역이 지정된 항만배후단지와 관련된 변수가 효율성 점수에 영향을 미치는지에 대한 회귀분석과 같은 추가적인 분석이 실시된다면 더욱 다양한 자유무역지역 관련 실증적인 연구 결과를 제시할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

- 강대한, & 최강화. (2018). 호텔의 메타 효율성 측정과 효율성 변동요인에 대한 연구: L 호텔을 중심으로. *관광레저연구*, 30(4), 135-154.
- 강성훈, 양지영, & 김미정. (2017). 관세연구 17-03 자유무역지역제도 개선을 위한 연구.
- 고길곤. (2017). 효율성 분석 이론: 자료포락분석과 확률변경분석. [KMP] *한국지식재산연구원 도서 DB*, 0-0.
- 박노경. (2016). 메타프론티어와 교차효율성 모형을 통한 항만 클러스터링의 실증적 검증소고. *무역학회지*, 41(3), 27-42.
- 박노경. (2017). 메타프론티어 DEA 모형과 정수계획모형을 이용한 항만클러스터링 측정에 대한 실증적 비교 및 검증연구. *한국항만경제학회지*, 33(2), 53-82.
- 박만희. (2008). 효율성과 생산성 분석. 과주: 한국학술정보(주).
- 박선율, 김상열, & 박호. (2017). DEA 결합모형을 활용한 아세안 (ASEAN) 지역 항만의 효율성 분석. *한국항만경제학회지*, 33(4), 1-15.
- 박재규, 조민지, & 김환성. (2020). 항만형 자유무역지역의 활성화를 위한 제도 개선에 관한 연구. *한국항해항만학회지*, 44(6), 524-533.
- 박홍균. (2011). 광양·부산항의 항만물류배후단지 효율성 분석. *한국항만경제학회지*, 27(1), 13-30.
- 산업통상자원부. (2020). 대한민국 수출 전진기지 자유무역지역. 세종: 산업통상자원부 경제자유구역기획단 혁신지원팀.
<https://www.motie.go.kr/kftz/news/promotion.do>
- 산업통상자원부. (2022). 2020년도 자유무역지역(FTZ) 수출 동향(잠정).
<https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156492803>
- 서충원, & 신연수. (2015). 메타프론티어를 이용한 외국관광객을 위한 관광호텔의 권역별 효율성 평가. *무역학회지*, 40(4), 195-215.
- 양항진. (2020). 항만형 자유무역지역의 부가가치 창출을 위한 제도 개선에 관한 연구. *해양미즈*, 45, 143-165.
- 이성우, 강준구, & 김군태. (2012). 항만자유무역지역 투자유치의 경제적 파급효과 연구. *해양정책연구*, 27(1), 1-30.
- 이윤, 장광홍, & 안영효. (2020). 한국 자유무역지역의 운영효율성 분석. *한국물류학회지*, 30(2), 13-22.
- 이태휘. (2017). 체선을 고려한 항만의 효율성 분석에 관한 연구. *한국항만경제학회지*, 33(4), 135-147.
- 차상현, & 노창균. (2018). 컨테이너터미널에서 야드 이송장비 자동화 적용방안에 관한 연구. *한국항해항만학회지*, 42(3), 217-226.

- 최강화. (2016). 메타프론티어 분석을 이용한 지역 축제의 효율성 비교. *관광연구*, 31(6), 27-46.
- 하명신. (2009). 동북아 지역과 미국 주요 컨테이너항만간의 효율성 비교. *한국항만경제학회지*, 27(3), 229-250.
- 한국항만물류협회. (2020). 항만하역요람 2020. <http://www.kopla.or.kr/join/join01.asp>
- 한국항만물류협회. (2021). 항만하역요람 2021. <http://www.kopla.or.kr/join/join01.asp>
- 해양수산부. (2021). 항만별 물동량 처리 현황. 해양수산 통계 시스템. <https://www.mof.go.kr/statPortal/cate/statView.do>
- 해양수산부. (2022). 항만시설 및 능력현황. KOSIS 국가통계포털. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=146&tblId=DT_MLTM_1334&conn_path=12
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.
- Battese, G. E., & Rao, D. P. (2002). Technology gap, efficiency, and a stochastic metafrontier function. *International Journal of Business and Economics*, 1(2), 87.
- Battese, G. E., Rao, D. S., & O'donnell, C. J. (2004). A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies. *Journal of productivity analysis*, 21(1), 91-103.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- Chin, A., & Tongzon, J. (1998). Maintaining Singapore as a major shipping and air transport hub. *Competitiveness of the Singapore Economy*. Singapore University Press, Singapore, 83-114.
- Cullinane, K., & Wang, T. F. (2006). Data envelopment analysis (DEA) and improving container port efficiency. *Research in Transportation Economics*, 17, 517-566.
- Fernández, X. L., Hidalgo-Gallego, S., Pérez-Urbaneja, S., & Coto-Millán, P. (2021). When container specialisation makes a difference: an efficiency analysis of the Spanish port authorities. *Maritime Policy & Management*, 48(5), 629-650.
- Hayami, Y. (1969). Sources of agricultural productivity gap among selected countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 51(3), 564-575.
- Hayami, Y., & Ruttan, V. W. (1970). Agricultural productivity differences among countries. *The American economic review*, 60(5), 895-911.
- Liu, J., Wang, X., & Guo, J. (2021). Port efficiency and its influencing factors in the context of pilot free trade zones. *Transport Policy*, 105, 67-79.
- Nguyen, H. O., Nghiem, H. S., & Chang, Y. T. (2018). A regional perspective of port performance using metafrontier analysis: the case study of Vietnamese ports. *Maritime Economics & Logistics*, 20(1), 112-130.
- O' Donnell, C. J., Rao, D. S., & Battese, G. E. (2008). Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. *Empirical economics*, 33(2), 231-255.

- Pettit, S. J., & Beresford, A. K. C. (2009). Port development: from gateways to logistics hubs. *Maritime Policy & Management*, 38(3), 253-267.
- Roll, Y., & Hayuth, Y. (1993). Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). *Maritime policy and Management*, 20(2), 153-161.
- Tongzon, J. (2001). Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(2), 107-122.
- UN ESCAP. (2005). Free trade zone and port hinterland development. United Nations.
- Wu, Y. C. J., & Goh, M. (2010). Container port efficiency in emerging and more advanced markets. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 1030-1042.
- Wu, Y. C. J., & Lin, C. W. (2008). National port competitiveness: implications for India. *Management Decision*, 46(10), 1482-1507.
- Yang, X., & Yip, T. L. (2019). Sources of efficiency changes at Asian container ports. *Maritime Business Review*, 4(1), 71-93.
- Yang, Y. C. (2009). A comparative analysis of free trade zone policies in Taiwan and Korea based on a port hinterland perspective. *The Asian journal of shipping and logistics*, 23(2), 273-303.

The Efficiency Evaluation of Ports in Korea Using Meta-Frontier DEA: Focusing on Free Trade Port Zone*

Choi, Jeong-Won¹⁾

Ph.D Student, Department of International Trade, Kyungpook National University

Kim, Chang-Soo²⁾

Assistant Professor, Department of International Trade, Pusan National University

Seo, Young-Joon³⁾

Associate Professor, Department of International Trade, Kyungpook National University

Abstract

Korea has designated Free Trade Zone in the port area to facilitate the import and export logistics industry and to create value-added activities. This study empirically examines the difference in the efficiency scores of ports with Free Trade Port Zone compared to non-Free Trade Port Zone. By applying the Meta-Frontier DEA methodology, this study evaluates the meta efficiency, group efficiency, and scale efficiency of five ports with a Free Trade Port Zone and six ports with a non-Free Trade Port Zone. By collecting the data from 2019 and 2020, the number of unloading workers, length of quay, container yard area are selected as input variables, while port throughput is chosen as an output variable. As for meta-efficiency, the average efficiency score of ports with Free Trade Port Zone was higher than non-Free Trade Port Zone ports. In addition, there was no technical gap between the meta-frontier and group frontier of Free Trade Port Zone ports. The average efficiency score in the group of ports with non-Free Trade Port Zone was high, but the average meta-efficiency was lower due to the relatively low technical gap. However, in BCC model, the average meta-efficiency score of ports with non-Free Trade Zone was higher than ports with Free Trade Zone. These results might be attributed to the difference in the cause of inefficiency between the two groups. Consequently, there is a need for policy improvement to enhance pure technology efficiency for ports with Free Trade Zone and to improve scale efficiency for ports with non-Free Trade Zone. Furthermore, it was found that the average efficiency score in 2020 was higher than in 2019.

Keyword : Free Trade Zone, Port Efficiency, Meta-Frontier Analysis, Data Envelopment Analysis

Received October 5, 2022

Revised November 4, 2022

Accepted November 22, 2022

* All papers comply with the ethical code set by the National Research Foundation and the Asia-Pacific Journal of Business and Commerce.

1) First Author, chlwjddnjs73@knu.ac.kr

2) Second Author, kcs4194@pusan.ac.kr

3) Corresponding Author, y.seo@knu.ac.kr