

항만 재해자수를 고려한 국내 항만의 안전 효율성 분석*

심민섭** · 김율성*** · 김주혜****

A Study on the Safety Efficiency Analysis of the Ports in South Korea Considering Port Casualties

Sim Min-Seop · Kim Yul-Seong · Kim Joo-Hye

Abstract

The purpose of this study is to clarify a safety efficiency of ports in South Korea considering port casualties. The paper conducted a vector auto regression to analyze a cause-and-effect relationship between latent factors and port casualties. Subsequently, the paper evaluated safety efficiency for the ports using an undesirable outputs model. The results implied that the number of workers in the shipping union had a statistical effect on the port casualties. In contrast, the number of workers in the operators and working hours are unrelated to the port casualties. In addition, it was found that Yeosu Gwangyang Port is the most safety efficiency port in South Korea. Based on these results, this paper may provide various policy implications for port operators, developers, and managers.

Key words: Port casualties, Safety efficiency, Vector Auto Regression, Undesirable outputs model

▷ 논문접수: 2023. 11. 22. ▷ 심사완료: 2023. 12. 23. ▷ 게재확정: 2023. 12. 25.

* 본 논문은 한국해양수산개발원이 후원한 해양수산 미래 리스크 논문 공모전 수상작임을 밝힙니다.

** 국립한국해양대학교 해양콘텐츠융복합협동과정 물류시스템전공, 제1저자, tl6355@g.kmou.ac.kr

*** 국립한국해양대학교 물류시스템공학과 교수, 공동저자, logikys@kmou.ac.kr

**** 국립한국해양대학교 물류시스템학과 박사, 교신저자, joohye915@g.kmou.ac.kr

I. 서론

항만은 해상운송과 육상운송의 연결지점으로서 육상화물을 해상운송으로, 해상화물을 육상운송으로 연결시키는 공간이다. 항만에서 효율적인 물동량 처리에 따른 생산성 향상을 위하여 세계 주요 항만들은 다양한 항만시설 확장에 많은 노력을 기울이고 있다. 이에 따라 선석길이, 야드 면적, 수심, 하역장비 대수 등과 같이 항만의 제원을 바탕으로 국내의 항만의 효율성을 비교분석하는 연구가 주로 진행되어 왔다(박오경, 2016; Krljan et al., 2021; Jeh et al., 2022).

2010년대 들어서면서 항만의 중요한 키워드로서 환경(Environment)과 안전(Safety)이 언급되고 있다. 전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위한 탈탄소화의 중요성은 강조되고 있으며, IMO(International Maritime organization)는 온실가스 배출량을 2008년에 대비하여 2050년까지 50% 감축을 목표로 설정하였다. 한편, 2021년 1월 산업현장에서 사업주가 안전·보건 의무를 다하지 않아 인명사고가 발생하는 경우 사업주를 처벌하는 중대재해처벌법이 통과하였다(최정학, 2021). 이로 인해 항만에서 작업 시 근로자의 안전을 중요시하는 분위기와 공감대가 형성되었다. 국내 항만에서는 단순 재해사고부터 국가적 손실을 발생시키는 다양한 재해사고들이 끊임없이 발생하고 있다. 대표적으로 2020년 컨테이너 선박이 접안 중 안벽크레인과 충돌하였으며, 2021년 컨테이너에 깔려 근로자가 사망하는 사고가 발생하였다(이정민·김울성, 2023). 이와 같이 항만에서 예기치 못한 사고가 발생하면, 화물작업이 지연 및 중단되고 생산성 저하와 대외 무역신용도가 하락하는 결과로 이어지게 된다(김동진, 2016). 그리고 최근 국내외적으로 다양한 산업에서 ESG 전략에 대한 논의가 활발하게 진행됨에 따라 항만에서의 환경오염 문제, 안전한 작업환경 구현 등과 같은 문제는 더욱이 중요하게 인식되고 있다.

이에 항만의 제원을 바탕으로 효율성을 측정하는 방법에서 더 나아가 Undesirable Outputs 모형을 통해 유해산출물을 고려한 항만 효율성 분석이 활발하게 진행되고 있다. 기존 선행연구에서는 항만의 유해산출물로서 CO₂ 배출량, NO_x 배출량 등 환경적 요인을 주로 고려하여 분석이 진행되었다(Chang, 2013; Na et al., 2017; Lin et al., 2019). 그리고 체선이 항만의 효율성에 미치는 영향을 알아보고자 유해산출물로 체선선박척수를 선정한 연구가 진행되었다(이태휘, 2017). 하지만, 항만 재해지수를 고려하여 안전 효율성을 분석한 국내의 연구는 전무한 상황이다.

따라서 본 연구는 항만 재해지수를 고려한 국내 항만의 안전 효율성을 분석하고자 하였다. 먼저, 항만 재해지수에 영향을 미치는 변수를 알아보기 위하여 국내외 선행연구를 검토하였으나, 변수를 참고하기 위한 연구가 충분하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 한국항만물류협회의 항만하역요람과 항만하역재해통계 및 사례 보고서에서 사용된 주요 변수(근로자수, 하역업체 근로자수, 항운노조 근로자수, 근로시간)를 항만 재해지수에 영향을 미치는 잠재적 변수로 선정하였다. 그리고 선정된 잠재적 변수와 항만 재해지수 간의 인과성을 파악하고자 벡터자기회귀모형(Vector Auto regression Model, VAR) 분석을 진행하였다. 이후 Undesirable Outputs 모형을 활용한 국내 항만의 안전 효율성을 분석하여 항만의 운영과 관련된 다양한 시사점을 도출하였다. 분석에 사용된 기초데이터는 2003년부터 2021년까지 한국항만물류협회의 자료를 활용하였다.

II. 이론적 배경

1. 국내 항만하역업 재해통계(2021년)

1) 근속기간별 재해발생 현황

근속기간에 따른 재해발생 현황을 살펴보면, 10년 이상인 근로자 사고가 64명(50.0%)으로 가장 많이 발생하였다. 그 다음으로 5-10년 22명(17.2%), 3-5년 19명(14.8%), 1-3년 17명(13.3%), 1년 미만 6명(4.7%) 순으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 항만하역업에서 발생하는 사고는 직무 숙련도와 상관없이 발생할 수 있다는 사실을 알 수 있다. 특히, 방심 및 자만심으로 인한 안전의식 결여가 사고로 이어질 가능성이 높아 장기근속자에 대한 안전의식을 고취시킬 필요가 있다. 이와 관련하여 자세한 내용은 아래의 <표 1>과 같다.

표 1. 근속기간별 재해발생 현황

구분	횟수(명)	비율(%)
1년 미만	6	4.7
1-3년	17	13.3
3-5년	19	14.8
5-10년	22	17.2
10년 이상	64	50.0
합계	128	100.0

자료) 한국항만물류협회(2022년), 항만하역재해통계 및 사례

2) 작업시간대별 재해발생 현황

작업시간대에 따른 재해발생 현황을 살펴보면, 7-12시 사이의 재해가 56명(43.8%)으로 가장 많이 발생하였다. 그 다음으로 12-17시 45명(35.2%), 17-22시 15명(11.7%), 22-03시 9명(7.0%), 03-07시 3명(2.3%) 순으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 항만하역업에서 발생하는 사고는 오전에 주로 발생하며, 작업 전 안전관리 감독 강화가 요망된다는 사실을 알 수 있다.

표 2. 작업시간대별 재해발생 현황

구분	횟수(명)	비율(%)
7-12시	56	43.8
12-17시	45	35.2
17-22시	15	11.7
22-03시	9	7.0
03-07시	3	2.3
합계	128	100.0

자료) 한국항만물류협회(2022년), 항만하역재해통계 및 사례

3) 화물별 재해발생 현황

화물별 재해발생 현황을 살펴보면, 냉동물로 인한 사고가 21명(16.4%)으로 가장 많이 발생하였다. 그 다음으로 철재 20명(15.6%), 산물 17명(13.3%), 컨테이너 16명(12.5%), 잡화 9명(7.0%) 등의 순으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 냉동품 작업환경의 특수성과 중량 및 장척의 특성을 지닌 철재화물의 작업요령에 대한 중점적인 교육이 필요하다는 것을 알 수 있다.

표 3. 화물별 재해발생 현황

구분	횟수(명)	비율(%)
산물	17	13.3
철재	20	15.6
양곡	3	2.3
잡화	9	7.0
펄프	1	0.8
상자물	4	3.1
컨테이너	16	12.5
냉동물	21	16.4
기타	37	28.9
합계	128	100.0

자료) 한국항만물류협회(2022년), 항만하역재해통계 및 사례

4) 작업단계별 재해발생 현황

작업단계별 재해발생 현황을 살펴보면, 선내 사

고가 67명(52.3%)으로 가장 많이 발생하였다. 그 다음으로 선측 15명(11.7%), 상·하차와 야적이 각각 7명(5.5%), 직상차·직선적 4명(3.1%), 입·출고 3명(2.3%) 등의 순으로 나타났다.

표 4. 작업단계별 재해발생 현황

구분	횟수(명)	비율(%)
선내	67	52.3
선측	15	11.7
직상차·직선적	4	3.1
에·부선	-	0.0
상·하차	7	5.5
야적	7	5.5
입·출고	3	2.3
기타	25	19.5
합계	128	100.0

자료) 한국항만물류협회(2022년), 항만하역재해통계 및 사례

5) 재해정도별 재해발생 현황

재해정도별 재해발생 현황을 살펴보면, 통원 3주 이상이 44명(34.4%)으로 가장 많이 발생하였다. 그 다음으로 통원 3주내 30명(23.4%), 입원 3주 이상 29명(22.7%), 입원 3주내 21명(16.4%), 사망 4명(3.1%) 순으로 나타났다.

표 5. 재해정도별 재해발생 현황

구분	횟수(명)	비율(%)
통원 3주내	30	23.4
통원 3주이상	44	34.4
입원 3주내	21	16.4
입원 3주 이상	29	22.7
사망	4	3.1
합계	128	100.0

자료) 한국항만물류협회(2022년), 항만하역재해통계 및 사례

6) 기인물별 재해발생 현황

기인물에 따른 재해발생 현황을 살펴보면, 화물로 인한 사고가 24명(18.8%)으로 가장 많이 발생하

였다. 그 다음으로 적재물 11명(8.6%), 하역도구, 중장비, 작업환경 9명(7.0%), 본선설비, 하역장비, 차량 8명(6.3%) 등의 순으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 화물 및 하역장비로 인한 사고의 점유율이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 작업 전 화물의 특성에 맞는 교육을 실시하고 안전장구착용과 안전수칙을 철저히 준수하도록 하며, 하역장비 및 도구에 대한 철저한 사전 안전검사가 필요하다고 판단된다.

표 6. 기인물별 재해발생 현황

구분	횟수(명)	비율(%)
본선설비	8	6.3
하역장비	8	6.3
스링와이어	2	1.6
중장비	9	7.0
차량	8	6.3
구조물	2	1.6
작업대	2	1.6
하역도구	9	7.0
적재물	11	8.6
화물	24	18.8
복포	6	4.7
묶음철사	-	0.0
받침대	5	3.9
정비도구	1	0.8
작업환경	9	7.0
일기기후	1	0.8
기타	23	18.0
합계	128	100.0

자료) 한국항만물류협회(2022년), 항만하역재해통계 및 사례

2. 선행연구 고찰

1) 항만 안전관리 관련 선행연구

남도기 외 2인(2010)은 부산항 컨테이너터미널의 현장인력의 교대근무제 현황을 살펴본 뒤 문제점을

진단하고 해결방안을 제시하였다. 항만에서 교대근무는 작업의 효율성, 경제적 이익, 연속성 측면에서 장점이 있으나 근로자들은 자신의 신체 및 일상생활의 리듬과 근무 시간대가 맞지 않아 다양한 문제점이 발생한다고 설명하였다. 또한, 이에 대한 해결 방안으로서 교대인력의 복지 개선, 아웃소싱 인력 활용, 터미널 간 인력 교류 활성화, 탄력적 인력활용에 의한 유희인력 감소 등을 제시하였다.

원승환 외 2인(2017)은 세계적인 자동화 및 친환경 추세에 맞추어 오버헤드 서틀 컨테이너터미널과 관련된 안전사고를 대비하기 위한 운영전략을 다루었다. 기존 야드 하역장비의 안전사고를 통해 오버헤드 서틀 컨테이너터미널의 사고유형을 도출하였으며, 시스템 구성요소별 안전 요구사항, 안전사고 처리방안, 유지보수 요구사항 등을 안전사고 대비전략으로 제안하였다.

박성훈 외 2인(2019)은 부산항에 위치한 컨테이너터미널에서 발생한 사고데이터를 바탕으로 위험성 평가를 진행하였다. 이후 Bow-Tie 분석기법을 통해 사고방지 방안을 알아보았으며, 야드 트랙터의 충돌 사고가 주요 위험요인으로 나타났다. 또한, 작업자의 불안정한 행동(장비의 후진, 운전자 피로, 운전미숙)이 주요 사고원인으로 나타났다. 그리고 이에 대한 예방대책으로서 작업자들에게 적절한 휴게시간 제공 및 안전운전을 위한 기술적 장치 설치(졸음 감지 시스템, 전방 추돌 감지 시스템, 사각지대 경보 시스템), 노·시간 협력 등이 필요하다고 설명하였다. 동 연구는 항만하역업의 안전사고 연구의 필요성을 제시하고 Bow-Tie 분석기법을 통해 도출된 결과를 활용하여 컨테이너터미널 실무에 다양한 시사점을 제공한다는 점에서 의의가 있다.

심민섭 외 3인(2023)은 항만하역업 사고사례 1,039건을 토대로 위험성 평가를 진행하여 항만하역업의 주요 위험요인과 예방대책을 도출하였다. 그리고 IPA분석, Borich 요구도 분석, The Locus for Focus 분석을 통해 우선적으로 도입하여야 할 예방

대책을 선정하였다. 위험성 평가 결과 떨어짐·무너짐으로 인한 위험도 점수가 가장 높게 나타났다. 그리고 예방대책으로서 안전교육, 의사소통체계 확립, 장비의 주기적인 점검이 필요하다고 설명하였다.

2) 항만 효율성 관련 선행연구

나호수 외 2인(2008)은 국내 주요 항만인 부산항, 인천항, 광양항, 울산항, 포항항의 효율성을 비교하고자 DEA 분석을 진행하였다. 투입변수로는 안벽길이, 하역능력, 접안능력, CY면적을 사용하였으며, 산출변수로 외항화물과 내항화물의 물동량을 사용하였다. 분석결과, 부산항, 인천항, 울산항의 효율성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 항만에 대한 과도한 투자를 지양하고 적합한 항만의 규모에 대한 연구가 필요하다고 설명하였다.

박선율 외 2인(2017)은 아세안 지역 17개 항만의 효율성을 분석하고자 DEA 결합모형(CCR, 산출기준 BCC, 투입기준 BCC, SBM 모형)을 활용하였다. 투입변수로는 총면적, 선석 수, 선석길이, C/C대수를 사용하였으며, 산출변수로 컨테이너 처리량을 사용하였다. 분석결과, 싱가포르, 말레이시아 항만의 효율성이 가장 높게 나타났으며, 베트남의 효율성은 상대적으로 낮으나 항만개발이 필요한 것으로 나타났다. 또한, 경제발전이 미숙한 항만은 인프라 확장을 위주로 항만개발이 필요하다고 설명하였다. 동 연구는 DEA 결합모형을 사용하여 종합적으로 아세안 지역 항만의 효율성을 평가하였다는 점에서 의의가 있다.

류희영·안영균(2021)은 국내 항만을 대상으로 입지 및 관리형태에 따라 항만의 효율성에 미치는 영향을 파악하고자 DEA 분석을 진행하였다. 투입변수로는 선석 연장, 터미널 면적, 전면 수심, 크레인 수를 사용하였으며, 산출변수로 적컨테이너, 공컨테이너, 수출 톤수, 수입 톤수를 사용하였다. 분석결과, 서해안 입지 항만의 효율성이 더 높은 경향이 있으며, 국가관리항만이 항만공사나 지자체에서 관리하는 항만 보다 상대적으로 효율성이 더 높은 것으로

나타났다.

최정원 외 2인(2022)은 Meta-Frontier DEA 기법을 통해 자유무역지역 무역항 5곳과 일반 무역항 6곳의 효율성을 비교분석하였다. 투입변수로는 항만하역중사자 수, 야적장 넓이, 안벽길이를 사용하였으며, 산출변수로 항만물동량을 선정하였다. CCR모형 분석 결과, 베타효율성의 관점에서 자유무역지역 무역항의 평균 효율성이 일반 무역항보다 높게 나타났으며, BCC 모형에서는 일반 무역항의 평균 효율성이 높게 나타났다. 그리고 자유무역지역 무역항은 순수기술 효율성, 일반 무역항은 규모효율성을 높일 수 있도록 정책적 개선이 필요하다고 설명하였다.

3) 선행연구와의 차별점

기존 선행연구에서는 항만 안전관리 강화를 위한 다양한 연구가 진행되고 있지만, 항만의 안전 효율성을 측정하는 연구는 전무한 상황이다. 이에 본 연구에서는 항만 재해자수를 유해산출물로 선정하여 국내 항만의 안전 효율성을 분석하였다. 특히, 효율성 분석에 앞서 항만 재해자수에 영향을 미치는 변수를 VARM을 통해 통계적으로 알아보았다.

다. 그리고 공적분 검정을 통해 변수들 간의 장기적인 관계에 관한 정보 유실이 발생하는지 확인한다. 이후 VARM 분석을 진행하여 항만 재해자수에 영향을 주는 변수를 도출한다. 다음으로 VARM 분석을 통해 도출된 변수를 투입변수, 유익산출변수로 물동량, 유해산출변수로 항만 재해자수를 선정한다. 그리고 Undesirable Outputs-CCR, BCC 모형을 분석하여 국내 11개 항만의 안전 효율성 분석한다.

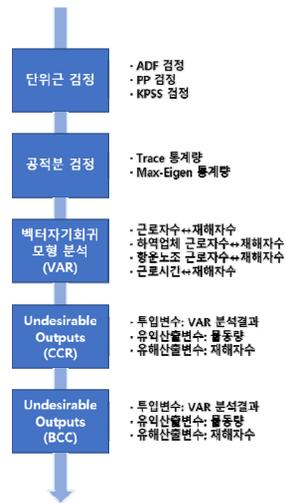


그림 1 연구흐름도

III. 연구설계

1. 연구흐름

기존 선행연구를 살펴본 결과, 항만 재해자수를 고려한 항만의 안전 효율성을 분석한 연구가 미비하다는 것을 알 수 있다. 따라서 잠재변수와 항만 재해자수 간의 인과성을 파악하고자 하였다. 먼저, 2003년부터 2021년까지 각 시계열의 안정성 여부를 확인하고자 단위근 검정으로서 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정, PP(Phillips-Perron) 검정, KPSS(Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin) 검정을 수행한

2. 분석방법

1) 벡터자기회귀모형

벡터자기회귀모형(VARM)은 Sims(1980)에 의해 확정된 일종의 시간을 반영한 다변량 자기회귀모형으로 서로 인과관계가 있는 변수들의 시계열 모형을 벡터형태로 결합한 모형이다(김아현·박노진, 2014). 즉, VARM은 시계열 자료집단에서 과거의 일정 시점까지의 수준이 각 시계열에 미치는 영향을 동태적으로 분석하는 방법이다(곡문적·김치열, 2023). 본 연구는 항만 재해자수에 영향을 주는 잠재적요인 간의 인과성을 분석하기 위하여 VARM을 활용하였다. VARM는 다음과 같은 수식 (1), (2)로

나타낼 수 있다. Casuality와 Factor는 각각 항만 재해자수와 잠재적 변수(근로자수, 하역업체 근로자수, 항운노조 근로자수, 근로시간)의 연간 데이터를 나타낸다. VARM의 분석을 진행하기에 앞서 과거 값들이 어떠한 수준에서 현재 값들에 영향을 미치는지 파악해야한다(고병욱, 2023). p는 VARM에서 과거 어느 시점까지 포함하는지를 나타내는데, AIC(Akaike Information Criterion) 또는 SIC(Schwarz Information Criterion)를 활용하여 수치가 가장 낮은 최적의 시차 개수를 결정한다. VARM의 실증분석은 통계패키지 프로그램인 EViews 12를 통하여 진행하였다.

$$Casualties = c_1 + \sum_{i=1}^p \alpha_{1i} Casualties_{t-i} + \sum_{j=1}^p \beta_{1j} Factor_{s_{t-j}} + \epsilon_1 \quad (1)$$

$$Factors = c_2 + \sum_{i=1}^p \alpha_{2i} Factor_{s_{t-i}} + \sum_{j=1}^p \beta_{2j} Casualties_{t-j} + \epsilon_2 \quad (2)$$

2) Undesirable Outputs 모형

Cooper et al.(2006)은 Tone(2001)이 제안한 SBM(Slack based measure) 모형에서 유해산출물을 고려할 수 있도록 Undesirable Outputs Model을 제안하였다(Wang et al., 2019). Undesirable Outputs Model은 전통적인 DEA 분석에서 다루는 투입변수 및 산출변수 외에 유해산출물(Undesirable Output)을 추가로 고려하여 효율성을 도출하는 방식이다(정길수 외 4인, 2020).

Undesirable Outputs Model의 계산식은 아래 수식 (3)과 같다(Cooper et al., 2007). y_o^g 와 y_o^b 에서 y 는 산출물, g 는 유익산출물, b 는 유해산출물, o 는 평가대상 DMU를 의미한다. X 는 $m \times n$ 투입물 행렬, Y^g 는 $s_1 \times n$ 유익산출물 행렬, Y^b 는 $s_2 \times n$ 유해산출물 행렬, λ 는 $n \times 1$ 가중치 벡터이다. s^- , s^g , s^b 는

각각 투입물 초과분, 유익산출물 부족분, 유해산출물 초과분이다. 효율성 척도인 ρ_k 는 0과 1사이의 값으로 투입물의 추가분 s^- 와 유익산출물의 부족분 s^g , 유해산출물 s^b 의 초과분이 모두 0으로 나타날 때 효율적인 상태 1이 된다.

Undesirable Outputs 모형의 실증분석은 통계패키지 프로그램인 DEA-SOLVER-Professional version 13.1을 통하여 진행하였다.

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{ro}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{ro}^b} \right)} \quad (3)$$

$$s.t.$$

$$x_o = X\lambda + s^-$$

$$y_o^g = Y^g\lambda - s^g$$

$$y_o^b = Y^b\lambda + s^b$$

$$s^-, s^g, s^b, \lambda \geq 0$$

IV. 실증분석

1. 벡터자기회귀모형 분석

1) 분석개요

본 연구에서는 항만하역재해통계 및 사례 보고서를 참고하여 근로자수, 하역업체 근로자수, 항운노조 근로자수, 근로시간을 잠재적 요인으로 선정하였다. 근로자수, 하역업체 근로자수, 항운노조 근로자수 기초데이터는 한국항만물류협회의 항만하역요람(2003~2021년)을 참고하였다. 근로자수의 기술통계는 평균 20,021명, 중간값 19,349명, 최대값 23,875명, 최소값 17,660명, 표준편차 2,048명과 같다. 하역업체 근로자수의 기술통계는 평균 12,994명, 중간값 13,067명, 최대값 14,978명, 최소값 11,550명, 표

준편차 1,027명과 같다. 항운노조 근로자수의 기술 통계는 평균 7,026명, 중간값 6,111명, 최대값 10,848명, 최소값 5,565명, 표준편차 1,833명과 같다. 근로시간과 항만 재해자수 기초데이터는 한국항만물류협회의 항만재해자수 통계 및 사례 보고서(2003~2021년)를 참고하였다. 근로시간의 기술통계

는 평균 약 46,955,107시간, 중간값 약 40,773,810시간, 최대값 약 62,556,054시간, 최소값 약 36,363,636시간, 표준편차 약 9,700,380시간과 같다. 마지막으로 항만 재해자수의 기술통계는 평균 179명, 중간값 137명, 최대값 361명, 최소값 80명, 표준편차 86명과 같다.

표 7. 벡터자기회귀모형 분석데이터 및 기술통계(2003년~2021년)

년도	근로자수 (명)	하역업체 근로자수(명)	항운노조 근로자수(명)	근로시간 (시간)	항만 재해자수 (명)
2003	22,527	11,679	10,848	58,986,928	361
2004	23,063	12,260	10,803	60,365,854	297
2005	23,824	13,213	10,611	62,420,382	294
2006	23,875	14,640	9,235	62,556,054	279
2007	22,014	14,978	7,036	57,562,077	255
2008	20,783	14,035	6,748	54,417,671	271
2009	19,349	13,067	6,282	50,712,251	178
2010	18,513	12,421	6,092	48,800,000	183
2011	18,773	12,662	6,111	48,924,731	182
2012	18,684	12,573	6,111	38,871,473	124
2013	17,660	11,550	6,110	40,773,810	137
2014	17,714	11,638	6,076	38,235,294	130
2015	17,914	11,812	6,102	36,821,705	95
2016	18,347	12,117	6,230	38,277,512	80
2017	19,681	13,582	6,099	37,596,899	97
2018	19,630	13,641	5,989	39,442,231	99
2019	19,697	13,881	5,816	40,740,741	99
2020	19,317	13,678	5,639	40,277,778	116
2021	19,029	13,464	5,565	36,363,636	128
평균	20,021	12,994	7,026	46,955,107	179
중간값	19,349	13,067	6,111	40,773,810	137
최대값	23,875	14,978	10,848	62,556,054	361
최소값	17,660	11,550	5,565	36,363,636	80
표준편차	2,048	1,027	1,833	9,700,380	86

2) 단위근 검정 결과

VAR 분석 및 인과관계 분석을 진행하기에 앞서, 2003년부터 2021년까지 각 시계열의 안정성 여부를 확인하기 위하여 단위근 검정을 수행하였다. 단위근에 대한 분석은 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정, PP(Phillips-Perron) 검정, KPSS(Kwiatkowski-

Philips-Schmidt-Shin) 검정을 활용하였다.

ADF 검정의 귀무가설은 '시계열에 단위근이 존재한다'이며, 시계열의 원단위에 대한 단위근 검정 결과 근로자수, 항운노조 근로자수, 근로시간, 항만 재해자수 시계열이 귀무가설을 채택하였다. PP 검정의 귀무가설은 '시계열에 단위근이 존재한다'이며,

시계열의 원단위에 대한 단위근 검정결과 근로자수, 하역업체 근로자수, 항운노조 근로자수, 근로시간 시계열이 귀무가설을 채택하였다. KPSS 검정의 귀무가설은 '시계열이 안정적이다'이며, 시계열의 원단위에 대한 단위근 검정결과 하역업체 근로자수 시계열만 귀무가설을 채택한다는 결과를 도출하였다.

시계열 자료의 안정성을 확보하기 위하여 각 시계열을 로그변환하여 ADF 검정, PP검정, KPSS 검정을 재수행한 결과 ADF 검정에서는 하역업체 근로자수 시계열을 제외한 모든 시계열이 귀무가설을 채택하였다. PP검정에서는 모든 시계열이 귀무가설

을 채택하였다, KPSS 검정에서는 하역업체 근로자수 시계열만 귀무가설을 채택한다는 결과를 도출하였다.

다음으로 시계열 자료의 안정성을 확보하기 위하여 각 시계열을 1차 차분하여 ADF 검정, PP검정, KPSS 검정을 재수행하였다. ADF 검정과 PP 검정결과 근로자수, 하역업체 근로자수, 항운노조 근로자수 시계열이 귀무가설을 채택하였다. KPSS 검정에서는 모든 시계열이 귀무가설을 채택하여 안정적인 형태로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 각 시계열을 1차 로그 차분한 값을 VARM 분석에 활용하였다.

표 8. 단위근 검정 결과

변수	원단위			로그변환			1차 로그 차분		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
근로자수	-2.131	-1.307	0.366 ^c	-2.084	-1.322	0.360 ^c	-2.415	-2.415	0.156
하역업체 근로자수	-2.869 ^c	-2.085	0.095	-2.791 ^c	-2.089	0.096	-2.468	-2.429	0.119
항운노조 근로자수	-2.424	-2.282	0.451 ^c	-2.226	-2.112	0.446 ^c	-2.145	-2.493	0.262
근로시간	-0.800	-0.800	0.510 ^b	-0.761	-0.761	0.514 ^b	-4.466 ^a	-4.471 ^a	0.101
항만 재해자수	-2.439	-3.316 ^b	0.530 ^b	-1.752	-1.830	0.519 ^b	-4.485 ^a	-4.524 ^a	0.308

주) 위첨자 a, b, c는 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 통계적으로 유의적임을 나타냄

3) 공적분 검정 결과

공적분 관계에 있음에도 불구하고 차분시계열을 이용하여 분석을 진행된다면, 과잉 차분되어 변수들 간의 장기적인 관계에 관한 정보 유실이 발생할 수 있다(허익구 · 김경수, 2006). 시계열 데이터가 공적분 관계에 있을 경우 벡터오차수정모형(VECM, Vector Error Correction Model), 공적분 관계에 없을 경우 VARM을 사용하게 된다. 본 연구에서는 공적분 여부를 판별하고자 요한슨(Johansen) 공적분 검정을 통해 Trace 및 Maximum-EigenValue 통계량을 확인하였다.

요한슨 공적분 검정 Trace 통계량 분석결과, 근로자수↔항만 재해자수, 항운노조 근로자수↔항만 재해자수 간 공적분이 발생하는 것으로 나타났다. 이와 반대로 Maximum-EigenValue 통계량에서는 4가지 변수 모두 공적분이 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 Maximum-EigenValue 통계량에 따라 변수들 간 공적분이 없는 것으로 간주하여 VARM 분석을 진행하였다. 요한슨 공적분 검정 Trace 및 Maximum-EigenValue 통계량의 결과는 <표 9>, <표 10>과 같다.

표 9. 요한슨 공적분 검정 Trace 통계량 분석결과

변수	Null Hypothesis	Trace Statistic	0.01 유의수준	유의확률
근로자수 ↔	None*	22,62411	19,93711	0,0036
항만 재해자수	At most1	4,572481	6,634897	0,0325
하역업체 근로자수 ↔	None	19,62636	19,93711	0,0112
항만 재해자수	At most1	4,044204	6,634897	0,0443
항운노조 근로자수 ↔	None*	28,02215	19,93711	0,0004
항만 재해자수	At most1*	11,42284	6,634897	0,0007
근로시간 ↔	None	15,66972	19,93711	0,0471
항만 재해자수	At most1	3,098908	6,634897	0,0783

표 10. 요한슨 공적분 검정 Maximum-EigenValue 통계량 분석결과

변수	Null Hypothesis	Max-Eigen Statistic	0.01 유의수준	유의확률
근로자수 ↔	None	18,05163	18,52001	0,0120
항만 재해자수	At most1	4,572481	6,634897	0,0325
하역업체 근로자수 ↔	None	15,58215	18,52001	0,0308
항만 재해자수	At most1	4,044204	6,634897	0,0443
항운노조 근로자수 ↔	None	16,59932	18,52001	0,0210
항만 재해자수	At most1*	11,42284	6,634897	0,0007
근로시간 ↔	None	12,57081	18,52001	0,0910
항만 재해자수	At most1	3,098908	6,634897	0,0783

4) 벡터자기회귀모형 분석결과

각 시계열의 과거 어느 시점까지 VAR에 포함할 것인지에 대하여 최근 5시점까지의 AIC 결과값을 기준으로 설정하였다. <표 11>은 AIC 결과값을 제시하고 있는데, 각 VAR마다 다른 시점을 모형에 포함할 것을 의미하고 있다. 근로자수에 대해서는 항만 재해자수 최적 시차 개수가 5로 나타났다. 하역업체 근로자수에 대해서는 항만 재해자수 최적 시차 개수가 1로 나타났다. 항운노조 근로자수에 대해서는 항만 재해자수 최적 시차 개수가 5로 나

타났다. 근로시간에 대해서는 항만 재해자수의 최적 시차 개수는 1로 나타났다.

표 11. 정보기준 분석결과

구분		시차1	시차2	시차3	시차4	시차5
근로자수	항만 재해자수	-3.936	-4.132	-3.691	-3.778	-4.989
하역업체 근로자수	항만 재해자수	-3.221	-3.137	-2.934	-2.471	-3.034
항운노조 근로자수	항만 재해자수	-2.754	-2.536	-2.682	-7.296	-12.299
근로시간	항만 재해자수	-2.851	-2.531	-2.292	-2.484	-2.069

주) 각 시계열 별 정보기준의 최소값은 굵은 글씨로 표시함

근로자수에 대한 항만 재해자수의 VARM 분석결과는 <표 12>와 같다. 근로자수와 항만 재해자수는 시차 2, 시차 3에서 양(+)의 영향을 받으며 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 반면, 근로자수와 항만 재해자수는 시차 4에서 음(-)의 영향이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 근로자수와 항만 재해자수는 인과관계가 있다는 것을 알 수 있다.

표 12. 근로자수와 항만 재해자수의 벡터자기회귀모형 분석결과

구분	근로자수	재해자수
근로자수(-1)	0.529 [0.876]	-1.013 [-0.795]
근로자수(-2)	0.231 [0.445]	3.810^a [3.474]
근로자수(-3)	-0.206 [-0.262]	4.221^b [2.539]
근로자수(-4)	-0.151 [-0.182]	-4.039^b [-2.295]
근로자수(-5)	0.523 [0.790]	0.837 [0.599]
재해자수(-1)	-0.009 [-0.064]	-0.517 [-1.756]
재해자수(-2)	-0.088 [-0.514]	0.218 [0.606]
재해자수(-3)	-0.114 [-0.623]	1.055 [2.730]
재해자수(-4)	-0.022 [-0.109]	1.534 [3.638]
재해자수(-5)	-0.124 [-0.582]	1.362 [3.032]

주) 위첨자 a, b, c는 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 통계적으로 유의적임을 나타냄

하역업체 근로자수에 대한 항만 재해자수의 VAR M 분석결과는 <표 13>과 같다. 하역업체 근로자수와 항만 재해자수는 양(+)의 영향을 받으나, 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

표 13. 하역업체 근로자수와 항만 재해자수의 벡터자기회귀모형 분석결과

구분	하역업체 근로자수	재해자수
하역업체 근로자수(-1)	0.428 [1.787]	0.485 [0.585]
재해자수(-1)	0.014 [0.181]	-0.173 [-0.651]

주) 위첨자 a, b, c는 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 통계적으로 유의적임을 나타냄

항운노조 근로자수에 대한 항만 재해자수의 VARM 분석결과는 <표 14>와 같다. 항운노조 근로자수와 항만 재해자수는 시차 2, 시차 5에서 양(+)의 영향을 받으며 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 반면, 항운노조 근로자수와 항만 재해자수는 시차 4에서 음(-)의 영향이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 항운노조 근로자수와 항만 재해자수는 시기에 따라 양(+) 또는 음(-)의 인과관계가 있다는 것을 알 수 있다.

앞서 시계열들의 VARM 분석결과를 종합하면 다음과 같다. 근로자수와 항운노조 근로자수 시계열은

항만 재해자수와 통계적으로 유의한 영향이 있는 반면, 하역업체 근로자수는 영향이 없는 것으로 나타났다. 하지만, 항만 재해자수는 하역업체와 항운노조 근로자수를 모두 포함한 전체 근로자 가운데 발생한 재해자이다. 따라서 근로자수는 일반적으로 항만 재해자수에 유의한 영향을 미친다고 해석하는 것이 바람직하다고 판단된다.

표 14. 항운노조 근로자수와 항만 재해자수의 벡터자기회귀모형 분석결과

구분	항운노조 근로자수	재해자수
항운노조 근로자수(-1)	-2.021 [-0.854]	30.158 [1.298]
항운노조 근로자수(-2)	-0.021 [-0.118]	4.015^b [2.278]
항운노조 근로자수(-3)	0.806 [1.089]	-9.701 [-1.336]
항운노조 근로자수(-4)	0.287 [0.878]	-5.017^c [-1.563]
항운노조 근로자수(-5)	-0.390 [-1.347]	4.797^c [1.689]
재해자수(-1)	-0.258 [-1.085]	3.204 [1.370]
재해자수(-2)	-0.099 [-0.905]	1.391 [1.299]
재해자수(-3)	0.016 [0.214]	0.906 [1.202]
재해자수(-4)	0.120^c [1.420]	-0.949 [-1.144]
재해자수(-5)	0.083 [1.291]	-0.300 [-0.477]

주) 위첨자 a, b, c는 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 통계적으로 유의적임을 나타냄

근로시간에 대한 항만 재해자수의 VARM 분석결과는 <표 15>와 같다. 근로시간과 항만 재해자수는 양(+의 영향을 받으나, 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

표 15. 근로시간과 항만 재해자수의 벡터자기회귀모형 분석결과

구분	근로시간	재해자수
근로시간(-1)	-0.024 [-0.078]	0.394 [0.499]
재해자수(-1)	-0.106 [-0.900]	-0.229 [-0.749]

주) 위첨자 a, b, c는 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 통계적으로 유의적임을 나타냄

2. Undesirable Outputs 모형 분석

1) 분석개요

본 연구에서는 항만 재해자수를 고려한 국내 항만의 안전 효율성을 분석하고자 Undesirable Outputs 모형 분석을 진행하였다.

따라서 변수의 적정성 및 신뢰성을 확보하기 위하여 선행연구를 통해 살펴본 투입변수 중 다음 원칙에 부합하도록 변수를 선정하였다. 첫째, DEA 분석시 DMU는 투입변수 및 산출변수 합이 2배 이상이 되어야 신뢰성이 있다고 판단한다(Golany and Roll (1989); Homburg(2001); Dyson et al. (2001)). 따라서 DMU를 고려한 적절한 변수 개수를 선정하였다. 둘째, DEA는 DMU를 대상으로 변수를 선정하여 분석한 뒤 상대적으로 비효율적인 변수를 파악하고 산출을 극대화하는 것이 목적이므로 개선이 가능한 변수를 선정할 필요가 있다. 셋째, 변수는 DMU와 직접 연관이 있어야 하며 주관적 판단은 배제되어야 한다. 따라서 선행연구와 VARM 분석결과를 바탕으로 변수를 선정하여 객관성을 확보하였다.

표 16. Undesirable Outputs 모형 분석데이터(2019년~2021년)

항만	2019			2020			2021		
	투입변수	산출변수		투입변수	산출변수		투입변수	산출변수	
		유익산출물	유해산출물		유익산출물	유해산출물		유익산출물	유해산출물
근로자수 (명)	물동량 (천R/T)	재해자수 (명)	근로자수 (명)	물동량 (천R/T)	재해자수 (명)	근로자수 (명)	물동량 (천R/T)	재해자수 (명)	
부산항	7,101	468,995	17	7,012	411,197	18	6,719	442,801	34
인천항	2,576	157,737	8	2,487	152,228	13	2,412	158,291	4
울산항	1,260	202,383	11	1,207	187,941	15	1,220	184,766	21
여수·광양항	1,706	314,482	2	1,648	277,837	3	1,660	297,474	7
포항항	1,471	60,879	6	1,410	58,457	7	1,390	59,723	8
평택·당진항	1,409	113,201	5	1,415	106,847	5	1,448	116,876	7
마산항	1,162	25,985	6	1,319	24,746	9	1,384	30,234	6
군산·대산항	894	111,738	14	861	102,769	18	810	109,350	12
목포항	687	28,060	12	669	26,616	14	665	27,480	15
동해항	729	34,511	13	700	31,014	7	709	31,678	8
제주항	601	16,194	5	575	16,017	7	612	17,865	6

앞서 3가지 원칙에 부합하는 변수를 <표 16>과 같이 선정하였다. 투입변수는 VARM 분석에서 항만 재해자수에 영향을 미치는 근로자수로 선정하였다. 산출변수는 물동량과 항만 재해자수로 선정하였다. 기존 선행연구를 살펴보면, 항만의 수행실적을 평가하는 대표적인 지표로서 물동량을 사용하고 있다. 본 연구에서는 안전 효율성을 알아보기 위하여 항만 재해자수를 유해산출물로 선정하여 다양한 시사점을 도출하고자 하였다.

본 연구에서는 부산항, 인천항, 울산항 등 국내 11개 항만을 DMU(Decision Making Units)로 선정하였다. 그리고 앞서 선정된 근로자수 기초데이터는 한국항만물류협회의 항만하역요람(2020~2022년)을 참고하였다. 물동량 기초데이터는 해양수산부의 해운항만운영정보시스템 자료를 참고하였다. 항만 재해자수 기초데이터는 한국항만물류협회의 항만하역재해통계 및 사례 보고서(2020~2022년)를 참고하였다.

2) CCR 분석결과

항만재해인력을 고려한 국내 항만의 효율성을 분석하고자 Undesirable Outputs 모형을 이용하여 분석을 진행하였다. 규모수익불변(Constant Returns to Scale, CRS)을 가정하고 있는 Undesirable Outputs 모형의 CCR 분석과 규모수익가변(Variable Returns to Scale, VRS)을 가정하고 있는 Undesirable Outputs 모형의 BCC 분석을 동시에 진행하여 보다 객관적인 결과를 도출하고자 하였다. 투입변수는 근로자수를 사용하였으며, 유익산출물은 물동량, 유해산출물은 항만 재해자수로 선정하였다.

Undesirable Outputs 모형의 CCR 분석결과 전체 평균 효율성은 2019년 0.319, 2020년 0.332, 2021년 0.347로 나타났다. 2019년 가장 효율적으로 분석된 항만은 여수·광양항(1.000)으로 나타났으며, 그 다음으로 울산항(0.604), 군산·대산항(0.460), 평택·당진항(0.305) 등의 순으로 나타났다.

2020년 가장 효율적으로 분석된 항만은 여수·광양항(1.000)으로 나타났으며, 그 다음으로 울산항

(0.645), 군산·대산항(0.482), 평택·당진항(0.323) 등의 순으로 나타났다.

2021년 가장 효율적으로 분석된 항만은 여수·

광양항(1.000)으로 나타났으며, 그 다음으로 울산항

(0.605), 군산·대산항(0.541), 인천항(0.354) 등의

순으로 나타났다.

표 17. Undesirable Outputs 모형 CCR 분석결과(2019년~2021년)

연도	항만	CCR			
		점수	투입변수	여분	
				유익산출물	유해산출물
2019	부산항	0.254	4,556.8	0.0	14.0
	인천항	0.231	1,720.3	0.0	7.0
	울산항	0.604	162.1	0.0	9.7
	여수·광양항	1.000	0.0	0.0	0.0
	포항항	0.153	1,140.7	0.0	5.6
	평택·당진항	0.305	794.9	0.0	4.3
	마산항	0.082	1,021.0	0.0	5.8
	군산·대산항	0.460	287.8	0.0	13.3
	목포항	0.148	534.8	0.0	11.8
	동해항	0.172	541.8	0.0	12.8
제주항	0.098	513.2	0.0	4.9	
	평균	0.319	-	-	-
2020	부산항	0.253	4,573	0.0	13.6
	인천항	0.253	1,584	0.0	11.4
	울산항	0.645	92	0.0	13.0
	여수·광양항	1.000	0	0.0	0.0
	포항항	0.169	1,063	0.0	6.4
	평택·당진항	0.323	781	0.0	3.8
	마산항	0.075	1,172	0.0	8.7
	군산·대산항	0.482	251	0.0	16.9
	목포항	0.158	511	0.0	13.7
	동해항	0.178	516	0.0	6.7
제주항	0.111	480	0.0	6.8	
	평균	0.332	-	-	-
2021	부산항	0.273	4,248	0.0	23.6
	인천항	0.354	1,529	0.0	0.3
	울산항	0.605	189	0.0	16.7
	여수·광양항	1.000	0	0.0	0.0
	포항항	0.170	1,057	0.0	6.6
	평택·당진항	0.346	796	0.0	4.2
	마산항	0.085	1,215	0.0	5.3
	군산·대산항	0.541	200	0.0	9.4
	목포항	0.156	512	0.0	14.4
	동해항	0.172	532	0.0	7.3
제주항	0.111	512	0.0	5.6	
	평균	0.347	-	-	-

여수·광양항은 3개년(2019년~2021년) 모두 1.00의 높은 효율성을 기록하였다. 이는 11가지 항만 중 여수·광양항이 가장 안전 효율성이 높다는 것을 의미한다.

3개년 모두 평균보다 효율성이 높은 항만은 울산항과 군산·대산항으로 나타났다. 울산항은 2019년 0.604, 2020년 0.645, 2021년 0.605의 효율성을 기록하였으며, 3개년 모두 평균 보다 높은 효율성을 보이고 있다.

군산·대산항은 2019년 0.460, 2020년 0.482, 2021년 0.541의 효율성을 기록하였으며, 3개년 모두 평균 보다 높은 효율성을 보이고 있다.

인천항은 2019년 0.231, 2020년 0.253, 2021년 0.354의 효율성을 기록하였으며, 효율성이 점차 향상되는 것으로 나타났다.

3개년 모두 평균보다 효율성이 낮은 항만은 부산항, 포항항, 평택·당진항, 마산항, 목포항, 동해항, 제주항으로 나타났다.

부산항은 2019년 0.254, 2020년 0.253, 2021년 0.273의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 낮은 효율성을 보이고 있다.

포항항은 2019년 0.153, 2020년 0.169, 2021년 0.170의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 낮은 효율성을 보이고 있다.

평택·당진항은 2019년 0.305, 2020년 0.323, 2021년 0.346의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 수준의 효율성을 보이고 있다.

마산항은 2019년 0.082, 2020년 0.075, 2021년 0.085의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 낮은 효율성을 보이고 있다.

목포항은 2019년 0.148, 2020년 0.158, 2021년 0.156의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 낮은 효율성을 보이고 있다.

동해항은 2019년 0.172, 2020년 0.178, 2021년 0.172의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 낮은 효율성을 보이고 있다.

제주항은 2019년 0.098, 2020년 0.111, 2021년 0.111의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 낮은 효율성을 보이고 있다.

CCR 분석은 규모수익불변을 가정하고 있기 때문에 순수기술효율성(PTE)과 규모효율성(SE)을 포함하고 있다. 따라서 규모로 인한 비효율을 제거하고 순수기술적 효율성을 알아보기 위하여 추가로 BCC 분석을 진행하였다.

3) BCC 분석결과

Undesirable Outputs 모형의 BCC 분석결과 전체 평균 효율성은 2019년 0.701, 2020년 0.727, 2021년 0.773으로 나타났다. 2019년 가장 효율적으로 분석된 항만은 부산항(1.000), 여수·광양항(1.000), 군산·대산항(1.000), 제주항(1.000)으로 나타났으며, 그 다음으로 울산항(0.885), 목포항(0.665), 동해항(0.643) 등의 순으로 나타났다.

2020년 가장 효율적으로 분석된 항만은 부산항(1.000), 울산항(1.000), 여수·광양항(1.000), 군산·대산항(1.000), 제주항(1.000)으로 나타났으며, 그 다음으로 동해항(0.779), 목포항(0.669), 평택·당진항(0.607) 등의 순으로 나타났다.

2021년 가장 효율적으로 분석된 항만은 가장 효율적으로 분석된 항만은 부산항(1.000), 인천항(1.000), 여수·광양항(1.000), 군산·대산항(1.000), 제주항(1.000)으로 나타났으며, 그 다음으로 울산항(0.747), 동해항(0.719), 목포항(0.659) 등의 순으로 나타났다.

부산항, 여수·광양항, 군산·대산항, 제주항은 3개년(2019년~2021년) 모두 1.000의 높은 효율성을 기록하였다. 이는 11가지 항만 중 부산항, 여수·광양항, 군산·대산항, 제주항이 가장 안전 효율성이 높다는 것을 의미한다.

울산항은 2019년 0.885, 2020년 1.000, 2021년 0.747의 효율성을 기록하였으며, 2019년부터 2020년까지 안전 효율성은 평균보다 높았지만, 2021년

안전 효율성은 평균보다 낮은 것으로 나타났다. 년까지 안전 효율성은 평균보다 낮았지만, 2021년
 인천항은 2019년 0.342, 2020년 0.348, 2021년 에 안전 효율성이 매우 향상된 것으로 나타났다.
 1.000의 효율성을 기록하였으며, 2019년부터 2020

표 18. Undesirable Outputs 모형 BCC 분석결과(2019년~2021년)

연도	항만	BCC			
		점수	투입변수	여분	
				산출변수	
			유익산출물	유해산출물	
2019	부산항	1.000	0	0.0	0.0
	인천항	0.342	1,451	0.0	4.4
	울산항	0.885	0	0.0	2.9
	여수·광양항	1.000	0	0.0	0.0
	포항항	0.352	0	190,167.3	3.4
	평택·당진항	0.570	0	121,108.3	2.2
	마산항	0.254	0	141,648.9	2.5
	군산·대산항	1.000	0	0.0	0.0
	목포항	0.665	0	11,350.6	7.2
	동해항	0.643	0	16,237.3	8.3
제주항	1.000	0	1.5	0.0	
평균	0.701	-	-	-	
2020	부산항	1.000	0.0	0.0	0.0
	인천항	0.348	1,353.8	0.0	8.1
	울산항	1.000	0.0	0.0	0.0
	여수·광양항	1.000	0.0	0.0	0.0
	포항항	0.384	0.0	161,307.1	3.1
	평택·당진항	0.607	0.0	114,137.1	1.1
	마산항	0.210	0.0	172,813.3	4.8
	군산·대산항	1.000	0.0	0.0	0.0
	목포항	0.669	0.0	12,339.0	7.4
	동해항	0.779	0.0	15,504.8	0.5
제주항	1.000	0.0	1.2	0.0	
평균	0.727	-	-	-	
2021	부산항	1.000	0.0	0.0	0.0
	인천항	1.000	0.0	0.0	0.0
	울산항	0.747	69.3	0.0	11.0
	여수·광양항	1.000	0.0	0.0	0.0
	포항항	0.406	0.0	165,715.8	1.3
	평택·당진항	0.647	0.0	124,037.0	0.2
	마산항	0.324	0.0	126,272.9	0.0
	군산·대산항	1.000	0.0	0.0	0.0
	목포항	0.659	0.0	14,876.0	7.4
	동해항	0.719	0.0	24,758.5	0.0
제주항	1.000	0.0	1.8	0.0	
평균	0.773	-	-	-	

3개년 모두 평균보다 효율성이 낮은 항만은 포항항, 평택·당진항, 마산항, 목포항, 동해항으로 나타났다.

포항항은 2019년 0.352, 2020년 0.384, 2021년 0.406의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 안전 효율성이 낮은 것으로 나타났다.

평택·당진항은 2019년 0.570, 2020년 0.607, 2021년 0.647의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 안전 효율성이 낮은 것으로 나타났다.

마산항은 2019년 0.254, 2020년 0.210, 2021년 0.324의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 안전 효율성이 낮은 것으로 나타났다.

목포항은 2019년 0.665, 2020년 0.669, 2021년 0.659의 효율성을 기록하였으며, 모두 평균 보다 안전 효율성이 낮은 것으로 나타났다.

동해항은 2019년 0.643, 2020년 0.779, 2021년 0.719의 효율성을 기록하였으며, 2019년과 2021년에는 평균 보다 낮은 효율성을 보인 반면, 2020년에는 효율성이 평균보다 높은 것으로 나타났다.

Undesirable Outputs 모형의 CCR 분석 및 BCC 분석결과를 종합하면, 가장 효율적인 항만은 여수·광양항으로 나타났다. 여수·광양항은 3개년 모두 CCR, BCC 분석에서 가장 높은 효율성을 보이고 있다. 그리고 부산항, 군산·대산항, 제주항은 CCR 분석에서 효율성이 낮게 나왔지만, BCC 분석에서 가장 효율적인 항만으로 나타났다. 즉, 해당 항만들은 기술효율성(TE)이 낮더라도 규모로 인한 비효율을 제거한 순수기술효율성(PTE)은 높다는 것을 알 수 있다. 이는 해당 항만들은 비효율성의 원인이 생산 규모 측면에 있다는 것을 의미한다.

V. 결론

1. 연구결과의 요약 및 결론

항만 관리자는 중대재해처벌법 시행과 ESG경영전략수립을 통해 근로자의 재해를 방지하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 하지만, 단순재해사고부터 국가적 손실을 일으키는 다양한 재해사고들이 국내 항만에서 지속적으로 발생하고 있다. 그럼에도 불구하고 항만 재해자수를 고려하여 항만의 안전 효율성을 분석한 연구는 전무한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 항만 재해자수를 고려한 국내 항만의 안전 효율성을 분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, VARM 분석결과 근로자수와 항운노조 근로자수가 항만 재해자수에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 반대로, 하역업체 근로자수와 근로시간은 항만 재해자수에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

둘째, 2019년부터 2021년까지 Undesirable Outputs 모형 CCR 분석결과 안전 효율성이 가장 높은 항만은 여수·광양항으로 나타났다. 그리고 2019년부터 2021년까지 Undesirable Outputs 모형 BCC 분석결과 안전 효율성이 가장 높은 항만은 부산항, 여수·광양항, 군산·대산항, 제주항으로 나타났다. 이를 통해 안전 효율성이 가장 높은 항만은 여수·광양항인 것을 알 수 있다.

분석결과에 대한 시사점으로 첫째, ‘항만인력공급체제의 개편을 위한 지원특별법’이 제정되면서 항만의 안전성이 향상된 것으로 판단된다. VARM 분석결과 하역업체 근로자수는 항만 재해자수에 통계적으로 영향을 주지 않는 반면, 항운노조 근로자수는 항만 재해자수에 영향을 주는 것으로 나타났다. 2005년 ‘항만인력공급체제의 개편을 위한 지원특별법’이 제정되면서 항만인력공급체제에 변화가 발생하였다. 정부는 기존의 클로즈드 슈프 조항에 따른 독점적인

노무공급권을 폐지하고 부산, 평택, 인천을 중심으로 하역업체가 근로자를 뽑는 상용화 체제로 전환하였다. 이에 따라 2005년 이후 하역업체 근로자수는 증가한 반면, 항운노조 근로자수는 감소하였다. 항만 인력운영의 상용화 체제가 확산되면서 인력운영의 유연성과 전문성을 갖추게 되었으며, 이는 항만 재해자수의 감소로 이어지는 결과를 가져온 것으로 판단된다.

둘째, Undesirable Outputs 모형 BCC 분석결과 항만공사(PA: Port Authority)에 의해 관리되는 항만의 안전 효율성이 비교적 높은 것으로 나타났다. 항만공사는 항만관리 운영을 책임지는 법률상의 지위를 갖는 기구이며 항만 경영을 위해 공공성과 경제성을 겸한 자치적 공공기업체라고 정의할 수 있다(강원덕·김형일·안승범, 2005). 현재 우리나라에서는 부산항만공사(BPA), 인천항만공사(IPA), 울산항만공사(UPA), 여수광양항만공사(YGPA)가 설립되어 운영 중에 있다. 2019년부터 2021년까지 부산항과 여수·광양항의 효율성은 1.000으로 가장 높게 나타났다. 그리고 울산항의 안전 효율성은 2019년부터 2020년까지 평균보다 높은 수준으로 분석되었다. 인천항은 2019년부터 2020년까지 안전 효율성은 평균보다 낮았지만, 2021년에 항만 재해자수가 크게 줄어들어 안전 효율성이 매우 향상된 것으로 나타났다. 특히 인천항의 ESG 경영전략을 살펴보면, 인천항의 재난 특성을 분석하여 위험요인을 파악하고 안전을 우선으로 하는 재난안전관리 추진체계를 강화하고 있다(김규봉 외 2인, 2023). 이러한 항만공사의 노력으로 인하여 항만공사에 의해 관리되는 항만의 안전 효율성이 비교적 높은 것으로 판단된다.

셋째, 국내 항만의 노동생산성(물동량/근로자수)을 살펴보면, 여수·광양항이 179.2로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 울산항 151.4, 군산·대산항 135.0 등의 순으로 나타났다. 여수·광양항, 울산항, 군산·대산항의 노동생산성은 11개 항만 중 높은 수준임에도 불구하고 안전 효율성이 높게 나타났다. 이

를 통해 노동생산성이 안전 효율성으로 직결되지 않고 있다는 것을 알 수 있다. 하지만, 노동생산성이 높으면 다른 항만에 비해 과도한 업무가 집중될 가능성이 높다. 여수·광양항의 항만 재해자수는 2019년 2명, 2020년 3명, 2021년 7명으로 증가하는 추세에 있다. 동일하게 울산항의 항만 재해자수는 2019년 11명, 2020년 15명 2021년 21명으로 상승하였다. 2022년 1월부터 근로자 50인 이상 기업을 대상으로 중대재해처벌법이 적용되면서 사업장에서 일하는 근로자의 안전 및 보건을 확보하는 것이 매우 중요하다. 따라서 증가하는 항만 재해자수에 대한 예방대책을 세워야 높은 수준의 안전 효율성을 유지할 수 있을 것이라 판단된다.

2. 연구의 한계 및 향후연구

본 연구는 항만 재해자수에 영향을 주는 변수를 VARM 분석을 통해 알아보았다. 그리고 항만 재해자수를 고려한 국내 항만의 안전 효율성을 분석하여 다양한 시사점을 도출하였다. 하지만, 본 연구는 항만 재해자수에 영향을 미치는 다양한 변수를 고려하지 못하였다는 한계점이 있다. 이에 따라, 후속연구에서는 사회외부적 환경변화, 조직문화, 기술발전 등 다양한 요인과 항만 재해자수 간의 인과관계를 파악한 뒤 국내 항만의 안전 효율성을 분석할 필요가 있다. 또한, 노동생산성과 안전 효율성 간 상관관계를 통계적으로 분석하여 국내 항만의 안전 효율성을 제고하기 위한 다양한 접근이 필요하다. 마지막으로, 본 논문의 분석기간은 항만물류산업에 급격한 변화를 가져온 코로나 19 기간을 포함하고 있다. 특히, 2021년 근로시간이 36,363,636시간(2020년 40,277,778시간)으로 줄어들지만, 항만 재해자수는 128명(2020년 116명)으로 늘어난 것을 확인할 수 있다. 따라서, 코로나 19로 인한 영향이 배제된 항만 재해자수를 고려한 국내 항만의 안전 효율성 연구가 추가로 진행되길 기대한다.

참고문헌

강원덕 · 김형일 · 안승범(2005), 항만공사제도의 효율적 운영방안, 한국항만경제학회지, 제21권 제3호, 171-189.

고병욱(2023), VAR 과 VECM 모형을 이용한 해운시장 분석, 무역학회지, 제48권 제3호, 69-88.

곡문적 · 김치열(2023), 지정학적 위기와 탱커운입의 인과관계 분석, 해운물류연구, 제119권, 179-195.

김규봉 · 김울성 · 심민섭(2023), 부산항 컨테이너터미널의 ESG 중요도 평가에 관한 연구. 해운물류연구, 제119권, 217-238.

김동진(2016), 항만 물류 생산성 향상을 위한 안전사고의 위험성 분석-항만 컨테이너 터미널운영사의 하역 사고 사례를 중심으로, 생산성논집, 제30권 제4호, 53-79.

김아현 · 박노진(2014), 백터자기회귀모형을 통한 교통량 예측-신갈 지역 중심으로, Journal of the Korean Data Analysis Society, 제16권 제1호, 173-185.

나호수 · 이우 · 이경수(2008), 한국 5 대 항만의 효율성에 대한 비교연구, 한국항만경제학회지, 제24권 제4호, 25-46.

류희영 · 안영균(2021), 입지 및 관리형태의 차이가 항만의 효율성에 미치는 영향 분석 연구-DEA 를 사용하여. 해운물류연구, 제37권 제2호, 271-288.

박노경(2016), 다중회귀분석을 이용한 AHP/DEA-AR 항만 효율성 측정결과와 실증적 검증소고, 한국항만경제학회지, 제32권 제4호, 73-87.

박선율 · 김상열 · 박호(2017), DEA 결합모형을 활용한 아세안 (ASEAN) 지역 항만의 효율성 분석, 한국항만경제학회지, 제33권 제4호, 1-15.

서경수 · 안현미(2016), DEA (자료포락분석) 를 이용한 도시철도 전동차 운영효율 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 446-459.

안병철 · 이기환 · 김명희(2022), 유가와 벌크선 운임의 상관관계 분석에 관한 연구, 한국항해항만학회지, 제46권 제3호, 289-296.

이태휘(2017), 체신을 고려한 항만의 효율성 분석에 관한 연구. 한국항만경제학회지, 제33권 제4호, 135-147.

정길수 · 박성훈 · 이해찬 · 김유나 · 여기태(2020), 부정산출 변수를 고려한 컨테이너 터미널의 효율성 분석에 관한 연구, 해운물류연구, 제36권 제4호, 509-531.

최정원 · 김창수 · 서영준(2022), 메타프론티어 DEA 를 이용한 국내 항만의 효율성 분석: 항만형 자유무역 지역을 중심으로, Asia-Pacific Journal of Business & Commerce, 제14권 제3호, 107-129.

최정학(2021), 중대재해처벌법-기업 경영자 처벌의 논리, 노동법연구, 제51권, 1-38.

허익구 · 김경수(2006), VAR과 VEC 모형을 이용한 주식수익률의 예측에 관한 연구, 국제회계연구, 제14권, 107-129.

Chang, Y. T.(2017), Environmental efficiency of ports: a data envelopment analysis approach, InPorts and the Environment, 77-88.

Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Tone, K.(2006), Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References, Springer Science and Business Media.

Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Tone, K.(2007), Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, references and DEA-solver software, 2.

Jeh, J., Nam, J., Sim, M., Kim, Y., and Shin, Y. (2022), A Study on the Efficiency Analysis of Global Terminal Operators Based on the Operation Characteristics. Sustainability, 14(1), 536.

Krljan, T., Grbčić, A., Hess, S., and Grubisic, N.(2021), The Stochastic Frontier Model for Technical Efficiency Estimation of Interconnected Container Terminals, Journal of Marine Science and Engineering, 9(5), 515.

Na, J. H., Choi, A. Y., Ji, J., and Zhang, D.(2017), Environmental efficiency analysis of Chinese container ports with CO2 emissions: An inseparable input-output SBM model. Journal of Transport Geography, 65, 13-24.

Sims, C. A.(1980), Macroeconomics and reality. Econometrica: journal of the Econometric Society, 1-48.

Tone, K. (2001), A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis, European journal of operational research, 130(3), 498-509.

Wang, C. N., Le, A. L. and Hou, C. C.(2019), Applying undesirable output model to security evaluation of Taiwan, Mathematics, 7(11).

항만 재해자수를 고려한 국내 항만의 안전 효율성 분석

심민섭 · 김울성 · 김주혜

국문요약

본 연구는 항만 재해자수를 고려한 국내 항만의 안전 효율성을 알아보려고 하였다. 이를 위해 항만 재해자수에 영향을 미치는 변수를 단위근 검정과 벡터자기회귀모형(VAR)을 통해 확인하였으며, Undesirable Outputs 모형 분석을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, 벡터자기회귀모형 분석 결과 근로자수와 항운노조 근로자수가 재해자수에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 반대로, 하역업체 근로자수와 근로시간은 재해자수에 통계적으로 유의한 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 둘째, 2019년부터 2021년까지 Undesirable Outputs 모형 CCR 및 BCC 분석에서 안전 효율성이 가장 높은 항만은 여수·광양항으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로, 항만의 안전 운영과 관련된 다양한 시사점을 도출하였다.

주제어 : 항만 재해자수, 안전 효율성, 벡터자기회귀분석, Undesirable Outputs 모형