

컨테이너 터미널 배치 형태와 본선작업 생산성에 대한 연구*

신성호** · 김연국***

A Study on Container Terminal Layout and the Productivity of Container Crane During Ship Turnaround Time

Shin, Sung-Ho · Kim, Yeonkook J.

Abstract

In smart ports and port automation, the number of vertically deployed container terminals is growing. The purpose of this study is to analyze the productivity of horizontally arranged and vertically arranged container terminals by comparing the main ship operation time, and to recommend future strategies for increasing the operational efficiency of vertically configured container terminals. To achieve our goal, we chose two terminals representing each type, and collected berth allocation status data from 2018 to 2022. Then we analyzed the data using the Accelerated Failure Time (AFT) model, a parametric survival analysis technique. Under the assumption that the working circumstances of the C/C (Container Crane) are the same, we find that the productivity of on-board work of the vertically placed container terminal is higher than that of the horizontally placed container terminal. Our result also shows that the productivity is reduced during the COVID-19 period and the European ships show lower onboard work time. On the basis of these findings, we propose strategies to improve the productivity of vertical container terminals.

Key words: Container Terminal, Perpendicular Layout, Container Crane During Ship Turnaround Time, Survival Analysis, Accelerated Failure Time

▷ 논문접수: 2023. 02. 09. ▷ 심사완료: 2023. 03. 22. ▷ 게재확정: 2023. 03. 31.

* 『이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음』

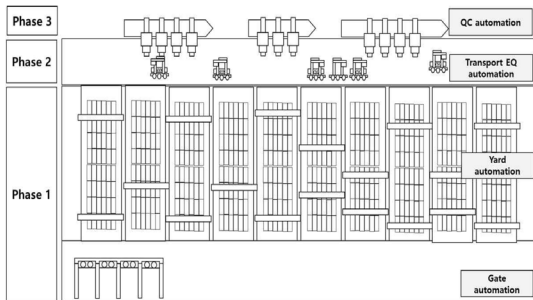
** 동아대학교 국제무역학과 조교수, 제1저자, shshin@dau.ac.kr

*** 동아대학교 경영정보학과 조교수, 교신저자, yjk15@dau.ac.kr

I. 서론

4차 산업혁명 시대 도래와 함께 선진항만들은 항만의 자동화, 디지털화, 스마트화를 적극 추진해오고 있으며(이언경·이수영, 2019), 전세계 스마트 항만 시장 규모는 2022년 이후 향후 5년 동안 3배 이상¹⁾ 증가할 것으로 전망되고 있다(UNCTAD, 2022). 스마트 항만의 핵심 중 하나인 항만 자동화는 컨테이너 터미널을 중심으로 적용되고 있으며, 이러한 자동화 터미널 대부분은 컨테이너가 안벽과 수직 방향으로 적재되어 있는 수직 배치형(또는 수직형) 터미널로 운영 및 계획되고 있다(〈그림 1〉). 해외에서는 네덜란드 ECT(Europe Container Terminal), 독일 CTA(Container Terminal Altenwerder), 미국 Trapac Terminal of Port of Los Angeles가 수직 배치 형태가 적용된 대표적인 자동화 터미널이다(한국해양수산개발원, 2017a; 2017b).

그림 1. 수직 배치형 컨테이너 터미널



자료 : 배종욱·박영만(2020).

국내의 경우, 지난 2012년 부산 신항 5부두에 아시아 최초로 수직 배치형 컨테이너 터미널이 개장되어 2022년 말 기준으로 10년 가까이 운영되고 있다. 한편, 인천 신항 1-2 단계 자동화 스마트 컨테이너 부두 개발에 수직형 야드배치가 계획되고 있으며²⁾,

광양항에도 수직 배치형 자동화 컨테이너 터미널의 적용 필요성이 언급된 바 있다³⁾.

수직 배치형 컨테이너 터미널은 수평 배치형에 비해 야드 내 통로 공간을 적게 차지하여 항만 내 컨테이너 장치 효율이 극대화되고, T/C (Transfer Crane)의 자동화에도 유리한 장점이 있다(Gupta et al., 2017). 이러한 수직 배치 형태는 터미널 게이트를 출입하는 외부 트럭이 장치장 내부로 진입할 필요가 없기 때문에 야드 내 복잡성을 줄일 수 있어 야드 장비의 효율성으로 이어진다(배종욱·박영만, 2011).

이렇듯, 운영사는 컨테이너 야드 내 화물들이 수직 배치(vertical layout 또는 perpendicular) 형태를 갖춤으로써 터미널의 생산성 증가를 도모하며, 야드 배치는 하역 장비간 생산성과도 관련되어 있어 터미널의 하역 생산성에도 영향을 미치게 된다(최상희·하태영, 2016). 그리고 안벽과 수직으로 배치할 수 있는 이송장비 등은 자동화 설비와 첨단 운용 시스템을 갖추게 됨으로써 높은 생산성이 기대되기도 한다(송상화, 2022).

그러나, 수직 배치형 컨테이너 터미널은 사전에 터미널에 설계된 프로그램이 다양한 환경적 변화와 운영 중 발생할 수 있는 변수에 대해 즉각 대응이 어느 수준까지 가능한지와 같은 문제(한철환, 2003)가 있으며, 수직 배치 형태의 컨테이너 터미널은 수출입 화물을 주로 처리하는 서구 항만의 물류 환경을 기초로 개발되었다는 특성(장재환·이정운, 2020)으로, 환적 화물 중심의 항만에는 '수평 배치 형태'의 컨테이너 터미널 사례가 많은 것으로 알려져 있다(Gupta et al., 2017).

이러한 수직 배치형 컨테이너 터미널이 환적 화물의 비율이 50%에 이르는 부산항에서도 하역 효율성 및 생산성 측면에서 성과를 보이고 있는지에 대한 분석이 실시될 필요가 있다. 향후 국내 컨테이너 항

1) 2022년 19억 달러에서 2027년 57억 달러로 증가 전망 (Research and Markets, 2022 재인용)

2) 코리아 쉬핑가제트, '항로 다변화와 신규 물동량 창출로 환해권 허브항 입지 다진다', 2022.01.24. (인천항만공사 사장 인터뷰 中)

3) 해양한국, '창립 10주년 맞은 YGPA', 2021.9.1.

만 개발에 자동화 터미널 도입으로 지속적인 수직 배치 형태가 고려되고 있기 때문에, 기존의 수평 배치형 컨테이너 터미널에 비해 수직 배치형 컨테이너 터미널의 효율성과 생산성이 우수한지 여부에 대한 검토가 필요한 시점이다.

본 연구에서는 수직 배치형 컨테이너 터미널과 수평 배치형 컨테이너 부두의 생산성을 작업량당 본선작업⁴⁾의 시간 관점에서 비교 분석함으로써, 향후 국내 컨테이너 항만에 배치될 예정인 수직 배치형 컨테이너 터미널의 운영 효율성을 높이는 방안을 제시하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 선행 연구를 살펴보고, III장에서는 분석 방법론을 설명하고, IV장에서는 분석의 대상 및 범위와 함께 데이터에 대해 살펴본다. V장에서는 분석결과를 제시하고, VI장에서 결론과 연구의 한계 및 향후 연구에 대해 다룬다.

II. 문헌 연구

수직 배치형 컨테이너 터미널에 대한 연구는 2002년부터 꾸준히 이루어지고 있다(〈표 1〉). 이상완 외(2002)의 연구에는 ‘수직 배치형’ 또는 ‘수직 배치’ 컨테이너 터미널이라는 용어 대신 ‘자동화 컨테이너 터미널’이라는 용어를 사용하고 있으나, 수직 배치형 컨테이너 터미널에서 적하 작업시 운송장비 현황과 규칙을 정리하고, 시뮬레이션을 통해 컨테이너 선적에 소요되는 시간을 최소화 시키는 리마샬링(Re-marshaling) 정도, 컨테이너 수, ATC(Automated Transfer Crane) 규칙별 AGV(Automated Guided Vehicle)의 수를 계산하여 터미널 내 자동화 장비운

영 방안을 제시하고 있다.

배종욱·박영만·김갑환(2006)은 수직형 자동화 컨테이너 터미널에서 컨테이너 이적작업에 대한 비용 최소화 및 적하 및 반출 작업시간 단축을 위한 해법 제시하고 있다. 컨테이너 장치 위치 할당 문제에 대해 이적 계획 최적화 모형(혼합정수계획법)을 제시하였고, ATC의 작업순서 문제에 대해서는 동적계획법을 비대칭 외관원 순회 문제(Asymmetric Traveling Salesman Problem, ATSP)에 적용하여 해를 구하였다. 수직 배치형 컨테이너 터미널에서 반입·반출 컨테이너들의 장치 위치 할당과 장비 작업순서 최소화 동적계획모형을 제시하였으며, 수치를 대입하여 비용과 적하 및 반출 작업시간을 최소화하는 해를 구하였다.

최상희·하태영(2006)은 컨테이너 터미널의 야드 배치를 세 가지 형태(평행식 안벽의 수평 배치 컨테이너 터미널, 평행식 안벽의 수직 배치 컨테이너 터미널, 굴입식 안벽의 수평 배치 컨테이너 터미널)로 구분하고 각 형태별 생산성에 대한 분석을 실시하였다. 각 터미널의 생산성은 시뮬레이션을 활용하여 컨테이너 크레인(Container Crane, C/C)의 생산성을 분석하고(시간당 컨테이너 처리 개수 기준), 아울러 안벽장비 결합생산성, 야드장비 결합생산성, 이송장비 결합생산성을 측정하였다. 야드 배치 형태별로 15개의 시나리오를 반복 수행하여, 각 터미널 생산성을 비교하였다. 분석 결과로는 굴입식 안벽 수평배치 형태가 가장 높은 생산성을 나타냈고, 평행식 안벽의 수직배치 컨테이너 터미널 형태는 물량이 증가될수록 생산성이 다른 두 형태의 컨테이너 터미널(평행식 수평배치, 굴입식 수평배치)에 비해 낮다는 결과를 제시하였다.

배종욱·박영만·김갑환(2008)은 적하 작업시간의 가치와 이적작업시간의 가치작업별 시간가치를 고려하여 자동화 컨테이너 터미널에서의 적하(수출) 컨테이너 이적작업 계획에 대한 연구를 진행하였다. 혼합정수계획법과 휴리스틱 알고리즘을 활용하여 수치

4) “하역과정의 하나로서 선박을 접안시킨 상태에서 선박으로부터 직접 화물을 내리거나(揚荷), 선박에 싣는(積荷) 행위. 야드작업(또는 마셜링)과 대비됨” (자료: 국가물류통합센터 물류용어 사전, accessed 2023년 1월 20일)

실험을 실시하였으며, 모델의 최적해를 구하여, 여러 요인(베이 수, 컨테이너 그룹 수, 이적작업 비용, 채취급 개선비용 등)과 이적작업 횟수 및 이적작업의 효율성과의 관계를 실증적으로 나타내었다.

김지은·박기역·박태진·류광렬(2009)은 수직 배치 장치장에서 적하 컨테이너의 재정돈 작업을 연구 대상으로 선정하였다. 재정돈(Re-marshaling)이 요구되는 컨테이너 선정과 해당 컨테이너의 재정돈(컨테이너의 순서와 위치를 결정) 방안을 제안하고 있다. 이를 위해 선택된 재정돈 컨테이너를 대상으로 휴리스틱 알고리즘을 이용해 크레인의 작업 계획을 수립

하고 시뮬레이션을 수행하였다. 제시된 모델을 통해 재정돈이 필요한 컨테이너들이 선별되었고, 수직 배치 장치장에서 컨테이너 처리 효율 향상과 적하 시 크레인의 이동 거리 및 작업 수가 감소한다는 연구 결과를 제시하고 있다.

배종욱·박영만(2011)은 수출 컨테이너를 대상으로 수직으로 배치된 컨테이너 터미널에서 컨테이너 장치의 위치와 작업순서에 대한 의사결정문제를 연구하였다. 컨테이너 장치 위치에 따른 적하작업시간 단축과 외부트럭의 대기시간이 고려된 총 비용 최소화를 목적함수를 설정하였고, 혼합정수계획모형과

표 1. 수직 배치형 컨테이너 터미널 관련 연구

저자 (연도)	연구 범위	연구내용	방법론
이상완 외 (2002)	이송 장비, 야드 장비	- 컨테이너 적하 작업시 컨테이너 선정에 소요되는 시간 최소화를 위한 자동화 장비운영 방안 제시	시뮬레이션(Visual Basic 언어로 작성된 프로그램 활용)
배종욱·박영만·김갑환 (2006)	이송 장비, 야드 장비	- 수직형 자동화 컨테이너 터미널에서의 컨테이너 이적작업에 대한 비용 최소화과 적하 및 반출 작업시간 단축을 위한 모델 제시	혼합정수계획법, 동적계획법
최상희·하태영 (2006)	안벽 장비, 이송 장비, 야드 장비, 반출입 장비	- 컨테이너 터미널의 야드 배치를 세 가지 형태로 구분하고 각 형태별 생산성에 대한 분석을 실시 - C/C(Container Crane)의 생산성, 안벽장비 결합생산성, 야드장비 결합생산성, 이송장비 결합생산성 측정 - 야드 배치 형태별 15개의 시나리오 반복 수행	시뮬레이션 (Visual Basic 6.0 언어로 작성된 프로그램 활용)
배종욱·박영만·김갑환 (2008)	이송 장비, 야드 장비	- 작업별 시간가치를 고려한 자동화 컨테이너 터미널에서의 적하(수출) 컨테이너 이적작업 계획	혼합정수계획법, 휴리스틱 알고리즘
김지은·박기역·박태진·류광렬 (2009)	컨테이너 야드	- 수직 배치 장치장에서 재정돈을 위해 주어지는 크레인의 유휴시간이 제한적일 때, 장치장의 재정돈 계획을 세우는 방안을 제안	휴리스틱 알고리즘, 시뮬레이션
배종욱·박영만 (2011)	이송 장비, 야드 장비	- (수출 컨테이너의) 작업순서와 장치의 위치 결정에 최적화 모델 구현 - 총 비용 최소화를 목적으로 최적화 모형과 휴리스틱 해법 제시	혼합정수계획법, 휴리스틱 알고리즘
장재환·이정운 (2020)	이송 장비, 야드 장비	- 부산 신항의 운영 상황을 고려한 수직 배열 자동화 컨테이너 터미널 내 새로운 이송 모델 제안 - 별도의 공간에 공컨테이너를 따로 적재하고 수출입 컨테이너와 공컨테이너 작업에 대한 각각의 동선을 분리하는 방식 제시	시뮬레이션(Emulator를 활용하여 인터체인지 이송 모델 적용)
배종욱·박영만 (2020)	이송 장비, 야드 장비	- 수직배치형 자동화 컨테이너 터미널 내에서 베이간 작업 순서 및 장치위치에 대한 재배치 작업 계획	혼합정수모형, 빔 탐색

시물레이티드 어닐링(Simulated Annealing; SA) 기반의 휴리스틱 알고리즘을 적용하여 휴리스틱 알고리즘의 수행도를 분석하였다. 수치실험을 통한 연구 결과로 최적모형에 비해 휴리스틱 알고리즘의 성능은 우수하게 나타나 현실 문제를 다루는 운영시스템에는 SA 알고리즘에 기반한 휴리스틱 알고리즘의 적용이 보다 적절하다는 연구 결과를 나타내었다.

장재환·이정운(2020)은 효과적인 공컨테이너 관리 및 운영 비용 절감 방안 제시를 위해 Basic Model을 적용한 시물레이션과 Interchange Model을 적용한 시물레이션 결과를 비교 분석하였다. 이 연구는 다수의 환적 화물을 처리하고 다양한 On-Dock 서비스가 이루어지고 있는 부산 신항의 상황을 고려하였고, 실제 부산 신항에서 수직 배열 자동화 컨테이너 터미널 내 물동량 구조와 터미널 작업 실태를 기반으로 터미널 내 새로운 이송 모델을 제안하고 있다. 분석 결과 별도의 공간에 공컨테이너를 따로 적재하고 수출입 컨테이너와 공컨테이너 작업에 대한 각각의 동선을 분리하는 방식이 야드 작업의 효율성이 제고되고 운영비도 절감된다는 결과를 보여 주고 있다.

배종욱·박영만(2020)은 혼합정수모형과 범 탐색 방법을 수직배치형 자동화 컨테이너 터미널 내 베이 간 작업순서 및 장치위치에 대한 재배치작업 계획에 적용하여, 다양한 수치 실험을 수행하였다. 컨테이너의 적하와 반출작업시간을 줄이는 방법으로 재배치작업(re-marshalling) 계획에 대한 여러 가지 특성을 분석하여 재배치 작업 계획의 효과가 큰 특성들을 제시하였다.

수직 배치형 컨테이너 터미널에 대한 선행연구를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 수직 배치형 컨테이너 터미널과 관련된 선행연구들의 연구 대상과 범위 대부분은 <그림 1>의 Phase 1과 Phase 2의 범위에 해당되는 이송 장비와 야드 장비에 대한 연구라는 점이다. 둘째, 선행연구의 대부분은 최적화 모델 및 시물레이션을 활용한 분석임을 알 수 있다. 셋째, 수직

배치형 컨테이너 터미널과 수평 배치형 컨테이너 터미널을 비교하여 효율성을 분석한 연구는 매우 제한적이라는 점이다.

이러한 점에 본 연구는 국내에서 수직 배치 컨테이너 터미널이 운영되고 난 후의 실제 '선석배정현황' 데이터를 활용하여, 수직 배치와 수평 배치 컨테이너 터미널 각각의 본선작업(<그림 1>에서 Phase 1에 해당)의 효율성⁵⁾을 비교 분석함으로써 수직 배치형 컨테이너 터미널 운영에 대한 제언을 하고자 한다.

III. 방법론

본 연구에서는 본선작업의 시간 분석을 위해 생존 분석을 활용한다. 생존분석(Survival analysis)은 통계학의 한 분야로, 어떠한 현상이 발생하기까지 걸리는 시간(time-to-event)에 대해 분석한다. 이러한 '시간'을 분석한 기존 연구에서는 입항 시점부터 출항 시점까지 소요된 시간인 선박 제함 시간을 생존 시간으로 간주하고 생존분석 방법론을 적용하여 분석하였다(신강원·정장표, 2010; 이민규·김근섭, 2010; 이민규, 2012). 생존분석 모형으로 많이 활용되는 모형으로는 콕스 비례위험 모형(Cox proportional hazard model)이 있다. David Cox가 1972년 제안한 모형으로 특별한 생존시간의 분포에 대한 가정이 없으며, 비례위험은 시간에 상관없이 어떤 변수의 위험비(hazard ratio, HR)는 항상 일정하다는 모형의 기본가정을 갖는다. Cox 모형은 생존함수와 변수 사이에 로그-선형관계가 있다는 가정을 한 후, 회귀분석 방법을 이용하여 중도 절단된 자료를 처리한

5) 해당 용어는 연구자에 따라 '선박작업 생산성'(김환성·김영호, 2006), '안벽 생산성'(최용석 외, 2007), '안벽크레인 생산성'(윤동하·최용석, 2011), '안벽 크레인의 단기적 성능'(윤신휘·하병현, 2012), '선석 생산성'(한국해양수산개발원, 2022)으로 표현된다. 각 터미널별 정보조회서비스에서도 '본선작업'이라는 표현을 사용하고 있으며, 본 연구에서도 '본선작업 생산성'으로 표현하기로 한다.

다. $X_i = \{X_{i1}, \dots, X_{ip}\}$ 를 항목 i 에 대한 변수라고 하였을 때, 생존함수는 $\lambda(t|X_i) = \lambda_0(t)\exp(\beta_i X_i)$ 와 같이 시간 t 와 변수 X_i 로 표현할 수 있다. Cox 모형은 생존함수의 분포에 대한 가정 없이 추정한다는 장점이 있으나 변수의 효과가 시간에 관계없이 일정하다는 가정 아래 수행되며 가정 위반 시 비례 위험모형은 사용할 수 없으며 non-proportional hazard 모형을 사용해야 한다(김종걸·성기우, 2015). 이에 비해 생존함수의 분포에 대한 가정을 가지는 모수적 생존분석 기법인 가속실패시간(Accelerated Failure Time, AFT) 모형은 변량과 생존시간 간의 비례 관계를 다음과 같이 가정한다.

$$T = \exp(\beta_i X_i) \cdot T_0$$

독립변수 값이 0인 경우의 생존시간 확률변수를 T_0 라 하고, 일반적으로 와이블 분포, 지수분포, 로그정규분포들 중 하나를 기저분포로 가정한다. 위의 식에 log를 취하면,

$$\log T = \beta_i X_i + \epsilon$$

여기서 $\epsilon = \log(T_0)$ 로 정의한다.

AFT 모형은 생존시간에 대해 모수적 분포 가정해야 하는 단점이 있다. 본 연구에서는 지수, 와이블, 로그정규, 로그 로지스틱 분포를 사용하여 만든 모형 중에서, 모형 선택 기준 척도로 많이 사용되는 AIC(Akaike Information Criteria)와 BIC (Bayesian Information Criteria)를 사용하여 평가하였다. 모형 비교 시, 두 지표 모두 값이 적은 모형이 선호된다. 본 연구에서는 로그 로지스틱 분포를 사용한 경우가 가장 좋은 결과를 보이고 있어 이를 최종 모형에 사용하여 분석하였다(〈표 2〉).

표 2. 분포의 모형 적합성 비교

분포	추정 모수의 개수	AIC	BIC
지수	5	31,304.9	31,343.0
와이블	7	6,918.5	6,964.3
로그정규	6	-1,104.9	-1,059.2
로그 로지스틱	6	-2,015.1	-1,969.3

IV. 연구 범위 및 데이터

1. 본선작업의 생산성 및 효율성 측정

컨테이너 터미널의 효율성은 터미널 장비들의 성능과 대수 등에 의해 단위면적, 단위시간, 장비 당 처리능력 등으로 측정된다. 본 연구는 본선작업에서 이루어지는 생산성을 비교분석하기 위해, 가장 핵심적인 역할을 담당하고 있는 C/C의 작업시간을 분석 대상으로 선정하였다.

일반적으로 C/C의 생산성이 시간당 작업량(VAN/hour)으로 산출하는 경우가 많다. 분자의 '작업량'은 '일반 블록 작업수량(VAN)'으로 표기된다. '작업량'을 TEU 단위가 아닌, VAN 단위로 나타내는 이유는 C/C 작업에서 양하/적하/shifting 작업을 하는 컨테이너 개수를 계수해야 하기 때문이다. 즉, 시간당 몇 개의 컨테이너를 처리하는가를 나타내기 위함으로 (크기와 관계 없이) 컨테이너 1개를 처리하는 경우 1 VAN으로 표기된다⁶⁾.

C/C의 생산성을 구하는 방법으로는 컨테이너 처리량(A)을 크레인수(B)로 나누어 계산한 경우도 있으며(한철환, 2003), 〈표 3〉과 같이 3가지로 구분하여 각각 '시간당 하역량'으로 산출하는 경우도 있다(최용석 외, 2007). 분석에 사용되는 크레인의 생산성에 대한 파라미터 값을 시간당 30회를 가정한 사례가

6) 이러한 이유로, 일부 연구에서는 TEU/VAN에 대한 계수로 1.4, 1.55 등의 값을 적용하기도 한다.

있고(장재환·이정윤, 2020), 윤동하·최용석(2011)과 윤신휘·하병현(2012)의 연구에서는 C/C의 생산성과 성능을 시간당 작업 개수로 고려하였으며, 한국해양수산개발원에서 발간하는 ‘세계 컨테이너 항만서비스 지표’에서는 선석 생산성을 Berth Move Per Hours(총 양적하 횡수/선석 접안 시간)로 나타내고 있다.

한편, 손정기(1998)는 하역 사이클 타임(cycle time)을 줄임으로써 생산성 향상을 제안하며 시간 관점에서 C/C의 생산성을 고려하였으며, 최용석 외(2007)의 연구에 활용된 C/C의 생산성은 컨테이너 1개당 처리시간으로 산출되었다.

표 3. C/C의 생산성 구분

구분	산출 근거
기계적 생산성	기계적인 성능만을 기준으로 산출된 시간당 하역량
순작업 생산성	양적하 작업시 장비간 대기시간을 추가로 고려하여 산출된 시간당 하역량
총작업 생산성	크레인의 고장률, 작업자 교대, 작업 크레인간 간섭계수 등 터미널 환경 등을 고려하여 산출된 시간당 하역량

자료 : 최용석 외(2007)

본 연구에 활용하고자 하는 Survival analysis⁸⁾는 ‘시간’을 종속변수로 설정하고 이러한 ‘시간’에 영향을 주는 여러 변수(covariate)들의 영향을 동시에 알아보는 다변량 분석 방법이다(정연식 외, 2007; 이민규, 2012). 따라서 본 연구에서는 survival analysis의 장점을 활용하기 위해 종속변수를 시간으로 두되, 본선 작업시간을 ‘1 VAN 당 소요시간’으로 산출하여 수평 컨테이너와 수직 배치형 C/C의 생산성을 비교한다. 모델의 종속변수인 시간(duration)은 다음과

같은 방법으로 계산하였다⁹⁾.

접안 및 작업시간, 즉 본선작업 시간은 각 컨테이너부두별 정보조회 서비스상에 게시되어 있는 ‘접안 일시’와 ‘출항 일시’ 데이터를 활용하여 산출하였다. 즉, 선박이 접안하여 출항하기까지의 시간(출항 일시-접안 일시)을 본선작업 시간으로 계산한다. 작업수량은 C/C가 컨테이너를 양하 및 적하한 수량을 의미한다. 따라서, 작업수량 당 본선작업 시간을 계산하여 C/C가 한 개의 컨테이너를 처리하는 시간을 구하였다. 각 선박별로 본선작업 시간을 총 작업수량(양하/적하/shifting)으로 나누어, 1VAN(작업량)당 작업 시간을 구할 수 있다.

또한, 여기에는 투입되는 C/C의 개수가 고려되어야 한다. 2부두의 경우 6개의 선석에 22기의 C/C가 설치되어 있고¹⁰⁾, 5부두의 경우 4개 선석에 14기의 C/C가 설치되어 있다¹¹⁾. 즉, 투입 가능한 C/C가 많을수록 본선 작업시간은 감소하기 때문에 두 터미널 간 비교를 위해 아래와 같이 보정계수(calibration parameter)를 적용하였다. 즉, 수직 배치형 터미널인 경우, 수평 배치형 터미널에 비해 C/C가 적게 배치되어 있다. 이를 동일한 상황으로 가정하기 위해, 각 터미널별 선석당 투입 가능한 C/C의 비율을 보정계수로 수직 배치형 터미널에 적용시켜준다. 이를 통해 두 컨테이너 터미널에 투입 가능한 C/C 투입을 동일하게 가정하였다.

보정계수는 부두별 투입되는 C/C가 많을수록 본선 작업시간은 감소하기 때문에, 이를 보정해주는 값을 본선 작업 시간에 적용하였다. 이를 위해 터미널별로 선석당 C/C의 비율을 적용하고자 하였으나¹²⁾, 실제

7) 한국해양수산개발원(2022), 세계 컨테이너 항만 서비스 지표, 연간 5회(분기별 4회, 연간 1회) 발간되고 있음.
8) 본래 의학에서 사용되던 Survival analysis에 그 기원을 두고 있다. Survival analysis에서 종속변수는 연구 대상의 생존기간이다.

9) 이 값은 실제로 많이 사용되고 있는 시간당 작업량을 역수로 취한 값으로 ‘시간’ 차원의 데이터로 만들어 준 것임
10) 부산항만공사 자료에는 19기로 기재되어 있으나, 2022년 기준으로 22기가 운영 중인 것으로 확인
11) 부산항만공사 자료에는 11기로 기재되어 있으나, 2021년 1월에 C/C 3기가 추가되어 총 14기가 운영 중인 것으로 확인
12) 2022년 7월 기준으로 2부두는 6선석(5만톤급 6척) C/C 19기 운영, 5부두는 4선석(5만톤급 4척) C/C 11기 운영되고 있음 (자료: 부산항만공사 웹사이트)

표 4. 기간별/부두별 C/C 대수 및 보정계수

기간	선석 길이		C/C 대수		보정 계수 (1km당 C/C 대수)		보정 계수 (비율)
	2부두	5부두	2부두	5부두	2부두 (A)	5부두 (B)	(B)/(A)
2018.01-2020.03			22	11	11대	7.86대	0.714
2020.04-2020.06			20 ¹⁾	11	10대	7.86대	0.786
2020.07-2020.12	2km	1.4km	22	11	11대	7.86대	0.714
2021.01-2022.12			22	14 ²⁾	11대	10대	0.909

자료 : 부산 신항만주식회사, 부산 신항컨테이너 터미널 웹사이트

주 1) 2020.4.6. 2부두 8번 선석에서 C/C 2대가 파손되어 20개로 운영되었음. 데이터상 8번 선석에 선박이 접안하기 시작한 6월 말을 기준으로, 4-6월까지의 20대의 C/C가 운영된 것으로 가정하여 계산하였음

2) 2021.01에 C/C 3대 추가

정보조회서비스에서 제공하는 데이터에서는 2부두 총 6개 선석 중 5개 선석만 운영되고 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 선석수를 대신하여 각 부두별 ‘선석의 길이’¹³⁾를 고려하여, km당 투입되는 C/C를 2부두(수평 배치)와 5부두(수직 배치)별로 각각 구분 후 이들의 비율을 보정계수로 적용하였다.

물론, C/C의 생산성은 선석과 장치장을 오고 가는 이송장비의 역할과 효율성과도 관련되어 있다. 예를 들어, 본선 작업이 원활하게 이루어지더라도 해측과 육측 간 이송 작업에서 지연이 발생시 C/C의 작업지연으로 이어질 수 있기 때문이다(전수민·김갑환, 2008). 따라서 본 연구에는 각 부두에는 C/C의 작업지연이 최소화되는 적정 이송장비를 갖추고 있다는 가정하에 km당 투입되는 C/C¹⁴⁾의 비율 계산에 보정계수를 적용하고 본선작업 시간을 보정함으로써, 투입되는 C/C 대수 요인을 표준화하였다.

본 연구에서는 다음의 가정을 바탕으로 비교 분석을 실시하였다. 첫째, 수평 배치와 수직 배치 컨테이너

터미널에서 C/C의 숙련도는 차이가 없다고 가정한다. 즉, 2부두와 5부두 모두 C/C 작업자의 숙련도는 동일하다고 가정한다. 둘째, 비교하고자 하는 컨테이너 터미널의 선석 수와 야적장 크기는 차이가 있다. 이를 고려하기 위해 보정계수를 적용하였고, 이 때 선석과 C/C와 연결되어 있는 이송장비들은 최적으로 배치되어 있다고 가정한다. 즉, 앞서 기술한 바와 같이, 이송장비가 뒷받침되지 못하는 경우 C/C가 아무리 좋아도 적하/양하 시간이 지연될 수 있기 때문이다.

2. 데이터

1) 데이터 수집

분석을 위해 2018년부터 2022년까지 최근 5년 데이터를 수집하였으며, 부산 신항의 수평 형태 컨테이너 터미널부두 1개와 수직 형태 컨테이너 터미널부두 1개를 선정하였다. 수평 형태로 선정한 컨테이너 터미널은 다른 컨테이너 터미널에 비해 얼라이언스 물량을 단일 터미널에서 모두 처리할 수 있는 터미널이며, 면적이 가장 넓고 보유 및 운영하고 있는 C/C 수가 가장 많아, 생산성 측면에서 가장 뛰어난 터미널로 가정하고 수직 형태의 컨테이너 터미널과

13) 2022년 7월 기준으로 2부두는 2km, 5부두는 1.4km (자료: 부산항만공사 웹사이트)

14) 2부두와 5부두의 1km당 C/C 대수는 각각 9.50대, 7.86로 나타났으며, 5부두에 비해 2부두에 투입되는 C/C가 많음을 알 수 있고, 이를 조정하기 위해(같은 환경으로 만들기 위해) 이들의 비(7.86/9.50 = 0.827)를 조정계수로 적용하였다.

비교하기 위함이다¹⁵⁾.

분석 대상 기간의 태풍, 화물연대 파업, 명절 휴무 등으로 인한 영향은 수직/수평 컨테이너 터미널 모두 동일하게 적용된다는 가정을 둔다. 또한, 부두별로 발생한 사고¹⁶⁾는 따로 제외하지 않고, 분석데이터에 포함시켰다. 다만 2부두에서 발생한 사고 관련해서는 보정계수에 반영하였다.

Survival analysis에서 duration은 본 연구에서는 선박의 접안하여 컨테이너 터미널에 선적 또는 하역, 그리고 컨테이너 재배치까지 마친 후 다시 출항하게 되는 과정에서 항만에 접안한 시간을 의미한다. 이 ‘시간’은 각 컨테이너부두별 정보조회서비스(2부두는 ‘부산 신항만주식회사’ 정보조회서비스¹⁷⁾, 5부두는 ‘부산항터미널주식회사’ 정보조회서비스¹⁸⁾에서 각각 데이터를 다운로드 함)의 선석배정현황 데이터를 통해 수집하였다.

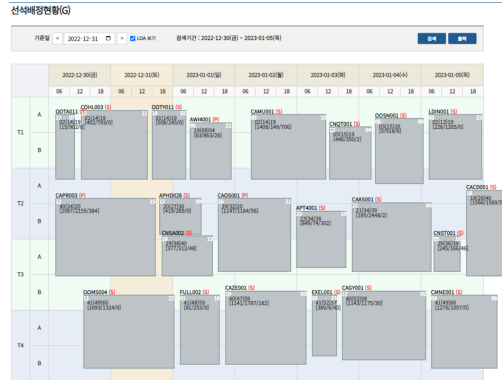
선석배정현황 데이터에는 선박이 부두에 접안한 경우, 접안한 선석명과 접안한 선박의 선사, 선명, 접안일시와 출항일시가 기록되며, 각 선박의 양하 또는 적하한 컨테이너 수량과 shifting이 이루어진 컨테이너 수량이 기록된다. 각 컨테이너 터미널 운영사의 정보조회서비스에서는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 선박별로 데이터의 행이 생성되어 해당 선박의 선사 및 모선명, 이용 선석, 작업량(양하/적하/Shift), 접안일시와 출항일시가 제공된다¹⁹⁾. 그러나 접안한 선박에 몇 기의 C/C가 투입되었는지에 대한 데이터는 포함되어 있지 않다.

그림 2. 선박별/선석별 접안 정보

선석배정현황(T)

ID	IDA	모선명(선사/선명) Parent (Ship/Ship Name)	선명 VESSEL	방항항구/사명 Destination	접안예정일시 Arrival Date	출항예정일시 Departure Date	수령 양하/적하/Shift	상태
100	COO	COSCO HELIAS 0110419	COSCO HELIAS (PEX)	20221230 0000	20221230 0000	20221231 1130	402 / 791 / 0	DEPARTED
291	CMA	CMA CGM PILARIS 4134810	CMA CGM PILARIS (RONS)	20221229 1243	20221229 1243	20221231 1536	2,587 / 2,155 / 964	DEPARTED
402	OOCL	OOCL MALAKA 4114810	OOCL MALAKA (MUL)	20221230 1130	20221230 1130	20221231 2235	1,891 / 3,324 / 0	DEPARTED
100	OOCL	OOCL TOKYO 0110419	OOCL TOKYO (PCC)	20221231 1430	20221231 1430	20230101 0235	508 / 245 / 0	DEPARTED
200	APL	CMA CGM HENDERIE 2012130	CMA CGM HENDERIE (HNS)	20221231 1746	20221231 1746	20230101 0830	419 / 269 / 0	DEPARTED
300	SPC	SONGA TIGER 2813810	SONGA TIGER (LTVS)	20221231 1836	20221231 1836	20230101 1340	371 / 312 / 48	DEPARTED

(a) 선석배정현황(텍스트 자료)



(b) 선석배정현황(그래픽 자료)

자료 : B社 정보조회 서비스

선석배정현황 데이터에는 입항한 선박별로 본선작업에 대한 데이터가 포함되어 있으나, 각 선박에 투입된 C/C는 선박의 크기에 따라 투입되는 C/C 대수가 다를 수 있고, 야드 적재 상황 및 선박 접안 스케줄 등에 따라 각 선박 당 투입되는 C/C 대수가 다를 수 있기 때문에, 컨테이너 터미널의 생산성 계산에는 C/C 대수가 아닌 선석수로 구분하였다. 물론, 대형선박의 경우, 2개 선석을 차지하는 경우도 발생하나, 이 경우 역시 독립적인 선석별로 시간당 작업량은 동일하게 나타난다는 가정으로 산출하였다.

작업량 데이터는 양하, 적하, shifting으로 기록된다. 양하는 컨테이너를 본선에서 내리는 작업, 적하는 수출용으로 컨테이너를 선박에 싣는 작업을 의미한다. Shifting은 이선적 화물을 의미하며, “동일선창 이선적은 실무적으로 1 Time shifting, 타선창 이선

15) <https://www.pncport.com/kor/> <https://www.bnctkorea.com>
 16) 예를 들어, 2020.11.19 5부두에서 발생한 컨테이너 야드에서 적재되어 있던 컨테이너가 넘어지는 사고
 17) <https://svc.pncport.com>
 18) <https://info.bnctkorea.com>
 19) 터미널 운영사에 따라 선사항차, 항로, 접안방향에 대한 정보까지 제공하는 경우도 있으나, 선박 크기에 대한 정보는 제공하고 있지 않음

적은 Yard에 한번 양하를 했다가 재 선적을 하기 때문에 2 Times shifting으로 불리어 진다.”(류동하·안기명·황성구, 2014). 이는 선박 내 적재되는 컨테이너 재배치를 위해 필요한 작업으로 양하 및 적하작업과는 구분되기 때문에 따로 계수된다. 동일선창 이선적의 경우 C/C의 작업시간은 양하나 적하작업에 비해 적다고 볼 수 있으나, 타선창 이선적인 경우 야드에 양하 후 개선적 과정을 거치기 때문에 일반적인 양하 및 적하 작업 시간과 동일한 것으로 산정한다. 제시되어 있는 데이터에는 shifting에 대한 결과로 숫자만 제시되어 있어 동일선창 이선적인지 타선창 이선적인지 구분이 어려운 점, Shifting 작업량은 매우 적은 점을 고려하여 Shifting으로 기록된 작업량은 일반 양적하 작업의 90% 시간이 소요된다고 가정한다.²⁰⁾

2) 요약 통계량

〈표 5〉는 분석에 활용된 변수들의 요약 통계량을 나타내고 있다. 터미널별 접안 척수를 비교해 보면, 보다 많은 선적을 보유하고 있는 2부두에 접안하는 선박이 5부두에 비해 많았으며, 코로나19 기간(2020~2022년)²¹⁾동안 입항 척수는 감소한 것으로 나타났다. 2부두(수평 배치형 부두)의 경우 양하와 적하의 화물이 비율은 비슷하게 나타나고 있으나, 5부두(수직 배치형 부두)의 경우 양하에 비해 적하화물의 비율이 높게 나타났다. 5부두에서의 shifting 작업은 2020년 이후 증가하고 있음을 알 수 있다. 시간당 작업량(VAN/hour)은 모든 기간 5부두에 비해 2부두가 우수한 것으로 나타났다.

각 컨테이너 터미널에 접안한 유럽 선사의 비중도 터미널 간 차이를 나타내고 있다. 5부두의 유럽 선사의 접안 비중은 50%대를 기록하다가 2021년부터 그 비중이 증가하고 있음을 알 수 있다. 반면, 2부두의

표 5. 분석변수의 요약 통계량 (2018~2022년)

	N ¹⁾		양하/적하/shifting ²⁾				시간당 작업량 (VAN/hour)		유럽선사 ³⁾ 비중	
	2부두 ¹⁾	5부두	2부두		5부두		2부두	5부두	2부두	5부두
2018	2,461	1,235	634.7 / 634.2 / 39.4		500.9 / 627.3 / 41.8		75.5	60.2	32.3%	51.9%
2019	2,398	1,007	701.2 / 700.0 / 41.1		571.6 / 728.2 / 43.0		77.1	67.5	24.9%	51.7%
2020	1,829	924	767.1 / 825.7 / 57.8		637.1 / 775.6 / 58.3		72.2	60.2	26.4%	51.1%
2021	1,715	861	892.0 / 902.0 / 89.2		737.9 / 872.1 / 94.8		72.7	60.7	49.4%	54.2%
2022	1,847	926	808.4 / 775.3 / 55.4		727.4 / 817.9 / 122.9		73.7	57.6	77.8%	59.5%
합계	10,250	4,953	748.2 / 754.0 / 54.3		624.2 / 753.7 / 69.5		74.5	61.3	40.6%	53.5%

- 주 1) 접안 척수
- 2) 선박별 평균값 (단위: VAN)
- 3) 일부 중동(아랍에미리트) 선사도 소수 포함되어 있음
- 4) 2부두는 수평 배치형 부두이며 5부두는 수직 배치형 부두임

20) 양하와 적하에 비해 C/C의 Trolley 작업 시간이 적기 때문에 90%로 가정하였다.
 21) 본 연구에서는 코로나 발생일 기준은 부산에 첫 환자 발생일(2020.2.22.)을 기준으로 하였음

경우 2019년부터 유럽 선사의 선박 기항 비중은 급격하게 증가하여 2022년에는 77.8%를 기록하였다.

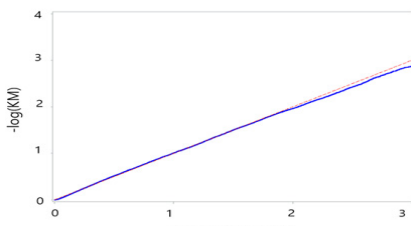
한편, 5부두의 경우, 2021년 1월에 C/C 3기가 신규로 투입되었음에도 불구하고 요약통계량에서 본 2022년 시간당 작업량은 오히려 감소한 것을 알 수 있다. C/C 투입 후 바로 본선작업에 투입되지 못했거나, 새로운 C/C의 투입으로 효율적 배치 및 운영이 이루어지지 못했을 수도 있는 등 다양한 가능성이 존재한다고 볼 수 있으며, 이는 C/C의 투입이 즉각적인 본선작업의 생산성 증대로 이어지지 않는다고 분석할 수 있다.

V. 분석 결과

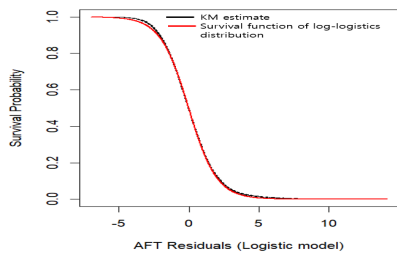
1. 모형의 적합도

본 연구에 활용한 AFT 분석모형의 적합도를 판단하기 위해 Cox-Snell의 잔차(Cox-Snell residual)를 이용하였다(〈그림 3 (a)〉).

그림 3. Cox-Snell residual 그래프 및 Distribution tests for ϵ_i



(a) Cox-Snell residual 그래프



(b) AFT residual 그래프

분석모형의 잔차는 확률변수인 t시점의 로그생존함수의 음수값간 기울기가 1인 그래프를 크게 벗어나지 않아 분석모형의 적합도는 적절한 것으로 분석되었다(신강원·정장표, 2010). 〈그림 3 (b)〉 역시 모형의 적합도 평가를 위해 AFT residual을 활용한 가정 테스트(assumption tests) 결과를 보여주고 있다. 로그 로지스틱 분포의 생존 함수(survival function)도 잔차(residuals)의 KM(Kaplan-Meier) 추정치에 가깝게 나타나고 있어 모형 적합도의 적절성을 확인할 수 있다.

2. 분석 결과

〈표 6〉은 보정계수를 적용한 본선 작업시간(1 VAN 당 소요시간)을 종속변수로 두고, 컨테이너 야드의 배치 형태, 코로나19, 유럽 선사 여부를 독립변수로 설정하여 로그-로지스틱 AFT모형으로 추정한 결과를 나타낸다. 계수 값이 양(+)인 경우 기준(reference)에 비해 종속변수로 설정해 둔 ‘기간’이 길게 나타남을 의미한다. 로그-로지스틱 AFT모형의 장점 중 하나는 모형의 추정계수를 오즈비(odds ratio) 형태로 쉽게 변환이 가능하다는 점이다(Lemeshow & Hosmer, 2011). 〈표 6〉의 마지막 컬럼인 $\exp(\text{계수})-1$ 는 추정계수를 시간척도(time ratio)로 변환한 값(i.e. $\exp(B)$)이며, 〈그림 6〉은 변수들의 오즈비(odds ratio)를 나타낸 그래프이다.

수평 배치 변수의 계수는 0.053으로 수평 배치 컨테이너 터미널에서의 ‘1 VAN 당 소요시간’은 수직 배치 컨테이너 터미널에 비해 오래 걸리는 것으로 나타났다. 변수의 오즈비는 0.054로 2부두의 ‘1 VAN 당 소요시간’이 5부두에 비해 5.40% 길었음을 보여준다.

표 6. 본선작업시간 AFT 모형 추정 결과

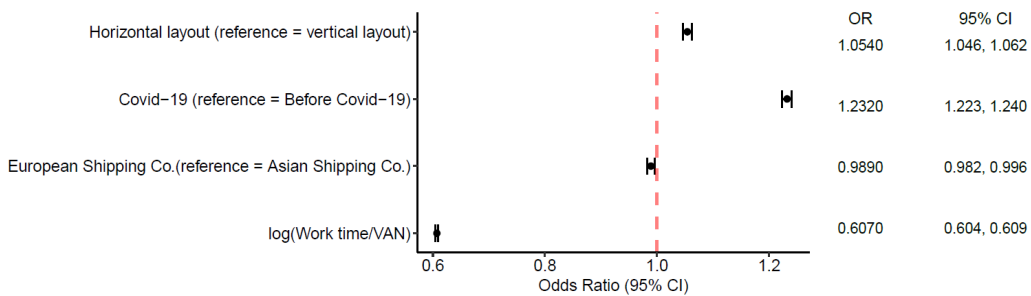
	계수	표준오차	Pr >	ChiSq	exp(계수)-1
수평 배치 (reference 수직 배치=0)	0.0525	0.0040	<.0001		0.054
코로나19 기간 (reference 코로나 전=0)	0.2084	0.0036	<.0001		0.232
유럽 선사 (reference 아시아 선사=0)	-0.0114	0.0037	0.0019		-0.011
log(선박당 작업량)	-0.4999	0.0020	<.0001		0.607
상수	3.2223	0.0140	<.0001		

주 : LogLik(model)=1013.5, LogLik(intercept only)=-11756.13, LR test statistic (df =4), p=0

이 결과는 <표 5>의 분석변수의 요약 통계량에 나타난 부두별 시간당 작업량(VAN/hour)의 통계량(2부두 74.5, 5부두=61.3으로 2부두의 C/C의 생산성이 높게 나타났음)과는 상반된 결과를 보이고 있다. 이 결과는 가정에서도 적용한 바와 같이, 선석 길이당 C/C의 비율인 보정 계수를 터미널별로 적용한 결과 임에 유의할 필요가 있다. 선석 길이당 C/C 수는 현재 수평 배치형 부두가 많이 보유하고 있기 때문에, 투입되는 크레인의 수가 '동일하다'는 가정을 설정하였고, 이러한 가정 하에서 '1 VAN 당 소요시간'기준의 수직 배치형 컨테이너 터미널의 생산성은 2부두에 비해 5부두가 높은 것을 알 수 있다. 5부두에는 투입된 C/C는 2부두에 비해 최근에 도입된 장비라는 점은 이러한 생산성이 높게 나타난 이유 중에 하나로 생각해 볼 수 있다.

Binary 변수로 설정(코로나 이전 기간은 0, 코로나 기간은 1로 설정)한 코로나19 변수는 '1 VAN 당 소요시간'과 양의 관계를 보이고 있으며, 코로나19 기간 평균 '1 VAN 당 소요시간'은 비코로나 기간에 비해 23.2%²²⁾ 증가한 것으로 나타났다. 이는 코로나19로 인한 항만정체 현상이 지속되면서 부산 신항에도 컨테이너 적재량이 증가하였고, 컨테이너 야드의 운영 및 재배치에 작업시간이 증가하면서, 이와 연결된 C/C의 작업시간도 증가하여 위와 같은 결과가 나타난 것으로 보여진다. 즉, 본선작업의 생산성 저하가 아닌, 컨테이너 야드의 복잡성으로 C/C의 의도적 작업 지연 및 작업 시간 조절이 일어난 것으로 분석된다. 항만 전체의 생산성은 전체가 원활하게 운영될 때 효율성 및 생산성이 최적화 될 수 있다는 점을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

그림 6. 재항시간 AFT 모형 추정 결과 (odds ratio, 분석 기간: 2018-2022)



22) $\exp(0.2084) - 1 * 100\%$

선사가 소속된 지역 변수를 설명하기 앞서, 선박당 작업량은 종속변수인 '1 VAN 당 소요시간'을 살펴보면, 작업량이 많은 선박의 경우 본선작업 시간이 감소함을 의미하는 음(-)의 관계를 보이고 있다. 이는 본선작업 시간에 접안 준비 시간 및 하역을 위한 크레인 이동시간, 하역 작업 후 출항 준비 시간도 본선 시간에 포함되어 있어 작업량이 많은 경우 준비시간의 비중이 줄어들기 때문으로 추정된다. 또한, 선박이 접안되어 본선작업이 시작되면, 기계적/반복적으로 작업이 이루어지기 때문에 작업량이 많은 경우, 작업량이 적은 경우에 비해 작업의 생산성은 좋아지는 것으로 나타났다.

마지막으로 선사가 소속된 지역 변수의 계수는 -0.0114로, 아시아 선사에 비해 유럽 선사 소속 선박에 대한 본선작업인 경우의 '1 VAN 당 소요시간'이 1.13%²³⁾ 더 짧게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 일반적으로 유럽 선사의 선박들이 아시아 선사의 선박들보다 선박의 크기가 크기 때문에 앞서 설명한 '작업량'이 많은 경우 본선작업에서 이루어지는 '1 VAN 당 소요시간'이 짧은 것과 같은 맥락으로 설명될 수 있다.

IV. 결론

선사는 본선작업 시간 단축으로 선박의 회전율을 높이고자 하며, 화물운송의 정시성을 고려한다는 점에서 터미널 생산성은 항만에서도 중요한 부분이다 (한철환, 2003; 최용석 외, 2007). 또한, 4차 산업혁명 시대 도래로 항만의 스마트화가 진행되면서 자동화 항만에 수직 배치형 컨테이너 터미널이 적용되고 향후에도 제안되고 있다.

이러한 배경에서 본 연구는 기존의 수평 배치 형태의 컨테이너 터미널과 수직 배치형태의 컨테이너

터미널의 본선작업 시간 관점에서 생산성을 비교 분석을 통해 향후 수직 배치형태 컨테이너 터미널의 효율성 증대를 위한 방안을 제안하고자 하였다.

본 연구는 각각의 수평과 수직 배치형 컨테이너 터미널에서 이루어진 본선작업에서 C/C의 시간을 분석 대상으로 고려하였다. 앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 본선 작업시간(1 VAN 당 소요시간)을 중심으로 비교 분석을 실시하고, 연구의 공간적 범위는 2부두(수평 배치형)와 5부두(수직 배치형) 본선작업 공간으로 설정하였다. 시간적 범위 최근 4년(2018년부터 2022년)간 데이터를 활용하였으며, 각 터미널 운영사의 정보조회 서비스에서 제공하는 선석배정현황 데이터를 활용하여 Apron 구역에서 발생하는 선적/하역 작업 및 C/C의 생산성 및 효율성을 비교 분석하였다. '기간(duration)'을 분석하는 survival analysis 방법 중 AFT 모델을 활용하여 본선작업시간에 영향을 주는 여러 요인들을 살펴보고, 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 2부두와 5부두 간 본선작업의 생산성을 비교한 결과, 투입되는 C/C의 차이를 보정하기 전에는 2부두의 생산성이 우수하였지만, 보정 계수를 적용한 결과는 이와 반대로 나타났다. 즉, 같은 조건(C/C대수 및 C/C 작업 숙련도 등)인 경우, 수평 배치형태 컨테이너 터미널에 비해 수직 배치형의 본선작업 생산성이 높게 나타나는 연구 결과를 확인할 수 있었다.

둘째, 5부두의 적하화물의 비율이 높게 나타났으며, shifting 작업량 역시 증가하고 있음이 확인되었다. 또한 유럽 선사의 접안 비율은 2부두가 더 높게 나타났으며, 유럽 선사의 접안 비율이 매년 증가하고 있음을 확인하였다.

셋째, 코로나19로 인한 항만 적체 현상은 C/C의 생산성에도 영향을 주었다. 컨테이너 야드에 적재 화물 증가로 이와 관련된 컨테이너 야드와 운송구간에서의 작업시간이 증가와 연관되어 있다. 이는 본선작업의 생산성 저하가 아닌, 컨테이너 야드의 복잡성으

23) $\exp(-0.0114) - 1 * 100\%$

로 C/C의 의도적 작업 지연 및 작업 시간 조절이 일어난 것으로 분석된다.

넷째, 작업량이 많은 선박의 경우 본선작업 시간이 감소하는 걸 알 수 있다. 대형 선박이나 화물이 많은 경우 하역의 규모의 경제성 측면에서 설명될 수 있다. 분석에 활용된 데이터에는 본선작업에 소요되는 준비시간 등이 포함되어 있는 영향도 있다. 이와 같은 맥락으로 일반적으로 선박의 크기가 큰 유럽 선사 소속 선박에 대한 본선작업인 경우의 '1 VAN 당 소요시간'이 더 짧게 나는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 분석 결과를 바탕으로 수직 형태 컨테이너 터미널의 생산성과 효율성을 높이기 위한 방안으로 다음이 제시된다.

먼저 일반적인 제언으로, 항만 내 원활한 물류 흐름이 유지되도록 설계되고 관리되어야 한다는 점이다. AFT 모델을 활용한 분석 결과에서도 확인한 바와 같이, 코로나19 기간 동안 본선작업의 생산성은 감소함을 알 수 있었고, 이는 야드 및 야적장 내 컨테이너 적체로 항만 전체적인 물류 흐름이 원활하게 이루어지지 못하게 되었기 때문이다. 따라서 수직 배치형 컨테이너 터미널에 효율적인 시스템 도입은 물론, 항만 내에서도 단절 없는(seamless) 물류의 흐름이 이어질 수 있는 시스템 및 체계(예를 들어, 컨테이너 적체 예측 시스템, 강풍이나 기상조건 등이 반영된 항만 위험 사전 경보 시스템)가 적용으로 항만 내에서의 물류 흐름이 보다 안정적이고 원활하게 이루어질 수 있다. 또한, 수직 배치형 컨테이너 터미널에 다양한 시스템들이 도입되는 경우, 컨테이너의 50% 이상이 환적 화물로 처리되고 있는 부산항의 특성이 고려되어야 할 것이다.

둘째, 터미널 운영 관점에서, 수직 배치형 컨테이너 터미널의 생산성과 효율성을 높이기 위해 글로벌 해운 선사들의 전략 및 운항루트 분석과 같은 활동도 요구된다. 본 연구에서 제시한 결과 중, 유럽 선사들 소속의 선박에 대한 본선작업 시간이 아시아 선사들의 선박에 비해 짧다는 점과 수직 배치형 컨

테이너 터미널에 접안하는 유럽 선사의 선박들이 비중이 증가하고 있다는 점이 시사하는 바는 적지 않다. 근본적으로 본선작업의 생산성은 선사들이 해당 터미널에 지속적으로 기항함을 전제로 하고 있다. 따라서, 글로벌 선사들의 동향 분석과 전략, 해운 얼라이언스 재편과 같은 다양한 요인들을 터미널 운영에 고려하고 선사 유치나 포트 세일즈와 연계될 수 있도록 해야 할 것이다. 특히, 대형 선박일수록 본선작업 생산성이 증가하는 결과를 통해, 향후 수직 배치형 컨테이너 터미널에 대형 선박들을 유치하는 노력도 필요할 것이다.

이 외에도, 서론에서 언급된 바와 같이, 수직 배치형 컨테이너 터미널은 항만 자동화와 무인화 기술의 적용도가 높으므로 사이버테러에 대한 대비와 유사 상황을 가정된 사전 대응 매뉴얼 준비 및 훈련도 이루어져야 하겠다.

본 연구는 본선 작업 시간만을 비교 분석한 부분으로, 야드 및 장치장에서의 운영효율성과 전체 투입 비용이 고려된 경제성에 대한 비교 분석이 이루어지지 않았다. 실제로 수직 컨테이너 터미널에 투입된 C/C이 최근에 도입되었고, 적용되는 운영 시스템도 최근 시스템이라는 효과도 작용했을 것으로 추측되지만, 본 연구에서는 이러한 효과까지는 고려되지 못했다. 운항 노선과 선사와 터미널 운영사들과의 관계 등은 고려되지 못했으며, 본선에서 이루어진 작업만을 기준으로 살펴보았으나, 본선에 적합 또는 양하를 위해서는 항만에서 하역 프로세스 상에서 야드 트랙터나 야드에 배치된 여러 장비들이 뒷받침되어야 본선에 원활한 적하와 양하 작업이 이루어진다는 점에서, 이러한 지원시설이 원활하게 작업해주는 여부 역시 본선시간에 영향이 고려되지 못한 연구의 한계점을 지니고 있다.

참고문헌

- 김종길·성기우. (2015), "다변량 모형을 이용한 보증데이터 분석 방법 연구." 대한안전경영과학회지 제17집 제2호, 241-247.
- 김지은·박기역·박태진·류광렬(2009), 제한된 유휴시간을 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 재정돈 컨테이너 선택 방안, 한국항해항만학회지, 제33집, 제10호, 715-722.
- 김환성·김영호(2006), 선박작업 생산성 향상을 위한 갠트리 크레인의 고장분석 및 예방보전 주기 결정에 관한 연구. 한국항해항만학회 학술대회논문집, 제1집, 339-344.
- 류동하·안기명·황성구(2014), TDABC 에 의한 부산항 컨테이너 터미널 원가분석과유용성에 관한 연구, 한국항만경제학회지, 제30집 제3호, 89-120.
- 배종욱·박영만(2011), 수직 배치형 컨테이너 터미널 반입작업에서 수출 컨테이너의 작업순서와 장치위치 통합 의사결정, 한국항해항만학회지, 제35집 제8호, 657-665.
- 배종욱·박영만(2020). 자동화 컨테이너 터미널의 베이간 컨테이너 재배치작업 계획. 한국항만경제학회, 제44집 제3호, 219-226.
- 배종욱·박영만·김갑환(2006), 자동화 컨테이너 터미널에서 수직형 블록의 이적작업을 위한 할당 및 작업순서, 한국항해항만학회지, 제30집 제6호, 459-466.
- 배종욱·박영만·김갑환(2008), 시간가치를 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 수출 컨테이너 이적계획. 한국경영과학회지, 제33집 제2호, 75-86.
- 손정기(1998). C/C의 생산성 향상에 관한 연구. Journal of Port and Harbor Research, 9, 79-84.
- 송상화(2022), 'Lecture' 스마트항만: 수평형 vs 수직형 터미널 레이아웃', INU Global Logistics Review.
- 신강원·정장표(2010), 생존분석모형을 이용한 선박의 재항시간 및 온실가스 배출량 분석, 대한토목학회 논문집 D, 제30집 제4호, 323-330.
- 윤동하·최용석(2011), 광양항 컨테이너 터미널의 장비 작업 계획 우선순위 분석. 한국항만경제학회지, 27(1), 75-94.
- 윤신휘·하병현(2012), 선박 물류 프로세스의 실시간 서비스 완료시간 예측에 대한 연구. 한국전자거래학회지, 17(2), 149-163.
- 이민규(2012), 항만 서비스 혁신 관점에서의 선박 재항 시간의 결정요인 분석, 한국혁신학회지, 제7집 제1호, 51-69.
- 이민규·김근섭(2010), 베이지안 혼합 정규 분포를 이용한 선박 재항시간 분포의 추정, 해양정책연구, 제25집 제2호, 25-49.
- 이상완·최형림·박남규·박병주·권해경·유동호(2002), 자동화 컨테이너 터미널에서 운송장비의 효율적인 운영방안, 한국항해항만학회 학술대회논문집, 제3집, 63-70.
- 이연경·이수영(2019), 4차 산업혁명시대 국내 스마트항만 수준 측정과 비교분석, 해운물류연구, 제35집 제2호, 323-348.
- 장재환·이정윤(2020), 수직형 자동화 컨테이너 터미널 운영 효율성 제고를 위한 인터체인지 이송 모델 도입 방안 연구. 한국항만경제학회, 제44집 제3호, 181-186.
- 전수민·김갑환(2008), 컨테이너 터미널에서의 하역생산성 추정에 관한 연구, 지능정보연구, 제14집 제3호, 77-86.
- 정연식·송상규·최기주(2007), AFT 생존분석 기법을 이용한 고속도로 교통사고 지속시간 예측모형, 대한교통학회지, 제25집 제5호, 135-148.
- 최상희·하태영(2006), 컨테이너 터미널의 야드배치 형태별 생산성 분석에 관한 연구, 해양정책연구, 제21집 제1호, 151-183.
- 최용석·양창호·최상희·원승환(2007), 고효율 C/C의 개념 모델 및 적용효과 분석. 해양정책연구, 제22집 제2호, 123-158.
- 한국해양수산개발원(2017a), '부산항 신항 혼합형 전용터미널 (Hybrid liner terminal) 시스템 도입방안 연구', 연구보고서.
- 한국해양수산개발원(2017b), '저탄소 자동화 컨테이너 터미널 2단계 기획연구 보고서'.
- 한국해양수산개발원(2022), '세계 컨테이너 항만 서비스 지표'.
- 한철환(2003). 선사의 입장에서 본 유럽 컨테이너 터미널 경쟁력 비교. 월간 해양수산, 제230집, 6-17.
- Gupta et al. (2017), Optimal stack layout in a sea container terminal with automated lifting vehicles, International Journal of Production Research, Vol 55, No. 13, 3747-3765.
- Lemeshow, S., May, S., & Hosmer Jr, D. W. (2011). Applied survival analysis: regression modeling of time-to-event data, John Wiley & Sons.
- Research and Markets (2022), Global Smart Ports Market by Technology (IoT, Blockchain, Process Automation, Artificial Intelligence), Elements (Terminal Automation, PCS, Smart Port

Infrastructure), Throughput Capacity, Port Type, and Region - Forecast to 2027. August 2022. Available at

<https://www.researchandmarkets.com/reports/5349698/global-smart-ports-market-by-technology-iot#product-tags>.

UNCTAD(2022), Review of Maritime Transport, Available at https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022_en.pdf

컨테이너 터미널 배치와 본선작업 생산성에 대한 연구

신성호 · 김연국

국문요약

스마트 항만 및 항만 자동화에 수직 배치형 컨테이너 터미널을 적용하여 운영하는 사례가 늘고 있다. 본 연구는 수평 배치형과 수직 배치형 컨테이너 터미널에서의 본선작업 시간을 분석함으로써 각 터미널간 생산성을 비교하고, 향후 수직 배치형 컨테이너 터미널의 운영 효율성 증대 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 각각을 대표하는 터미널을 선정하여, 2018년부터 2022년까지 최근 5년 선석배정현황 데이터를 수집하였으며, 모수적 생존분석 기법인 가속실패시간모형(Accelerated Failure Time, AFT)을 활용하여 분석을 실시하였다.

C/C 작업 조건이 '동일하다'는 가정 하에서, 수직 배치형 컨테이너 터미널에서의 본선 작업 생산성이 보다 좋은 것으로 나타났으며, 코로나19 기간에는 생산성이 감소한 결과를 나타냈다. 작업량이 많은 선박의 경우와 유럽 선사의 선박의 경우, 본선작업 시간이 감소하는 걸 알 수 있다. 적정 C/C의 투입 및 효율적 운영, 장비들 간 원활한 운영, shifting 작업은 증가, C/C를 포함한 하역 장비들의 준비시간 감소 및 고장/사고 최소화 등 수직 형태 컨테이너 터미널의 생산성을 높이기 위한 방안을 제시하였다.

주제어: 컨테이너 터미널, 수직 배치형, 본선 작업, 생존분석, 가속실패시간