

항만 하역작업 완료시간 예측을 위한 영향 요인 분석

신지현, 조성현, 김지연, 김기환, 강영진, 정석찬*

동의대학교 인공지능학과

동의대학교 인공지능그랜드ICT연구센터

*동의대학교 e비즈니스학과, 인공지능그랜드ICT연구센터

20256384@office.deu.ac.kr, *scjeong@deu.ac.kr

An Analysis of Influencing Factors for Predicting Port Cargo Handling Completion Time

Ji-Hyeon Shin, Seong-Hyeon Jo, Ji-Yeon Kim,
Ki-Hwan Kim, Young-Jin Kang,
Seok Chan Jeong*

Dept. of Artificial Intelligence, Dong-Eui University

AI Grand ICT Research Center, Dong-Eui University

*Dept. of e-Business, AI Grand ICT Research Center, Dong-Eui
University

요 약

해양산업의 스마트화가 강조되고 각국이 항만 경쟁력 강화를 위해 노력하는 가운데, 우리나라 항만 또한 운영 효율성을 높이기 위해 핵심 단계인 하역 작업에 대한 이해가 필요하다. 이에 본 연구는 실제 항만 데이터를 활용하여 선박 하역작업에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 한다. 분석 결과, 총 물동량과 하역 준비 시간 간 관계는 미미하여 준비 단계의 안정성이 시사되지만 총 물동량과 하역 시작부터 출항 시간까지의 소요시간 간 관계는 매우 높아, 하역 단계에서의 물동량 관리가 실제 출항 일정과 항만 운영 효율성에 직결되는 핵심 요소임을 확인하였다. 향후 연구에서는 지연 시간 예측 모델을 구축하고, 지연 발생의 핵심 요인을 체계적으로 탐색하고자 한다.

I. 서 론

코로나19 이후 디지털 전환이 가속화되면서 대부분의 산업들이 4차 산업혁명 기술을 적용해 스마트화로 진화하고 있다. 항만 분야 또한 스마트 항만이라는 새로운 비즈니스모델로 진화하였다[1].

한편, 우리나라 수출입물동량이 99.7%일 정도로 항만 물류의 비중이 높음에도 불구하고 싱가포르, 네덜란드, 중국의 선진국에 비해 스마트 항만 기술 수준이 뒤처져있다는 지적이 제기된다[2]. 특히, 중국의 항만이 급속도로 발전되면서 국내 처리 물동량의 일부가 중국 항만으로 이전되는 등 항만물류 경쟁력 저하가 우려되고 있다[3].

이러한 상황에서 각국은 항만의 대규모 화물 처리능력을 국가경쟁력이라고 인식하고 강화하고 있으며[3], 우리나라 역시 이러한 스마트화·디지털화의 경쟁력 강화에 대해 전문가들 전원이 동의한다는 조사 결과가 보고되었다[4]. 스마트항만 구축 효과를 극대화하기 위해 항만 운영 핵심 시스템을 먼저 파악할 필요가 있다. 항만 종사자 약 140명을 대상으로 선박 입출항시스템, 선박접안시스템, 보관 및 하역시스템, 내륙연계시스템, 항만물류정보시스템 등으로 중요도를 조사한 선행연구에 따르면 보관 및 하역시스템과 항만물류정보시스템이 가장 중요한 요소로 평가되었다[3]. 이 가운데 하역 작업은 전체 물류 흐름과 선박 출항 일정에 직결되는 핵심 시스템으로, 선박 도착 시간 변동, 장비 가용성, 작업자 배치, 기상 조건과

같은 다수의 불확실성 때문에 예측 정확도 향상을 위한 심층적 연구가 필요하다.

이에 본 연구는 하역 작업에 영향을 미치는 요인을 체계적으로 분석하고, 이를 바탕으로 하역 완료 시간 예측의 정확도를 높이는 핵심 데이터를 식별하는 것을 목표로 한다.

II. 본론

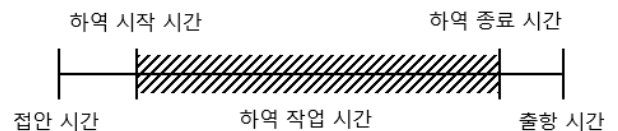


그림 1. 선박 운항의 시간적 흐름

현재 보유한 데이터는 터미널 코드(TERMINAL_CODE), 터미널 연도(TERMINAL_SHIP_YEAR), 선박 항차번호(TERMINAL_SHIP_VOYAGE_NO), 터미널 선박명(TERMINAL_SHIP_NAME), 선사 코드(SHIPPING_CODESS), 선석 코드(BERTH_CODE), 하역 실제 시작 시간(COMMENCE_TIME), 실제 접안 시간(ATB), 출항 예정 시간(ETD), 총 양하

수량(DISCHARGE_TOTAL), 총 적하 수량(LOADING_TOTAL) 등으로 구성되어 있다. 하역 예정 시간을 보다 정확하게 예측하기 위해서는 그림1에서 제시한 바와 같이 집안 시간, 하역 시작 시간, 하역 종료 시간, 출항 시간의 선박 주요 운항 이벤트가 포함된 데이터가 필요하다. 그러나 현재 보유 데이터에는 핵심 지표인 하역 종료 시간이 누락되어 있어, 하역 완료 시점을 직접적으로 예측·검증하는 데 제약이 존재한다.

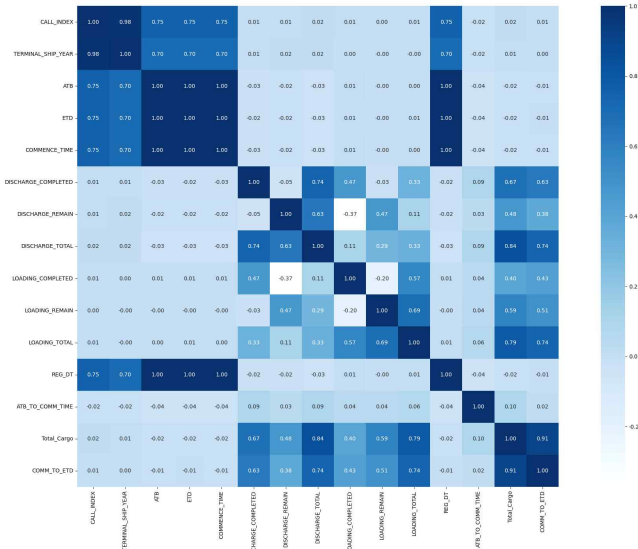


그림 2. 히트맵을 이용한 선박 데이터 상관관계 분석

이러한 제약을 감안하여 본 연구는 전체 데이터를 대상으로 상관분석을 수행하고 주요 결과를 그림2에 제시하였다. 분석 결과, 하역 시작 시간(COMMENCE_TIME) 간 출항 시간(ETD)과 집안 시간(ATB)은 공통적인 시간 흐름의 영향으로 상관 계수가 매우 높게 나타났으며, 실제 운영 과정에서 지연이 발생하더라도 하역 및 출항 일정에 대한 추가적인 제약이 따르지 않음을 시사한다. 따라서 현 운영체제는 이에 대한 보완책이 마련되어 있지 않으므로 지연이 발생할 가능성을 사전에 인지하고 관리하기 어렵다. 또한, 작업 중단과 불필요한 대기가 발생할 수 있다. 이 문제를 해결하고 운영 효율성을 제고하기 위해 하역 완료 시간을 정확히 예측하는 모델 개발의 중요성이 강조된다.

먼저, 예측 모델 구축에 앞서, 총 물동량이 하역 관련 일정에 미치는 영향을 두 가지 측면에서 점검하였다. 하역 준비 시간을 확인하기 위해 실제 집안 시간(ATB)과 하역 시작 시간(COMMENCE_TIME)의 차이를 ATB_TO_COMM_TIME으로 정의하였으며, 하역 시작부터 출항 시간까지의 총 소요 시간을 살펴보기 위해 하역 시작 시간과 출항 시간의 차이를 COMM_TO_ETD로 정의하였다. 이때 총 물동량 변수는 $Total_Cargo = DISCHARGE_TOTAL + LOADING_TOTAL$ 로 설정하였다.

첫째, $Total_Cargo-ATB_TO_COMM_TIME$ 의 상관계수는 0.10으로 매우 약했다. 이는 하역 준비 단계가 물동량의 규모와 관계없이 무관하게 비교적 표준화된 절차와 자원 배치에 따라 진행될 가능성을 시사한다.

둘째, $Total_Cargo-COMM_TO_ETD$ 의 상관계수는 0.91로 매우 높았다. 즉, 선박의 총 물동량이 증가할수록 하역 시작 이후 출항까지의 총 소요시간이 유의하게 길어지는 경향이 확인되었다. 다만, COMM_TO_ETD에는 하역 작업 과정도 포함되어 있으므로, 이 점을 함께 고려할 필요가 있다.

요약하면, 하역 준비 단계에서는 물동량의 영향이 미미하지만, 하역 개시 이후 출항까지의 구간에서는 물동량이 결정적 요인으로 작용하는 양상

이 뚜렷하다는 것을 알 수 있다.

III. 결론

본 연구는 하역 작업에 영향을 미치는 요인을 체계적으로 분석하고, 하역 완료 시간 예측의 정확도를 높이는 핵심 데이터를 식별하는 것을 목표로 한다. 이는 하역 종료 시간이 부재한 상황에서 보유 변수를 활용하여 하역 관련 일정의 특성을 단계별로 분석하였다. 그 결과, 총 물동량과 하역 준비 시간(ATB_TO_COMM_TIME) 간 상관계수는 0.10으로 관계성이 미약하게 나타나, 물동량의 규모와 무관하게 준비 단계가 안정적으로 운영되고 있다고 시사하며 이는 표준화된 절차가 적용되고 있다는 점을 의미한다. 반면, 총 물동량과 하역 시작부터 출항 시간까지의 소요시간(COMM_TO_ETD) 간 상관계수는 0.91로 매우 높게 나타나, 하역 단계에서의 물동량 관리가 실제 출항 일정과 항만 운영 효율성에 직결되는 핵심 요소임을 확인하였다. 따라서 항만 운영 효율성 제고를 위해 물동량 중심의 전략적 활용이 필요함을 시사한다. 특히, 하역 종료 시간이 확보되지 않은 상황에서 주어진 데이터를 활용하여 지연 발생 가능성을 추정할 수 있음을 보여주었다.

향후 연구는 우선, 실제 지연 시간에 대한 데이터가 존재하지 않아 집안 시간과 출항 시간의 차이를 활용하여 총 작업시간이라는 새로운 변수를 도출하고, 해당 값이 평균 이상인 경우를 지연이 발생한 선박으로 가정할 계획이다. 이어서 항만 혼잡도 관련 변수를 시계열 데이터 분석에 활용하여 요일·일자·시간대별로 혼잡 시점과 패턴을 파악하고 지연 시간 예측 모델의 자료로 활용할 수 있다. 또한, 풍속, 강수량, 파고, 태풍 여부 등의 기후 조건 변수를 활용하여 다중 회귀 분석을 수행함으로써 기상 요인이 지연 시간에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고 예측 정확도를 제고한다. 나아가, 물동량, 혼잡도, 기상 조건 등을 포함하여 지연 시간 예측 모델을 구축하고, 모델 정확도를 검증함으로써 하역 관련 일정에도 활용할 수 있다. 이를 통해 지연 발생에 영향을 주는 다양한 요인을 확인하고, 항만 운영 효율성 향상을 위한 근거를 제시하며, 지연 발생의 핵심 요인을 체계적으로 규명할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신산업진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(S2201-24-1003, 부산 혁신거점 인공지능 데이터 융합과제).

참 고 문 헌

- [1] 류원형, 남형식, “국내 스마트 항만 도입 우선순위 도출 연구,” 한국항만경제학회지, 40(1), pp. 31–59, 2024, 10.38121/kpea.2024.3.40.1.31
- [2] 박병주, “디지털전환을 통한 항만물류 경쟁력 강화와 항만물류 스타트업 육성 필요성,” 경남발전 .pp. 48–59, 2024.
- [3] 여기태, 정현재, 김재영, “항만물류 구성요소의 평가에 관한 연구. 한국항만경제학회지,” 27(3), pp. 273–288, 2011.
- [4] 이언경, 이수영, “4차 산업혁명시대 국내 스마트항만 수준 측정과 비교 분석,” 해운물류연구, 35(2), pp. 323–348, 2019.