「정보시스템연구」 제33권 제2호
한국정보시스템학회
2024년 6월, pp. 125～142

http://dx.doi.org/10.5859/KAIS.2024.33.2.125

항만 컨테이너 터미널 반출입 혼잡 영향 요소 분석을 통한 반출입 혼잡도 예측 모델 아키텍처 개념 설계*

김푸름** · 박승진*** · 정석찬****

〈목 차〉

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 연구 배경
2.1 화물 반출입 프로세스
2.2 외부트럭 반출입 현황
Ⅲ. 선행 연구 분석
3.1 차량반출입예약시스템
3.2 외부트럭 도착 패턴
3.3 외부트럭 대기시간 예측
3.4 선행 연구와의 차별성
Ⅳ. 연구 범위 및 방법
Ⅴ. 반출입 혼잡 영향 변수 분석
5.1 분석 데이터 정의
5.2 데이터 분석 결과 해석
5.3 영향 요소 정의
Ⅵ. 반출입 혼잡도 예측 모델 설계
6.1 예측 모델 아키텍처 정의
6.2 활용 데이터 셋
6.3 적용 모형 탐색
Ⅶ. 결 론
참고문헌
<Abstract>

Ⅰ. 서 론

지리적으로 국토 3면이 모두 바다와 맞닿아 있는 우리나라 특성상 해로(海路)를 통한 산업 활동은 국가 주요 산업 활동 중 하나이다. 특히 우리나라는 국내총생산(GDP, Gross Domestic Product) 대비 수출입 비중이 높은 대외지향적 경제 체제를 유지하고 있으므로 수출입, 즉 무역 활동은 국가 경제 체제에 영향을 미칠 수 있는 요소다. 무역 활동은 운송 수단에 따라 크게 항공 무역과 해상 무역으로 구분된다. 전 세계적으로 운송량 대비 비교적 운임이 높은 항공 무역보다 대량 운송이 가능하고 비교적 운임이 낮은 해상 무역이 더 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 해상 무역의 통로인

* 이 논문은 2024년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (202205382, 수출입 물류 항만-내륙연계 기술개발).
** 동의대학교 대학원 인공지능학과 석사과정, 엔지엘주식회사 연구소장, prkim@nglp.kr(주저자)
*** 엔지엘주식회사 연구원, sjpark@nglp.kr
**** 동의대학교 교수, 인공지능그랜드ICT연구센터 센터장, scjeong@deu.ac.kr(교신저자)

해로와 관련한 산업의 활성화는 국가 경제 체제에 영향을 미칠 가능성이 존재한다.

해로와 관련한 산업 활동은 주로 항만 컨테이너 터미널을 중심으로 발생한다. 항만 컨테이너 터미널의 효율 증진은 곧 전체 산업의 효율 증진으로 연계될 수 있는 것이다. 정부를 비롯한 산업 종사자들은 이러한 점에 대하여 충분히 공감하고 있으며 항만 컨테이너 터미널을 중심으로 전체 산업의 효율성과 생산성을 강화하기 위하여 다양한 기술개발 및 정책을 도입하고 있다. 구체적으로, 항만 컨테이너 터미널과 연계하여 발생한 산업계의 애로사항을 해결하고자 하고 있으며 이를 위한 기술개발이 진행되고 있다.

직관적으로 항만 컨테이너 터미널의 효율성 및 생산성과 관련 있는 주요 영향 변수는 내부에서 처리되는 작업량이다. 즉, 선박이 양하(화물을 선박에서 내리는 작업)하거나 적하(화물을 선박에 싣는 작업)하는 물량과 항만 컨테이너 터미널 바깥 내륙으로부터 반입 또는 반출되는 운송량의 적절한 처리가 중요하다.

본 연구는 항만 컨테이너 터미널 바깥 내륙으로부터 반입 또는 반출되는 운송량에 초점을 맞추고 이를 효율적으로 처리하는 방안을 제시하고자 한다. 구체적으로 반출입 운송에 영향을 미치는 영향 변수를 분석하고 이를 활용하여 인사이트를 도출하는 모델에 대한 개념적 설계를 포함한다.

Ⅱ. 연구 배경

연구에 앞서, 논리적 이해를 돕기 위하여 관련 산업에 대한 전반적인 프로세스와 현황에 대하여 분석하고자 한다. 후술하고자 하는 내용은 항만 컨테이너 터미널에서 화물을 반출입하는 과정에 대한 흐름의 이해와 반출입 현황 및 문제점과 관련한 내용을 포함한다.

본 연구에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

외부트럭이란 실질적으로 화물을 운송하는 차량을 의미한다. 항만 컨테이너 터미널 내부에서 작업을 위하여 사용하는 내부 트럭(차량)이 별도로 존재하기 때문에 본 연구에서는 이와 구분하기 위하여 외부트럭으로 명명하여 사용한다.

반입(Receiving)은 화주 또는 수탁인의 컨테이너가 외부트럭에 적재되어 항만 컨테이너 터미널에 도착하는 것을 의미한다. 반대로 반출(Delivery)이란 선박을 통하여 항만 컨테이너 터미널에 도착한 컨테이너를 외부트럭에 적재하여 내륙으로 운송하는 것을 의미한다(장동원, 2015). 즉, 반출입은 넓은 의미에서 화물의 이동과 더불어 화물을 이동하기 위하여 외부트럭이 항만 컨테이너 터미널로 이동하는 행위를 포함한다.

마지막으로 컨테이너는 화물을 운반하는 상자의 개념으로 컨테이너라는 용어는 모두 화물을 의미한다.

2.1 화물 반출입 프로세스

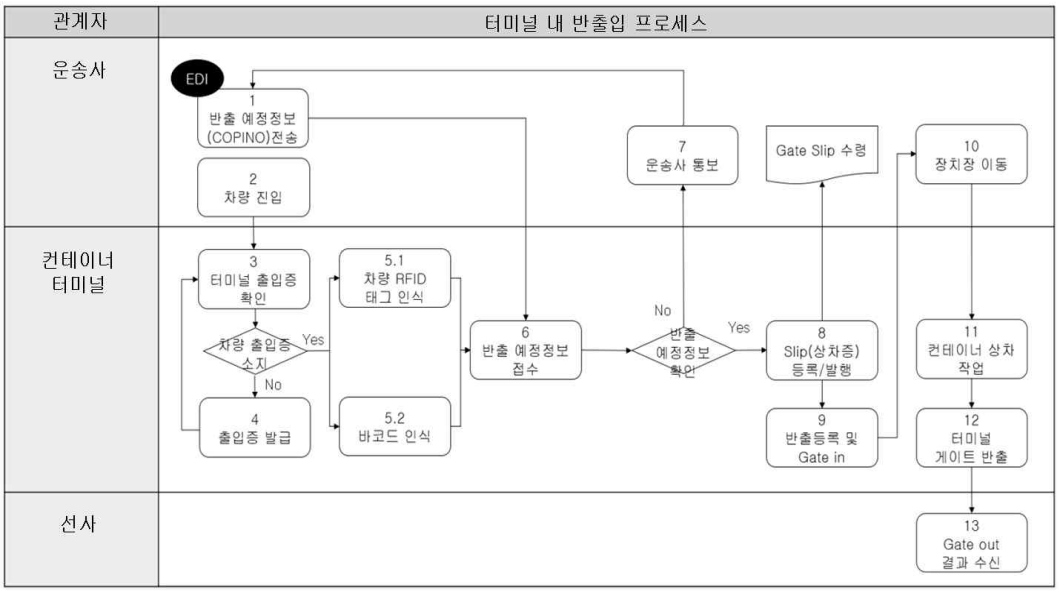
김지현 등(2015)은 항만 컨테이너 터미널의 반출입 작업을 컨테이너가 외부트럭으로 운반되어 야드로 들어오는 반입 작업과 외부트럭을 이용하여 항만 컨테이너 터미널 게이트를 통해

나가는 반출 작업으로 분류하였다. 이에 의하면, 반입 컨테이너는 선박의 입항 시간(선박이 항만 컨테이너 터미널로 들어와 특정 장소에 정박하는 시간)에 맞추어 항만 컨테이너 터미널로 들어오고, 반출 컨테이너는 선박의 출항 시간(선박이 항만 컨테이너 터미널을 떠나는 시간) 이후에 항만 컨테이너 터미널을 나간다고 정의하였다.

장동원(2015)은 반출입 프로세스 중 반출 작업에 대하여 <그림 1>과 같이 수행 프로세스를 정리하였는데, 반입 작업도 이와 유사하게 정의될 수 있다.

<그림 1>과 연계하여 양현석(2022)은 화물의 반출입을 위해서 먼저 외부트럭이 출발하기 전 운송사에서 항만 컨테이너 터미널로 사전반출입정보(COPINO, Container Pre-information Notice)를 전송하여야 한다고 정의하였다. 이는 외부트럭이 항만 컨테이너 터미널에 특정 화물을 반입 또는 반출하겠다고 사전에 공유하는 정보를 의미한다. 항만 컨테이너 터미널은 동 정보를 기준으로 해당하는 컨테이너를 미리 전처리할 수 있다. 외부트럭은 항만 컨테이너 터미널에 도착하면 Slip(상차증)을 발행받아 상차(컨테이너를 외부트럭에 싣는 것) 혹은 하차(컨테이너를 외부트럭에서 내리는 것) 작업을 수행하며 이후 추가 작업이 없을 시 항만 컨테이너 터미널에서 진출하게 된다.

이러한 반출입 작업이 진행되고 나면 항만 컨테이너 터미널 내부에는 선박에서 양적하한 물량과 외부트럭이 반출입을 통해 상하차한 운송량이 함께 적재되어 존재하게 된다(김재헌 등, 2019). 항만 컨테이너 터미널이 수용할 수 있는 작업량은 한정되어 있으므로 이러한 물량과 운송량이 적재되면 적재될수록 작업 속도 및 효율에 영향을 미칠 수 있다.



<그림 1> 항만 컨테이너 터미널 반출 작업(양현석, 2022)

2.2 외부트럭 반출입 현황

항만 컨테이너 터미널 내부 혹은 게이트에서 외부트럭의 반출입 작업 대기시간은 평균 1시간, 혼잡할 경우 2~3시간 이상 나타난다(김영일 등, 2022). 일부 터미널의 경우 특정 시간에 작업 물량이 집중되는 현상이 발생하게 되며 이는 자연스럽게 항만 컨테이너 터미널 내부 혼잡과 게이트 밖 외부 혼잡을 초래한다. 이러한 상황이 발생하는 기저에는 선박의 입출항 스케줄에 따라 외부트럭의 반출입 운송량이 편중되는 경향도 있겠지만 항만 컨테이너 터미널의 작업 예측 어려움, 외부트럭 운송기사의 효율적인 의사결정 부재 등 보다 복합적인 요인이 작용한다.

운송사가 외부트럭의 운송 시작 전에 항만 컨테이너 터미널로 전달하는 사전반출입정보에는 컨테이너의 정보와 더불어 차량번호, 운송기사 이름 등 외부트럭에 대한 기본 정보, 그리고 해당 외부트럭의 반출입 예정 일시가 포함되어 있다. 이론적으로는 해당 반출입 예정 일시가 실제 반출입 일시와 동일해야 하지만 통상 24시간 전부터 전달되는 사전반출입정보 특성상 미래 시점의 외부트럭의 이동 일정과 운송기사의 스케줄 등을 강력하게 예정할 수 없다는 이유로 부정확한 경우가 많다.

사전반출입정보의 유효 기간이 24시간이기 때문에 항만 컨테이너 터미널에서는 해당 유효기간을 중심으로 개략적인 운송량을 예측하고 작업 계획을 수립한다. 그러나 정확히 어느 시간대에 특정 외부트럭이 반출입 작업을 수행하기 위해 항만 컨테이너 터미널에 진입하는지는 알 수 없으므로 더 정확한 작업 계획 수립에 어려움이 존재한다.

외부트럭의 운송기사는 기존 추이를 고려하여 도착 시간을 예상하고 항만 컨테이너 터미널로 이동한다. 이는 항만 컨테이너 터미널의 작업 부하나 그 일대 혼잡도를 고려하고 있지는 않기 때문에 외부트럭별 효율적인 시간대가 있을 수 있음에도 불구하고 특정 시간대에 운송량이 집중되어 대기시간 증가 등 비효율적인 상황을 초래한다.

Ⅲ. 선행 연구 분석

상술한 내용을 고려하여 선행 연구 분석 범위는 항만 컨테이너 터미널과 관련된 연구 중 반출입 운송량에 관한 연구로 정의한다. 이는 직접적으로 외부트럭의 패턴을 예측하는 연구와 더불어 외부트럭의 의사결정을 지원하여 항만 컨테이너 터미널의 혼잡을 해소하는 연구를 포함한다.

3.1 차량반출입예약시스템

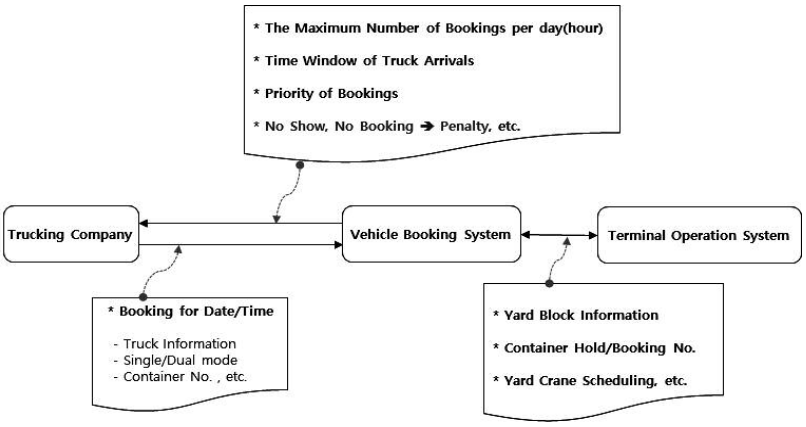
항만 컨테이너 터미널의 반출입 운송량에 대한 혼잡 해소에 대한 시도는 다양한 방법으로 수행되었다. 먼저 현재 국내 항만 컨테이너 터미널 대부분이 작업 완료까지 예상되는 대기시간과 현재 대기 중인 외부트럭의 대수에 대한 정보를 웹 기반 정보조회서비스를 통하여 제공하고 있다(차동익, 2021). 그러나 이는 단순히 현재 정보 공유 수준에 그치고 있으므로 실제 부하 분산에 대한 효과는 미비한 실정이다.

다음 단계로, 더 직관적인 혼잡 해소를 위하

여 부산항만공사를 중심으로 차량반출입예약시스템(VBS, Vehicle Booking System)이 구축되었다. 이는 외부트럭이 운송을 시작하기 전 미리 항만 컨테이너 터미널에 도착할 시간을 예약하는 시스템으로 시간대별 원만한 분산을 통해 반출입 혼잡을 해소하고자 고안된 시스템이다.

동 시스템은 명칭이 다소 상이할 수 있으나 호주, 캐나다, 미국 등 해외 컨테이너 터미널에서도 유사한 구조와 프로세스를 가지고 제공되고 있다. 마찬가지로 기능의 차별성은 있겠으나 기본적으로 차량반출입예약시스템은 <그림 2>와 같은 프로세스 구조로 되어 있으며, 운송사 또는 외부트럭 운송기사가 전자적 서비스를 기반으로 반출입 외부트럭의 정보, 컨테이너 정보, 작업 타입 등의 정보를 이용하여 외부트럭의 항만 컨테이너 터미널 도착시간을 예약하도록 지원한다. 예약 가능한 시간대는 무제한으로 제공되는 것이 아니라 항만 컨테이너 터미널 운영 시스템(TOS, Terminal Operating System)의 정보를 기반으로 일일/시간대별 최대 예약수를 결정하여 제한된다. 외부트럭이 예약을 준수하지 않을 경우 패널티를 부과하며 예약 여부에 따라 작업 우선순위에 차등을 두어 혼잡 해소를 도모하고자 하였다(장동원, 2015). 그러나 국내의 사례에서 동 시스템의 사용은 강제적인 사항이 아닌 편의를 위한 권고 사항이고, 운송기사가 직접 원하는 시간을 선택하기 때문에 혼잡 해소에 대한 큰 효과를 기대하기는 어렵다.

때문에, 차동익(2021)은 동 시스템의 성과를 높이기 위해 외부트럭의 항만 컨테이너 터미널 도착 시간을 운송기사가 결정하는 것이 아니라 일정한 배정 원칙에 따라 배정하는 것을 고안하였다. 이러한 배정 원칙은 다기준 의사결정 기법인 목표 계획법을 기반으로 하루를 선호 시간대와 비선호 시간대(Shift)로 구분하고 항만 컨테이너 터미널 장비의 처리 능력 준수 및 부하균등화, 외부트럭의 반출입 희망시간대 준수 등을 고려하여 목표 제약식을 형성하였다. 또 강제적인 배정에 따른 불만을 해소하고 외부트럭의 만족도 향상을 위하여 외부트럭이 선호하지 않는 시간대에 배정된 경우 인센티브를 부여하여 차기 배정에 반영하는 방식을 제안하



<그림 2> 차량반출입예약시스템 개요(장동원, 2015)

였다. 동 연구에서 고안한 배정 원칙을 도입할 경우 외부트럭의 평균 대기시간 11.5분 감소, 평균 대기 대수 23.1대 감소, 항만 컨테이너 터미널 장비 부하균등률 17.5% 상승의 효과를 도모할 수 있다. 그러나 이를 위해서는 법·제도적인 개선이 뒷받침되어야 하며 컨테이너 처리에 대한 우선순위 등이 면밀하게 고려되어야 할 것이라는 점에서 다소 한계가 존재한다.

3.2 외부트럭 도착 패턴

상술했다시피 항만 컨테이너 터미널 측면에서 작업 효율성 및 생산성 향상을 위해서는 외부트럭 운송량을 사전에 예측해야 할 필요성이 존재한다.

김지현 등(2015)은 이러한 점을 고려하여 반출입 작업을 기반으로 외부트럭의 게이트 도착 패턴을 분석하고 이를 공유하여 항만 컨테이너 터미널의 작업 생산성을 향상하고자 하였다. 동 연구에서는 1년 동안 컨테이너 물량이 정규적으로 이루어지는 선박을 대상으로 선정하고, 해당 선박의 입출항 시간을 기준으로 동 선박을 대상으로 컨테이너를 운송해야 하는 외부트럭의 도착 패턴을 분석하였다. 분석 결과 반출입 경우 모두 양적하 일정에 맞추어 컨테이너를 전달하고 있는 것이 확인되었다. 특히 당일의 경우, 반입 일정에 따라 외부트럭이 신속하게 도착하는 형태를 확인하였다.

김진수 등(2020)도 마찬가지로 항만 컨테이너 터미널의 효과적인 계획 수립을 위하여 통계 딥러닝 기술을 기반으로 외부트럭의 도착량을 예측하였다. 이는 동 시간대에 항만 컨테이너 터미널로 향하는 외부트럭의 대수에 집중한 연구이며 구체적인 소요 시간이나 진입 지연 가능성, 혼잡도 등은 고려되지 않았다.

3.3 외부트럭 대기시간 예측

상술한 선행 연구들은 모두 항만 컨테이너 터미널의 반출입 혼잡을 해소하기 위한 방안들에 대한 연구이다. 이는 궁극적으로 특정 시간대의 외부트럭이 집중되는 현상을 방지하고 외부트럭의 대기시간을 최소화하여 작업 회전율을 증가시키기 위한 목적성을 가지고 있다.

김영일 등(2022)은 이러한 측면에서 딥러닝 기술을 기반으로 시간대별 외부트럭 반출입 대기시간을 예측하고자 하였다. 외부트럭이 작업을 위하여 항만 컨테이너 터미널 외부에서 대기하는 경우는 희박하므로 동 연구에서는 외부트럭이 항만 컨테이너 터미널에서 소요하는 시간 중 혼잡과 가장 직접적인 관련이 있는 게이트 진입 후부터 상하차 작업 완료까지의 시간을 기준으로 대기시간을 산정하였다. 데이터 구조가 비선형성을 가지는 단변량 시계열 자료 구조임을 고려하여 시계열 기반 딥러닝 모형 중 대표적인 모형인 RNN(Recurrent Neural Network) 모형, LSTM(Long Short-Term Memory) 모형 및 GRU(Gated Recurrent Unit)를 도입하였고 세 가지 모형 모두 다 예측에 적합한 모형임을 확인하였다.

3.4 선행 연구와의 차별성

상술한 선행 연구는 항만 컨테이너 터미널 반출입 운송량에 초점을 맞추어 조사 분석되었다. 선행 연구와 본 연구의 차별성은 다음과 같

이 명확화할 수 있다.

먼저 차량반출입시스템과 관련한 선행 연구의 경우, 운송기사가 항만 컨테이너 터미널에 도착시간을 사전 예약하는 것에 중점을 둔 연구이다. 즉, 시스템 프로세스가 정상적으로 동작하기 위해서는 운송기사의 자율적 의사에 따라 항만 컨테이너 터미널에 도착시간을 사전 예약하는 행위가 선행되어야 한다. 이는 특정 데이터를 기반으로 하는 의사결정보다는 운송기사와 항만 컨테이너 터미널 간 상호 합의를 기반으로 반출입 혼잡을 분산하려는 시도로 해석될 수 있다. 본 연구는 이와 차별하여 특정 주체 간 자율적 의사결정과 상호 합의를 통한 반출입 해소가 아니라, 반출입 혼잡에 영향을 미치는 요소를 데이터 분석을 통해 객관적인 수치로 정형화하고 이를 분산하기 위한 의사결정 지원 모델을 개념적으로 설계하고자 한다.

다음으로 외부트럭 도착 패턴과 관련한 선행 연구의 경우, 외부트럭 운송량을 예측한다는 점에서 본 연구와의 유사성이 존재한다. 김지현 등(2015)은 특정 선박의 입출항 시간을 기준으로 외부트럭의 도착 패턴을 분석하였고 양적하 일정에 맞추어 컨테이너가 반출입됨을 확인하였다. 동 연구가 선박 작업 패턴을 주요 영향 요소로 설정하고 외부트럭의 도착 패턴을 분석하였다면, 본 연구는 이와 차별적으로 선박 작업 패턴과 더불어 외부트럭 작업 패턴을 함께 분석하여 결과를 도출하고자 하였다. 또 김진수 등(2020)은 외부트럭 대수를 예측하는 것에 초점을 맞추고 외부트럭 도착량을 중심으로 시간대별 항만 컨테이너 터미널에 도착하는 외부트럭의 대수를 예측하였다. 본 연구는 시간대별 선박의 접안 일정과 이에 대응하는 반출입 물량을 기반으로 전체적인 반출입 혼잡을 예측한다는 점에서 이와 차별성이 존재한다.

마지막으로 외부트럭 대기시간 예측과 관련한 선행 연구의 경우, 반출입 혼잡 해소의 일환으로 외부트럭 대기시간을 최소화하고 작업 회전율을 증가시키기 위한 목적으로 수행되었다. 이러한 측면에서 김영일 등(2022)은 외부트럭이 항만 컨테이너 터미널에 진입하여 상하차 작업을 완료하기까지의 시간을 기준으로 외부트럭의 대기 시간을 산정하였다. 이는 본 연구에서 제안하고자 하는 반출입 혼잡 영향 요소의 일환으로 활용될 수는 있으나 본 연구에서 도출하는 결과 값 자체와는 상이하며, 본 연구는 선행 연구와 별개로 이를 기반으로 궁극적인 반출입 혼잡 해소와 더불어 반출입 운송량 효율화를 도모하는 모델을 설계한다는 차별성이 존재한다.

Ⅳ. 연구 범위 및 방법

본 연구의 목적은 항만 컨테이너 터미널의 반출입 운송에 대한 혼잡을 해소하기 위해 영향을 미치는 주요 요소를 식별 및 분석하고, 분석 결과를 기반으로 반출입 운송량 효율화를 도모하는 모델을 설계하는 것이다. 이를 위하여 항만 컨테이너 터미널을 중심으로 발생하는 데이터를 분석하고 반출입에 영향을 미치는 요소 인자를 식별한다. 그다음, 실질적으로 반출입 운송과 관련한 데이터와 연계하여 특정 조건 아래에서 발생하는 패턴을 분석한다. 이를 통해 최종적으로 영향 변수를 정의하고 이를 활용할 수 있는 체계를 설계하고자 한다.

궁극적으로, 본 연구가 지향하고자 하는 것은 특정 수치를 예측하여 계산하는 수치 산정 모델이 아니라 반출입 운송량 효율화를 도모하기 위한 의사결정 지원 모델이다. 이러한 모델의 설계 및 개발은 정확성과 실효성을 보다 강화할 필요가 있으며, 이를 위하여 체계적이고 단계적인 연구개발이 수행되어야 한다. 본 연구는 이러한 단계와 체계의 가장 초기 단계로 반출입 혼잡도 예측 모델에 대한 패러다임을 제시하고 아키텍처에 대한 개념을 설계하고자 하였다.

즉, 본 연구는 딥러닝 모형 적용을 위한 탐색과 데이터 분석, 아키텍처 개념 정의에 대한 설계는 포함하고 있으나 실제 모델 적용과 시험에 대한 내용은 포함하지 않는다. 때문에 정보기술 연구의 측면에서 다소 취약할 수 있으나 새로운 개념의 모델을 제시한다는 점에 의의가 있으며, 실제 모델에 대한 유효한 검증은 후속 연구에서 진행될 차후 단계에서 보다 깊이 있게 다루어질 것이다.

Ⅴ. 반출입 혼잡 영향 요소 분석

5.1 분석 데이터 정의

분석 데이터는 <표 1>과 같이 정의한다. 동 데이터는 부산항터미널을 대상으로 1개년(2022) 데이터를 이용하였다. 선석배정정보와 사전반출입정보(운송예정량)를 선박코드(모선), 항차로 결합하고 이를 다시 운송이력정보와 결합하여 데이터 간 연결성을 확보하였다.

데이터 분석에 앞서 각 데이터에 대해 간략히 설명한다. 먼저 선석배정정보는 항만 컨테이너 터미널의 선석(선박이 접안하여 작업을 수행하는 공간)에 선박이 배정되어 작업한 이력정보를 의미한다. 동 정보는 시간대별 선석에서 작업한 선박의 고유 식별자(선박 코드, 모선)와 고유 시퀀스(항차), 입출항 시간, 양적하 물량 등을 포함하는 시계열적 특성을 가진다. 다음으로 사전반출입정보는 반출입을 위해 반드시 사전에 운송사에서 항만 컨테이너 터미널로 전송이 필요한 정보로 통상 24시간의 유효성을 가진다. 즉, 사전반출입정보가 존재하는 컨테이너는 적어도 24시간 이내에 항만 컨테이너 터미널로 유입된다. 동 정보는 컨테이너에 대한 정보와 해당 컨테이너와 연관된 선박에 대한 정보 등을 포함하며 송신일시를 기준으로 시계열적 특성을 가질 수 있다. 마지막으로 운송이력정보는 실제로 운송된 이력에 대한 결과 정보를 의미한다. 동 정보는 컨테이너를 운송한 외부트럭에 대한 정보와 더불어 컨테이너에 대한 정보를 포함하며 반출입일시를 기준으로 시계열적 특성을 가질 수 있다.

5.2 데이터 분석 결과 해석

해상 작업(선박)과 내륙 작업(외부트럭)을 동시에 수행하는 항만 컨테이너 터미널 특성상 데이터 분석은 선박 양적하 물량과 외부트럭 반출입 운송량을 대상으로 하여 양방향으로 영향도를 식별하고자 하였다. 구체적으로 <표 1>에서 정의한 선석배정정보를 선박 양적하 물량을 분석하기 위한 데이터 셋으로 설정하고, 사전반출입정보와 운송이력정보를 외부트럭 반출입 운송량을 분석하기 위한 데이터 셋으로

설정한다. 먼저 특정 패턴에 영향을 미칠 수 있는 가장 기초적인 요소인 시간을 중심으로 가설을 설정하고 데이터를 분석하였다. 이에 대한 검증을 위하여 다음과 같은 가설을 정의한다.

가설 1. 항만 컨테이너 터미널에 입항하는 선박 스케줄이 반출입에 영향을 미친다.

가설 2. 항만 컨테이너 터미널에 진입하는 외부 트럭 스케줄이 반출입에 영향을 미친다.

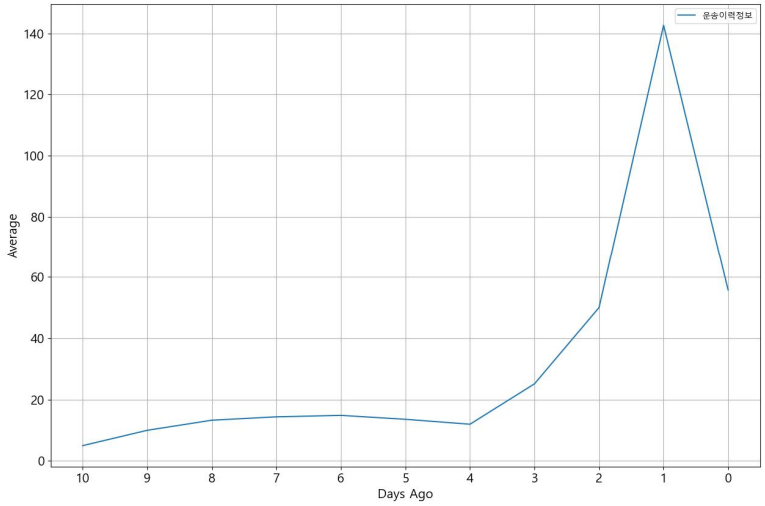
먼저 가설 1의 검증을 위하여 무작위로 선박 1척(선박 A)을 선정하고 데이터 수집 기간 동안 해당 선박을 대상으로 하는 컨테이너의 반출입 시점을 분석하였다. 반입의 경우 선박에 컨테이너를 적재하기 위해 진입하므로 입항시간과 반입마감시간을 기준으로 분석하고, 반출의 경우 선박에서 양하된 컨테이너를 내륙으로 운송하기 위해 진입하므로 출항시간을 기준으로 분석하였다. 그래프 중 X축은 시간이고 Y축은 운송량을 의미한다.

<표 1> 분석 데이터 목록

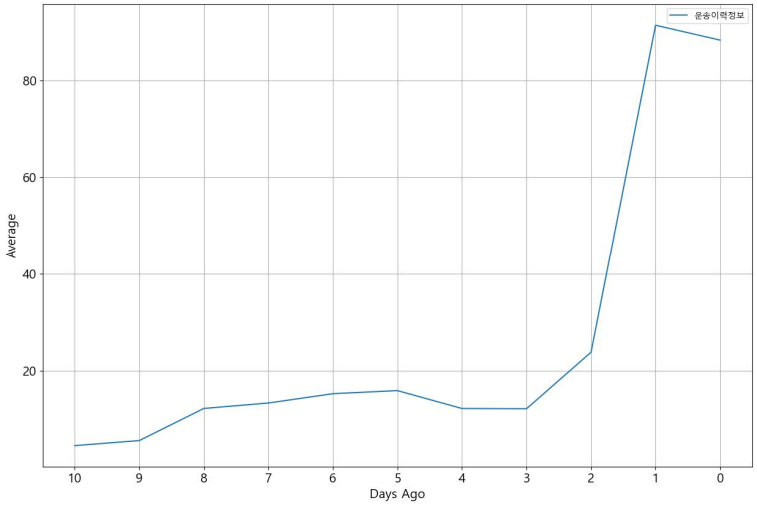
분류	데이터	설명
선석배정정보	선박코드(모선)	대상 선박 식별자
	항차	항만 컨테이너 터미널에서 관리하는 입항 순서
	입항시간	실제 선박의 항만 컨테이너 터미널 입항 시간
	출항시간	실제 선박의 항만 컨테이너 터미널 출항 시간
	반입마감시간	선박 양적하 작업을 위한 항만 컨테이너 터미널 반입 마감 시간
사전반출입정보	선박코드(모선)	대상 선박 식별자
	항차	항만 컨테이너 터미널에서 관리하는 입항 순서
	COPINO송신일시	사전반출입정보 송신 일시(운송사 ⇒ 항만 컨테이너 터미널)
	컨테이너 번호	화물을 운반하는 컨테이너 번호
	반출입 구분	반입 혹은 반출 구분
	컨테이너 타입	화물을 운반하는 컨테이너 타입(예: 위험물 등)
	컨테이너 사이즈	화물을 운반하는 컨테이너 사이즈(예: 40FT, 20FT 등)
운송이력정보	운송기사 ID	화물을 운송하는 외부트럭 운송기사 식별자
	외부트럭 번호	외부트럭 차량 번호
	컨테이너 번호	화물을 운반하는 컨테이너 번호
	반출입 구분	반입 혹은 반출 구분
	컨테이너 타입	화물을 운반하는 컨테이너 타입(예: 위험물 등)
	컨테이너 사이즈	화물을 운반하는 컨테이너 사이즈(예: 40FT, 20FT 등)
	반출입일시	외부트럭 항만 컨테이너 터미널 진입 시간

입항시간 기준 반입 시점에 대한 분석 결과는 <그림 3>과 같다. 입항 10일 전을 기준으로 분석하였으며 X축의 가장 오른쪽이 입항시간(0, D-day)이다. 분석 결과 선박 A의 입항 4일 이전부터 반입 운송량이 서서히 증가하다가 입항 1일 전에 가장 많이 반입되는 패턴을 보였다.

다음으로, 반입마감시간 기준 반입 시점에 대한 분석 결과는 <그림 4>와 같다. 반입마감시간은 통상적으로 항만 컨테이너 터미널이 특정 선박에 반입되는 컨테이너를 처리하기 위해 반입을 허용하는 최종 시간을 의미한다. 마찬가지로 입항 10일 전을 기준으로 분석하였으며 X축의 가장 오른쪽이 반입마감시간(0, D-day)이



<그림 3> 입항시간 기준 반입 시점

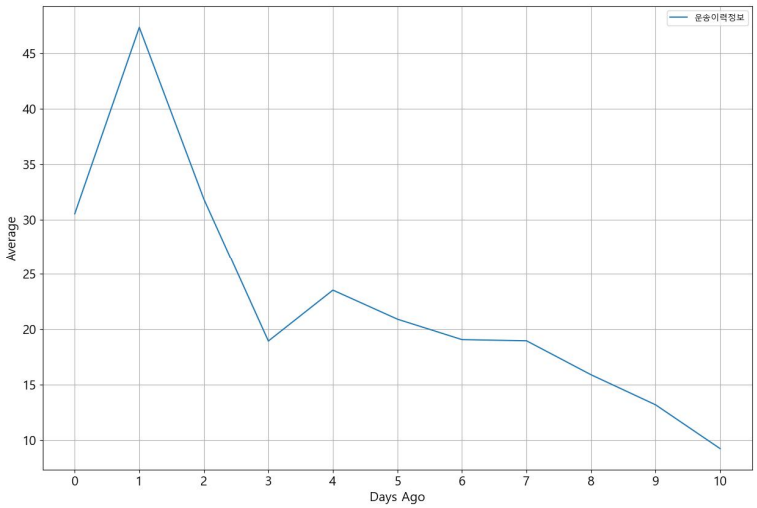


<그림 4> 반입마감시간 기준 반입 시점

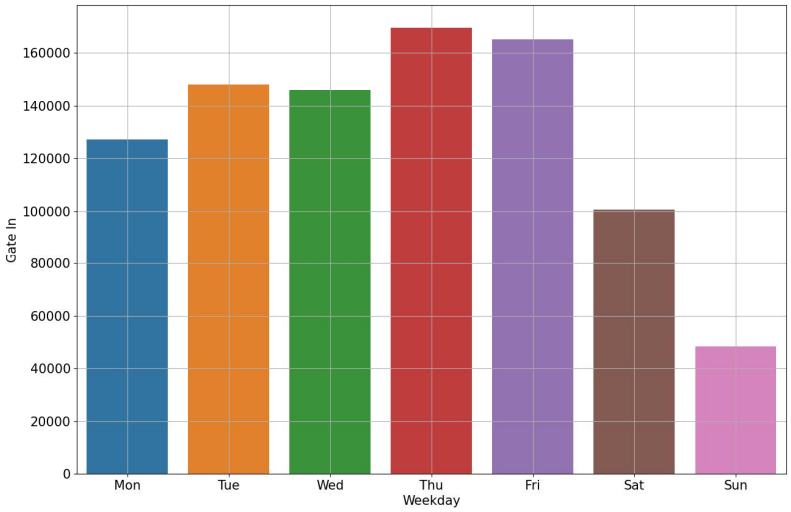
다. 분석 결과 반입마감시간 3일 이전에는 유의미한 패턴을 보이지 않다가 3일 이후부터 서서히 증가하였고 1일 전에 대부분의 운송량이 반입되었으며 당일에 가장 많이 반입되는 패턴을 보였다.

출항시간 기준 반출 시점에 대한 분석 결과는 <그림 5>와 같다. 출항 10일 후를 기준으로 분석하였으며 X축의 가장 왼쪽이 출항시간(0, D-day)이다. 분석 결과 출항 당일부터 서서히 반출되어 출항 1일 후 가장 많이 반출되고 대부분 4일 이내 처리되는 패턴을 보였다.

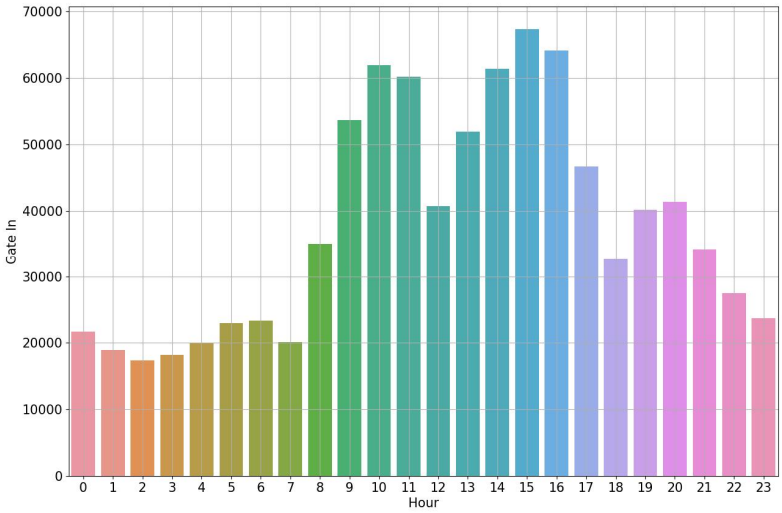
상기 결과를 종합하여 볼 때, 선박의 스케줄이 반출입에 유의미한 패턴을 가지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 스케줄이 임박할수록 반출입



<그림 5> 출항시간 기준 반출 시점



<그림 6> 요일별 반출입 운송량



<그림 7> 시간대별 반출입 운송량

운송량이 증가할 수 있으며 특히 3일 전을 기준으로 반출입 운송량이 급증하는 것을 확인하였다. 이를 통하여 항만 컨테이너 터미널에 입항하는 선박 대수와 해당 선박의 물량에 따라 일자별 반출입 운송량을 개략적으로 유추할 수 있을 것이다.

다음으로 가설 2를 검증하기 위하여 요일 및 시간대를 구분하여 반출입 운송량을 분석하였다. 결과는 다음과 같다. 그래프 중 X축은 요일 혹은 시간대를 의미하고 Y축은 반출입 운송량을 의미한다.

<그림 6>은 요일별 운송량을 분석한 결과이다. 평일 중 목, 금의 운송량이 가장 많았고 주말로 갈수록 감소함을 확인하였다. <그림 7>은 시간별 운송량을 분석한 결과이다. 주간 일과 시간대에 운송량이 다소 편중되어 있고 9시~11시, 14시~16시가 특히 혼잡함을 확인하였다.

상기 결과를 종합하여 볼 때, 특정 요일 또는 시간대에 운송량이 편중되는 패턴을 확인하였다. 즉, 외부트럭의 운송 스케줄링에 따라 내륙에서 항만으로 유입되는 반출입량이 달라질 수 있다. 이러한 패턴을 활용하면 요일과 시간대에 따라 외부트럭 반출입 운송량을 개략적으로 유추할 수 있다.

5.3 영향 요소 정의

분석한 결과를 기반으로 항만 컨테이너 터미널 반출입 혼잡에 영향을 미치는 요소를 <표 2>와 같이 정의할 수 있다.

<표 2> 영향 요소

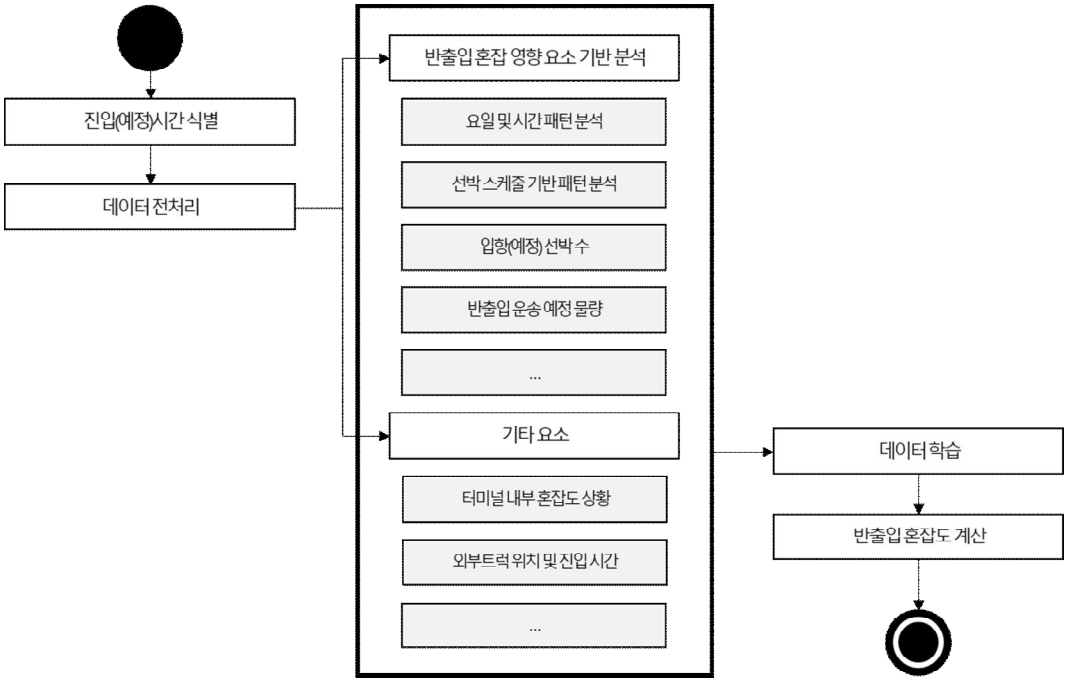
Source	Feature	Description
선박	입항예정선박수	항만 컨테이너 터미널에 입항할 선박 척수
	입항선박수	항만 컨테이너 터미널에 이미 입항한 선박 척수

Source	Feature	Description
	입항시간	선박이 입항하는 시간
	출항시간	선박이 출항하는 시간
	반입마감시간	원활한 양적하 작업을 위해 특정 선박을 대상으로 하는 반출입 운송 마감 시간
	...	...
반출입 운송량	요일	반출입 작업을 수행하는 요일
	시간대	반출입 작업을 수행하는 시간대
	...	...

Ⅵ. 반출입 혼잡도 예측 모델 설계

6.1 예측 모델 아키텍처 정의

반출입 혼잡도 예측 모델이란, 내륙에서 항만 컨테이너 터미널로 진입하고자 하는 외부트럭의 반출입 작업에 대한 혼잡도를 예측하는 모델을 의미한다. 즉, 넓은 의미에서 특정 시공범위의 외부트럭 예상 대수라고 볼 수 있다. 이를 예측하는 모델을 설계하기 위해 상술한 영향 요소와 더불어 항만 컨테이너 터미널을 중심으로 생산되는 데이터를 활용한다. 주요 아키텍처는 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 반출입 혼잡도 예측 모델 아키텍처

아키텍처 동작을 위하여 먼저 진입(예정)시간을 식별해야 한다. 이는 반출입에 대한 시점을 의미하며 본 연구 모델은 해당 시점을 기반으로 예측을 수행할 수 있다. Input 형식 등의 고정을 위하여 기초적인 데이터 전처리를 수행하면 상술한 영향 요소를 기반으로 분석을 수행하고, 기타 항만 컨테이너 터미널의 혼잡도와 외부트럭의 현재 위치 등이 추가적인 요소로 활용될 수 있다. 동 프로세스를 기반으로 데이터 학습을 수행하며 최종적으로 입력한 진입(예정)시간에 대한 반출입 혼잡도를 도출할 수 있을 것이다. 이때 도출되는 혼잡도는 분 단위 시간 혹은 외부트럭의 대수로 제시될 수 있다.

6.2 활용 데이터 셋

본 연구 모델에 필요한 활용 데이터 셋은 <표 3>과 같이 정의할 수 있다. 이는 상술하여 검증한 가설 1, 2를 기반으로 선박 물량에 대한 측면과 반출입 운송량에 대한 측면을 모두 포

<표 3> 활용 데이터 목록

데이터 명	데이터 항목	학습용 데이터
선석배정정보	선박코드	선박코드(ShipCode)
	항차	항차(VoyageNo)
	입항시간	연(Year)
		월(Month)
		일(Day)
		시(Hour)
	...	...
사전반출입정보	COPINO송신일시	연(Year)
		월(Month)
		일(Day)
		시(Hour)
		주말여부(WeekendYN)
		공휴일여부(HolidayYN)
	...	...
운송이력정보	운송일시	연(Year)
		월(Month)
		일(Day)
		시(Hour)
		주말여부(WeekendYN)
		공휴일여부(HolidayYN)
	반출입구분	반출입구분(InOutType)
	컨테이너 정보	적공구분(FullEmptyType)
	…	…
외부트럭위치정보	위치정보	위도(Longitude)
		경도(Latitude)
		...

함한다. 즉, 선박 스케줄을 중심으로 하는 선석 배정정보와 반출입 운송량을 중심으로 하는 사전반출입정보(예정 운송량), 운송이력정보(실제 운송량)를 포함한다.

이와 더불어 아키텍처링 과정에서 도출하였던 외부트럭 위치정보, 항만 컨테이너 터미널 내부 혼잡도 상황 정보 등을 결합하여 활용할 수 있다.

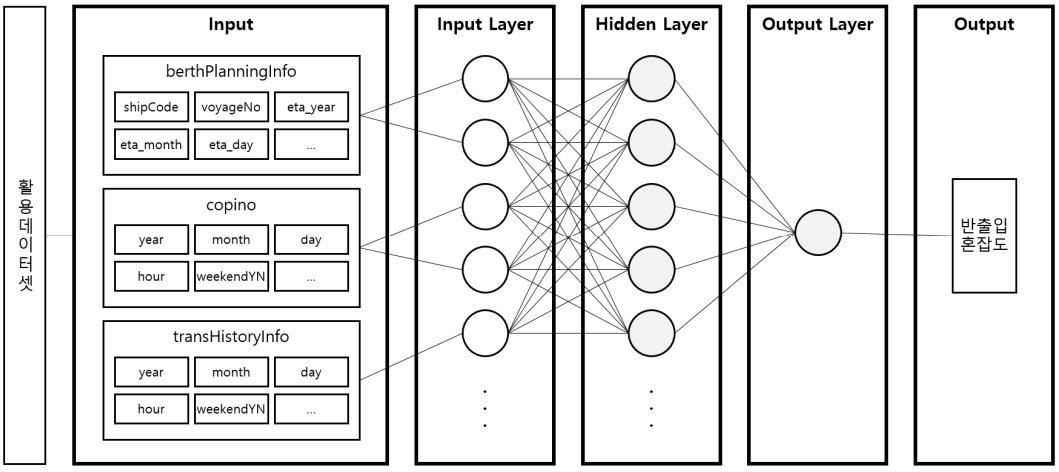
6.3 적용 모형 탐색

아키텍처를 기반으로 실제 예측 값을 도출하기 위하여 딥러닝 기술 기반 인공지능 모형을 도입하고자 한다. 다만, 본 연구에서는 모형의 직접적인 적용과 시험은 진행하지 않으며 선행 연구 사례 및 데이터 분석 결과를 기반으로 적합한 모형을 탐색하고 설계하는 것으로 제한한다. 이는 후속 연구에서 더 심도 깊게 다뤄질 수 있을 것이다.

활용 데이터 셋에서 정의하였다시피 분석된 데이터 항목 대다수가 비선형성 단변향 시계열 특징을 가지고 있기 때문에 우선적으로 시계열 모형을 고려한다. 선행 연구 사례에서 분석한 바와 같이 김영일 등(2022) 역시 이러한 관점에서 딥러닝 모형 중 RNN, LSTM, GRU 모형을 도입한 바 있다. 동일한 관점에서 본 연구의 예측 모델 역시 시계열 모형의 대표적 모형 유형인 세 모형을 도입하였을 시 유사한 성능을 기대해 볼 수 있다.

다음으로 김진수 등(2020)은 항만 컨테이너 터미널에 도착하는 외부트럭의 대수를 산정하기 위하여 LSTM 모형과 더불어 선형회귀분석 모형과 DNN(Deep Neural Network) 모형을 활용하였다. 결과적으로 LSTM 모델과 DNN 모형이 각각 98.8%, 92.7%의 예측 정확도를 기록하였으며 선형회귀분석 모델은 73.1%의 예측 정확도를 기록하였으므로, 유사한 데이터 셋을 공유하는 본 연구 모델 역시 비선형성 특성을 가진 모형을 도입하는 것이 적합한 것으로 예상된다.

상술한 내용을 반영하여 <그림 9>와 같이 예측 모형 개념도를 정의하였다. 동 모형은 활용



<그림 9> 반출입 혼잡도 예측 모형 개념도

데이터 셋을 Input으로 하여 Layer를 구성하고 각 요소 간 영향도와 관계성을 분석할 수 있도록 Hidden Layer를 구성하여 결과적으로 반출입 혼잡도를 산출할 수 있는 Output Layer로 구성하였다.

다만, 이러한 시계열 모형의 경우 반복 데이터 학습의 장기간 수행 시 성능이 하락할 수 있고 RNN의 경우 다수의 RNN을 병합하였을 시 과거 데이터를 망각하는 문제점이 발생할 수 있으므로 병렬적으로 다단계 예측이 가능한 모형을 도입하며, 시계열 기반의 Transformer 모델을 연계하여 요소별 특징에 집중, 이러한 문제점을 해소할 수 있도록 구조를 설계해야 한다.

Ⅶ. 결 론

본 연구는 우리나라 주요 산업 중 하나인 해운 물류 산업과 관련하여 직접적으로 생산 활동이 일어나는 항만 컨테이너 터미널의 업무 중 반출입 운송에 초점을 맞추고 진행되었다. 구체적으로 반출입 혼잡을 해소하기 위하여 주요 영향 요소를 식별하고 분석하여 혼잡도 예측 모델을 설계하는 것을 그 범위로 하였다.

먼저, 선박 스케줄이 반출입에 미치는 영향을 검증한 결과, 선박의 입항시간, 출항시간, 반입마감시간에 따라 반출입 운송량이 유의미하게 변화하는 패턴을 확인하였다. 특히 이러한 선박 스케줄이 임박할수록 반출입 운송량이 증가하는 경향을 확인하였으며 이를 통해 선박 스케줄에 따라 반출입 혼잡이 발생할 수 있음을 확인하였다. 다음으로 외부트럭의 스케줄이 반출입에 미치는 영향을 검증한 결과, 특정 요일과 시간대에 따라 반출입 운송량이 유의미하게 변화되는 패턴을 확인하였다. 특히 주말의 반출입 운송량이 현저하게 감소함을 확인하였고 평일 주간 일과 시간대인 9시부터 11시 사이, 14시부터 16시 사이에 운송량이 편중되는 경향을 확인하였다.

분석된 결과를 기반으로 영향 요소를 정의하고 반출입 혼잡도 예측 모델의 아키텍처를 설계하였다. 동 모델은 비선형적 단변량 시계열 특성을 보유한 데이터를 고려하여 RNN, LSTM 등의 적용을 고려하고 있으며, 시계열 장기 학습의 고질적 문제를 해결하기 위하여 병렬적 다단계 예측이 가능한 모형을 도입함과 동시에 시계열 기반 Transformer 모델을 연계하고자 한다.

본 연구는 문제 제기와 더불어 데이터 분석을 통한 영향 요소 식별과 모델의 설계에 중점을 둔 연구로, 실제 모델 적용과 시험, 검증 등은 후속 연구에서 다룰 예정이다. 본 연구를 통해 제안되는 모델은 항만 컨테이너 터미널 반출입 운송량의 효율적인 분산을 도모함으로써 항만 컨테이너 터미널의 효율성과 생산성을 높이고 외부트럭의 대기시간 등을 줄여 반출입 작업 회전율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 후속 연구를 통하여 동 모델을 실제 데이터에 적용하여 예측 정확도를 평가하고, 추가 변수들을 고려하여 모델의 성능을 더욱 개선할 수 있을 것이다. 또한, 법・제도적 개선과 함께 적용 가능성을 검토하여, 제기한 문제를 실질적으로 해결하는 방안을 모색할 필요가 있다.

참고문헌

장동원, “컨테이너터미널 반출입트럭 운영관리 시스템의 국내외 현황 및 시사점”, LOGISTICS TRENDS OF EAST ASIA, 2015, pp. 92-99.

김지현, 김성우, 남보아, 최정웅, 장동원, 김갑환, 홍순도, “컨테이너 터미널 반출입 외부트럭의 도착 패턴 분석”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문, 2015, pp, 1097-1102.

양현석, “항만물류빅데이터를 활용한 컨테이너 터미널 반출입 트럭 TAT(Turn Around Time) 결정요인”, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 2022.

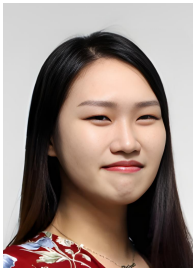
김재헌, 김진수, 이건우, “항만 진출입 컨테이너 트럭의 터미널 도착량 예측에 관한 연구”, 해양비즈니스 제 44호, 2019, pp. 97-111.

김영일, 신재영, 박형준, “컨테이너 터미널 내 반출입 차량 대기시간 예측에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제46권 제4호, 2022, pp. 344-350.

차동익, “컨테이너터미널 트럭 반출입시스템 운영효율화 방안에 관한 연구”, 동아대학교 대학원 석사학위논문, 2021.

김진수, 김재헌, 신현주, 이건우, “딥러닝(LSTM)기반 항만 진출입 컨테이너 트럭의 터미널 도착량 예측”, 대한교통학회 제83회 학술발표회, 2020, pp. 240-241.

김 푸 름 (Kim, Pureum)



동아대학교 경영학사를 취득하고 동의대학교 대학원 인공지능학과 석사과정에 재학중이다. 현재 엔지엘주식회사 연구소장으로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 해운항만물류, 인공지능 등이다.

박 승 진(Park, Seungjin)

동의대학교 공학사를 취득하였다. 현재 엔지엘주식회사 연구원으로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 해운항만물류, 인공지능 등이다.

정 석 찬(Jeong, Seok Chan)

부산대학교 공학사와 일본 오사카부립대학교 석사와 박사학위를 취득하였다. 현재 동의대학교 e비즈니스학과/대학원 인공지능학과 교수와 인공지능그랜드ICT연구센터 센터장으로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 정보시스템, IoT 융합, 빅데이터, 클라우드, 제조IT, 인공지능 등이다.

<Abstract>

Design of a Predictive Model Architecture for In-Out Congestion at Port Container Terminals Through Analysis of Influencing Factors

Kim, Pureum · Park, Seungjin · Jeong, Seokchan

Purpose

The purpose of this study is to identify and analyze the key factors influencing congestion in the in-out transportation at port container terminals, and to design of a predictive model for in-out congestion based on these analysis. This study focused on architecting a deep learning-based predictive model.

Design/methodology/approach

This study was conducted through the following methodology. First, hypotheses were established and data were analyzed to examine the impact of vessel schedules and external truck schedules on in-out transportation. Next, explored time series forecasting models to a design the architecture for deep learning-based predictive model.

Findings

According to the empirical analysis results, this study confirmed that vessel schedules significantly affect in-out transportation. Specifically, the volume of transportation increases as the vessel arrival/departure time and the cargo cutoff time approach. Additionally, significant congestion patterns in transportation volume depending on the day of the week and the time of day were observed.

Keyword: Port Container Terminal Congestion, In-out Congestion, External Truck Schedule

* 이 논문은 2024년 5월 30일 접수, 2024년 6월 19일 1차 심사, 2024년 6월 23일 게재 확정되었습니다.