

중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 제품 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼 구축 연구

황선우¹, 박상원², 김명성¹, 김영민^{3*}

¹아주대학교 시스템공학과

²(주)노바

³아주대학교 물류시스템 및 SCM학과

On the Development of Robot-based Loading System for Small and Medium-sized Sub-terminal Cargo Loading and Establishment of Predictive Maintenance Platform to Expand Product Marketability

Sunwoo Hwang¹, Sangwon Park², Myungsung Kim¹, Youngmin Kim^{3*}

¹Department of Systems Engineering, Ajou University

²Global Nova

³Department of Logistics System and SCM, Ajou University

Recently, there have been changes in social structure, such as the development of information and communication technology, dual incomes, aging, and the increase in single-person households. Accordingly, the logistics industry is changing from a traditional logistics industry to a household logistics industry in the form of small parcels focusing on household goods and early morning delivery. The expansion of the logistics industry can increase people's quality of life, but for those working in the logistics industry, it can lead to excessive workload and a decrease in quality of life. In addition, loading and unloading work during the logistics process is concentrated at dawn and at night, which can result in reduced work productivity and the risk of safety accidents. Therefore, in this study, we developed cargo loading automation robot system technology for the purpose of improving the efficiency of cargo loading work in small and medium-sized sub-terminals, and conducted for research establish a predictive maintenance platform as a way to expand the marketability of the developed technology and products.

Keywords: Logistics system, Robot-based loading system, Medium-sized sub-terminal, Cargo loading, Predictive maintenance

논문접수일 : 2023.10.20. 논문수정일 : 2023.12.06. 게재확정일 : 2023.12.20.

이 논문은 산업통상자원부의 지원을 받아 수행되었음.(20015047)

1. 아주대학교 시스템공학과 대학원생

2. (주)노바 대표이사

3*. 아주대학교 물류시스템 및 SCM학과 교수, Corresponding Author: pretty0m@ajou.ac.kr

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

근래에는 정보통신 기술의 발달 및 맞벌이, 고령화, 1인 가구의 증가 등 사회구조의 변화가 이뤄지고 있다. 이에 따라, 물류 산업은 전통적인 물류 산업에서 생활용품 위주의 소화물, 새벽 배송 등의 형태인 생활물류 산업으로 변화하고 있다. 이렇듯, 생활물류 산업으로의 변화에 따라, 물류 산업은 국민생활에 밀접한 산업으로 다가왔으며, 이에 따라, 급격히 팽창하고 있는 시점이다. “Figure 1”은 통합물류협회에서 2023년을 기준으로 가장 근래에 조사된 2021년 국내 물동량 및 전년대비증감율 등의 연도별 생활물류실적을 보여준다. 2021년 총 택배 물량은 36억 2천만 개로 조사되었으며, 2020년 33억 7천만 개 대비 7.59%로 성장하였다. 물동량 증가율은 전년 대비 2019년 9.7%, 2020년 20.9%, 2021년 7.59%로 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 생활물류 산업의 팽창은 국민 삶의 질을 증가시킬 수 있지만, 물류 산업 종사자 입장에서는 과도한 업무 부하와 삶의 질 저하로 이어질 수 있다. 또한, 물류 프로세스 중 상차 작업은 특성상 새벽과 야간에 집중되기 때문에, 작업 생산성 저하 및 안전사고의 위험으로 초래될 수 있다. 또한, 자동화 설비 및 시스템을 갖추지 못한 중소 규모 물류 기업은 물류 산업 팽창에 따른 부하를 효율적으로 대응하지 못하고 있는 시점이다. 서브터미널을 주로 취급하는 우리나라의 중소 규모 물류 기업은 가용할 수 있는 물류 작업의 공간, 입지 등의 측면에서 대기업과 비교했을 때, 경쟁력이 많이 부족한 실정이다(Lee et al., 2021). 또한, 물류 자동화 설비 및 인프라 등의 운영 측면에서도 경쟁력이 많이 부족하기에, 경쟁력 확보를 위한 방안으로, 물류 자동화 설비 및 인프라 투자와 연구/기술 개발이 필요한 시점이다. 물류 산업 팽창의 결과는 국민 삶의 질 증가 등의 이점이 있지만, 중소 규모 물류 기업의 입장에서는 물류 수요 과부하 및 물류 산업 종사자의 삶의 질 저하 및 안전문제 인한 전사적인 문제로 초래될 수 있다. 따라서 이러한 문제는 물류 산업 종사자들의 파업 등 사회적인 문제로 초래될 수 있으며, 정부 차원에서는 이를 예방 및 해소하기 위한 차원에서 물류 산업의 열악한 환경 개선과 물류 산업 경쟁력 확보를 위하여, 물류 상/하차 자동화 기술 연구 등 물류 산업 관련 연구를 진행하고 있는 시점이다(Kim et al., 2023). 따라서 본 연구에서는 물류 사업 종사자의 업무 효율화 등을 목적으로, 화물상차 로봇 시스템 기술을 개발하고, 시장성 확장을 위한 방안으로, 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다.

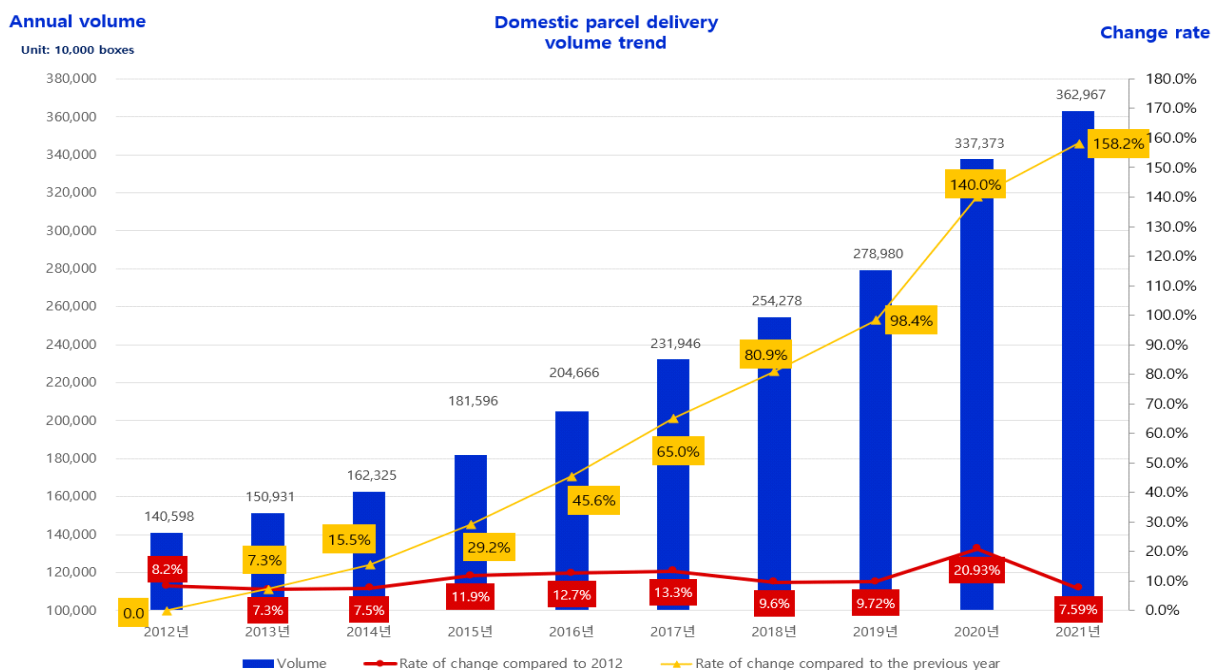


Figure 1. Domestic parcel delivery volume trend

1.2 화물 상차 로봇 시스템의 필요성 및 기술 개발 범위

물류 기술 및 로봇 산업은 다양한 분야의 기술이 접목된 융/복합적인 특징을 가지며, 물류 산업의 열악한 환경 개선을 목적으로, 현재도 다양한 연구 기관 등에서 물류 기술 및 로봇 개발 연구가 진행 중인 시점이다. 물류 상차 작업은 배송기사 등의 작업자가 화물차량에 화물을 싣는 작업이다. 이러한 상차 작업은 상차 작업자의 목적지별 화물 배송 요령에 따라 수행되게 된다. 일반적으로, 상차 작업을 수행하는 서브터미널에서 가까운 목적지는 바깥쪽에, 반대로, 먼 목적지는 안쪽에 싣는 경우가 다수이다. 따라서 상차 작업을 수행하는 배송기사 등의 작업자는 화물의 목적지를 육안으로 식별하고, 화물을 상차 및 적재하는 과정을 반복적으로 수행해야 한다. 서브터미널에서 취급되는 화물차량으로 2.5톤 차량의 경우, 작업자가 화물칸 안쪽에서 상차 및 적재 작업을 원활히 수행하기에는 한계가 있으며, 단순/반복되는 상차 작업은 근골격계의 무리 등 업무 과부하로 초래될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 중소 규모 서브터미널의 화물 상차 작업 효율화를 목적으로, 화물 상차 및 적재 자동화 로봇 시스템 기술을 개발하고, 개발된 기술 및 제품의 시장성 확장을 위한 방안으로 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다. 화물 상차 로봇 시스템 기술은 화물 정보 형태의 데이터를 수집하고, 처리하는 운영 시스템이 포함되며, 화물 이송을 위한 컨베이어의 작동 관점에서 기계/전자 등의 기술이 포함된다. 즉, 본 연구의 연구 대상인 화물 상차 로봇 시스템은 일반적으로, 대규모 터미널보다 협소한 중소 규모 서브터미널에서 취급되는 2.5톤 화물차량에 적합하고, 다양한 형태의 화물 상차 처리를 수행할 수 있는 융/복합 시스템이다. 이러한 화물 상차 로봇 시스템은 화물 이송용 텔레스코픽 컨베이어, 회전 컨베이어, 엔드 이펙터, 영상 기반 적재 공간 및 상태 확인 인식기, 화물 순로 구분기 등의 핵심 요소 기술로 구성되며, 시스템의 고장 및 결함 예측 등의 유지관리 및 정상/비정상 운영 상황 모니터링을 위한 예지정비 플랫폼이 연계된다. 기존에 연구되어왔던 화물 상차 시스템은 중소 규모 서브터미널 전용 상차 시스템이 아닌, 로봇 암(Arm) 형태로써, 바닥면의 수직 방향으로 공간을 많이 차지하기 때문에, 2.5톤 차량에 화물을 상차하기에는 적합하지 않은 형태이다(Won et al., 2016). 본 연구의 화물 상차 로봇 시스템은 신축 및 회전 방식의 컨베이어 형태로 화물을 이송하고, 적재 공간을 인식한 다음, 엔드 이펙터를 활용하여 적합한 적재 공간에 화물을 상차하는 방식이다. 즉, 본 연구는 개방된 특정 공간에 화물을 적치하는 로봇 기술이 아닌, 중소 규모 서브터미널에서 취급되는 2.5톤 화물차량의 구조적 특성에 맞는 형태로써, 화물 상차 및 적재를 수행할 수 있는 기술을 개발하였다. “Figure 2”와 같이, 화물 상차 로봇 시스템은 2.5톤 화물차량 내부까지 신축될 수 있는 특징을 가지기에, 로봇 암 형태보다 구조적으로 적합하다. 또한, 본 연구의 화물 상차 및 적재 로봇 시스템은 다양한 기술이 접목된 복합 시스템 형태의 물류 기술인 만큼, 고장을 사전에 예측하는 운영 관점의 신뢰성 확보를 통해, 고객의 신뢰도를 증대시키는 방안으로, 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼을 구축하였다.

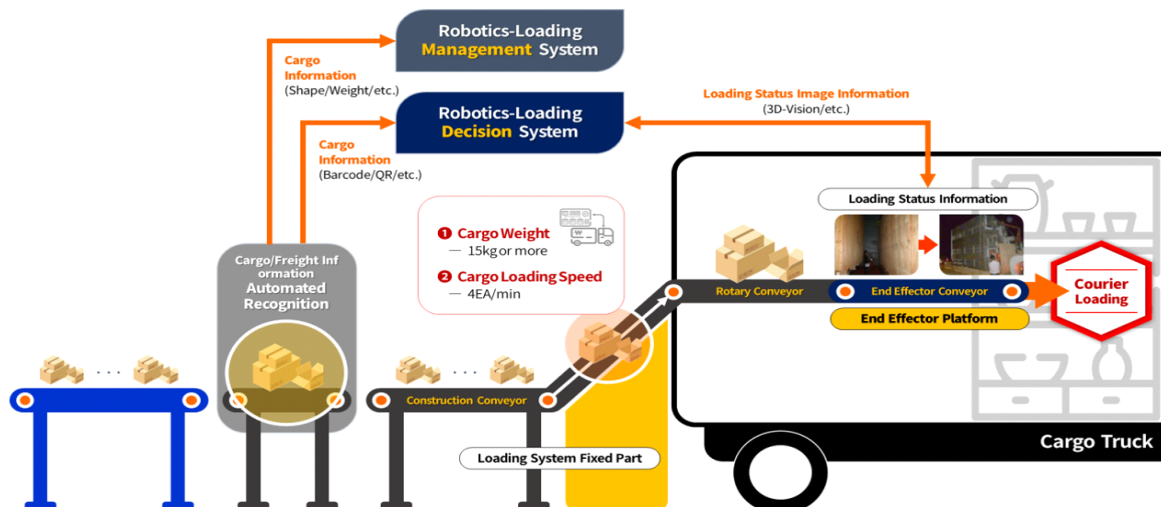


Figure 2. Concept of robot-based loading system technology

2. 관련 선행연구 분석 및 문제 정의

2.1 물류 산업 분야 기술 및 관련 연구

1) 물류 산업 로봇 도입 관련 선행 연구

본 절에서는 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발을 수행하기에 앞서, 선행적으로 진행된 물류 산업 분야 기술 및 관련 연구 분석을 수행하였다. 원종운 등은 심회되는 택배산업의 인력 부족 문제와 관련하여, 로봇 및 지능화 기반의 개선점을 도출하고자, 로봇을 활용한 택배 산업 인력수급 개선 방안에 대한 연구를 수행한 바 있다(Won et al., 2016). 해당 연구는 상/하차 작업에 대하여, 로봇 팔 기반의 상/하차 보조 시스템을 제안하였다. 한수민 등은 물류 현장의 열악한 노동 환경과 높은 노동 강도로 인하여, 개선이 요구되는 택배 상/하차의 효율성을 위한 검증을 목적으로, 시뮬레이션 기반 택배 물류 터미널에서의 화물하차 로봇 도입의 효율성 분석을 수행한 바 있다(Han et al., 2020). 김영민은 물류기업의 물류 로봇 사용의도 및 물류 성과에 관한 연구를 수행한 바 있다(Kim, 2021). 해당 연구의 결과로써, 중소 물류 기업의 경우, 물류 로봇 도입의 필요성을 충분히 인식하고 있지만, 도입이 쉽지 않기에, 제도적으로 물류 로봇 기술과 기기의 개발 및 지원 필요성을 제시한 바 있다. 김경아 등은 토픽 모델링을 활용한 물류 분야 로봇 활용 관련 연구 이슈와 동향 분석을 수행한 바 있다(Kim et al., 2023). 해당 연구는 물류 분야에 활용되는 로봇 관련 핵심 주제들을 도출하고 핵심 주제들간의 관계를 분류한 결과를 제시하였다. 광경민 등은 4, 5년 전 고정식 설비 중심 형태에서의 물류 솔루션에서, 현재는 확대되는 이커머스로 인하여, 물동량 변동과 다양한 불확실성으로 자동화 로봇 활용의 확대 및 필요성을 제시하였다(Kwak et al., 2022). 이정수 등은 물류센터 내 출고 작업에서의 로봇 기반 혼합적재 자동화 프로세스 설계에 관한 연구를 수행한 바 있다(Lee et al., 2023). 본 연구는 분류 자동화에 어려움을 겪고 있는 물류센터의 인력난 및 생산성 문제에 대한 해소 방안으로써, 혼합적재 설계 방법론을 제시하였지만, 한계점으로써, 혼합적재 자동화의 한 부분만을 분리하여 분석한 한계를 가진다. 또한, 화물차량의 화물칸 내부에 화물을 상차하는 방식이 고려되지 않아, 중소 규모 서브터미널 전용 2.5톤 화물차량 등에 활용하기에는 적합하지 않은 형태이다. 이렇듯, 물류 산업 분야 기술 및 관련 연구 분석을 수행한 바, 다양한 방법론을 통해 물류 산업의 효율화를 위한 자동화 및 로봇 기술의 필요성이 제기되었다. 다만 중소 규모 서브터미널 전용 화물차량 상차 효율성 증가를 목적으로 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발이 수행된 사례는 미미하기에, 본 연구 배송기사 등 상차 작업자의 업무 과부하 해소 목적으로써 의의를 갖는다.

2) 물류 산업 로봇 표준화 동향

물류 산업 분야에 활용되는 로봇 및 자동화 기술의 확대에 따라, 본 절에서는 물류 산업 분야 관련 기술 표준화 분석을 수행하였다. 먼저, ISO TC 299 WG2에서는 서비스 목적의 로봇과 관련된 설계 요구조건을 규정한 ISO 13482를 제정한 바 있다. 그러나 물류 산업 관련 로봇 및 자동화 기술의 시장 확대에 따른 인증 수요로 인하여 ISO 13482의 효용성이 높아지면서 보다 세분화된 형태의 표준 제정이 필요한 시점이다. 이에 따라 2022년 산업통상자원부 국가기술표준원은 추후 물류로봇, 이동형 협동로봇, 신체착용로봇 등과 관련된 국제표준 계획을 제안한 바 있다. 또한 범용적인 협업 로봇과 관련된 표준 ISO 10218에서는 정의된 협업 작업 공간 즉, 로봇과 인간이 동시에 작업을 수행할 수 있는 보호 공간 내의 작업 공간 내에서 인간과 직접 상호 작용하도록 설계된 로봇으로 정의하고 있다. 본 연구의 연구 대상인 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템은 다양한 분야의 요소 기술이 접목된 융/복합 물류 로봇으로써 관련된 특정 표준이 존재하지는 않기에 특정 요소 기술별로 표준화 활용이 필요할 것이라 판단된다. 예를 들어 산업용 로봇에 대한 측면, 컨베이어에 대한 측면 등 범용적인 관점에서 표준화 활용이 필요하다고 판단된다. “Table 1”은 화물 상차 로봇 시스템 관련 기술 표준화 동향 분석 결과를 보여준다.

Table 1. Results of technology standardization analysis in the logistics robot

Type	Contents
ISO 13482	<ul style="list-style-type: none"> Specifies requirements and guidelines for safety design, protective measures, and usage information for personal assistance robots such as mobile companion robots, body assistive robots, and ride-on robots. Describes the hazards associated with the use of the robot and provides requirements for eliminating or reducing the risk due to these hazards to an acceptable level.
ISO 10218-1	<ul style="list-style-type: none"> Specifies requirements and guidelines for unique safety design, protective measures and information for the use of industrial robots.
ISO 10218-2	<ul style="list-style-type: none"> Describes the safety requirements for industrial robots and robot system integration and industrial robot cells defined in ISO 10218-1. Describe the primary hazards and hazardous situations identified and provide requirements for eliminating or appropriately reducing the risks associated with these hazards.
ISO TS 15066	<ul style="list-style-type: none"> Specifies safety requirements for collaborative industrial robot systems and work environments and complements the requirements and guidance for the operation of collaborative industrial robots provided in ISO 10218-1 and ISO 10218-2. ISO/TS 15066:2016 applies to industrial robotic systems described in ISO 10218-1 and ISO 10218-2 and does not apply to non-industrial robots.

2.2 예지정비 플랫폼 구축 관련 연구

본 논문의 연구 대상인 화물 상차 로봇 시스템의 운영 안전성 및 고객과의 신뢰를 확보하여, 제품 시장성을 증대시키기 위한 방안으로, 예지정비 플랫폼을 구축하였다. 운영 안전성을 확보하기 위한 목적으로, 고장 및 결함을 예측하기 위해서는 다양한 방면으로의 노력이 필요하다. 기존에는 신뢰성 분석 연구 분야에서 MTTF(Mean Time To Failure) 방법론을 활용하여, 시스템이나 구성품의 수명주기를 예측하는 연구가 수행되었다. 현재는 기술의 발달로 MTTF와 접목하거나, 인공지능 기반의 예지정비 연구가 진행되고 있는 시점이다. 본 절에서는 물류 상차 시스템의 고장 및 결함 예측을 위하여 예지정비 플랫폼 구축 연구를 분석하였다. 황태민 등은 선박 예지정비 모델 개발을 위한 선박 도크 수리 항목의 텍스트 분석 연구를 수행한 바 있다(Hwang et al., 2021). 해당 연구는 텍스트 분석을 통해 기기들이 서로 다른 파트에 포함되어 따로 작동하고 있지만 동시에 상호연관성을 가질 수 있다는 결과를 도출하였다. 윤익현 등은 선박 운항 특성을 반영한 예지정비 모델 개념을 제안하였으며, MPdM(Maritime Predictive Maintenance)의 개발을 통해 이상 징후를 판단을 기반으로 예지 정비를 수행 기술이 구현되면 선박의 운항 효율성 향상으로 사고 예방 및 비용 절감에 기여할 수 있을 것으로 판단하였다(Youn et al., 2021). 홍창우는 NASA(National Aeronautics and Space Administration) 데이터 셋을 기반으로 인공지능과 빅데이터를 활용한 예지정비 적용 방안에 대한 연구를 수행하였다(Hong, 2022). 해당 연구는 마할라노비스 거리와 주성분 분석을 활용할 경우, 고장 발생 이전에 이상 감지가 가능할 뿐 아니라 고장 전 발생하는 전조증상까지 감지할 수 있다는 결론을 도출하였다. 천강민 등은 설명 가능한 인공지능을 적용한 기계 예지정비 방법을 연구하였으며, 고압압축기의 과거 고장 이력을 수집하여 고장 위험 및 고장 상황을 위한 머신러닝 모델을 제시하였다(Cheon et al., 2021). 이경호 등은 용인 경전철 차량부품 정비 데이터 분석 및 상태기반 예지정비 방안 연구를 수행하였다(Lee et al., 2022). 신뢰성 기반 정비 시스템 구축을 위해 타겟 부품에 설치된 센서들을 통해 수집된 상태의 정보를 분석하여 부품의 결함 여부를 자동으로 판단하고 수명을 예지하는 기술 및 소프트웨어 개발이 필요하다는 결론을 도출하였다. 이제동 등은 머신러닝 기반의 진동 이상신호 분석을 통한 스마트공장 예측정비에 관한 연구를 수행하였다(Lee et al., 2021). 박철순 등은 회전기기 설비에 부착된 진동센서로부터 수집되는 진동신호를 이용하여 회전기기 설비의 이상신호를 탐지하고 결함을 분류하는 모델을 제안하였으며, 대형 항공부품용 5축 가공기의 예측정비를 위하여, 센서 기반 스핀들 모터에 인가되는 전류에 대한 실시간 모니터링을 수행하였다(Park et

al., 2020). 또한, 수집된 전류 신호에 대해 머신러닝 기반의 비정상 탐지 알고리즘을 이용해서 공구에 대한 이상상태를 판단하여 예지정비를 수행할 수 있는 방안을 제시하였다. 이제동 등은 기어박스의 예지정비를 위한 인공지능 기반의 이상탐지 및 결함분류에 관한 연구를 수행하였다(Lee et al., 2019). 설비별 결함에 대한 정보를 잘 나타내는 특정 주파수(결함주파수, 고조파 등)를 따로 추출하여 적지만 유의미한 변수를 이용해 모델을 구축하는 기법에 대한 연구가 필요하다는 결론을 도출하였다. 김정태 등은 머신러닝을 활용한 터보팬 엔진의 잔여 유효 수명 예측 모델을 제안하였다(Kim et al., 2021). 해당 연구의 방법론은 센서만 부착되어 있다면, 머신러닝을 기반으로 터보팬 엔진뿐 아니라 다른 장비들에서도 일반적으로 적용할 수 있으며, 인과관계 파악도 가능하다는 결론을 도출하였다. 김제동 등은 기계학습 기반의 대공장비 수리부속 수요예측모형 연구를 수행하였다(Kim et al., 2019). 해당 연구에서는 지난 5개년의 육군 대공장비 수리부속 수요 데이터를 수집하고 정비내역과 같은 비정형 데이터를 포함한 다양한 정형 데이터 항목을 추출하여 데이터 마이닝 기반의 수요예측 모형을 제안하였다. 이처럼 예지정비 분야는 국방, 항공 등 산업별로 다양한 접근을 통해 수행되고 있는 시점이지만, 물류 산업에 활용되는 로봇 및 시스템을 대상으로 예지정비를 수행한 사례는 미미하였다. 따라서 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템 운영상 발생할 수 있는 고장 및 결함을 식별하여, 안전성 및 고객과의 신뢰를 확보하고, 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 위한 방안으로써 예지정비 플랫폼을 구축하였다.

2.3 문제 정의 및 연구 절차

1) 선행연구 분석을 통한 문제 정의 및 도출

본 연구의 주 목적인 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 제품 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼 구축과 관련하여, 선제적으로, 관련 선행연구 분석을 수행하였다. 먼저, 물류 산업 팽창으로 인한 배송기사 등 작업자의 업무 과부하 해소의 필요성을 인지하였다. 또한, 중소 규모 서브터미널에서 사업을 영위하는 물류 기업의 물류 로봇 도입 필요성을 인지하였으며, 서브터미널에서 취급하는 화물차량에 적합한 상차 로봇 시스템의 필요성을 인지하였다. 마지막으로, 화물 상차 로봇 시스템은 다양한 기술이 접목된 융/복합 형태의 물류 시스템으로써, 운영 안전성 및 고객과의 신뢰를 확보하여, 제품 시장성 증대를 목적으로, 예지정비 플랫폼 구축 필요성을 인지하였다.

2) 연구 절차

따라서 본 연구는 화물 상차 로봇 시스템 기술을 개발하고, 제품 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저, 1장에서 물류 산업의 팽창으로 인한 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 필요성을 기술하였다. 2장에서는 관련 기술 및 선행 연구 분석을 통하여, 문제를 정의하였다. 3장에서는 화물 상차 로봇 시스템의 개발 및 예지정비 플랫폼 구축에 필요한 요소를 식별하고, 이를 기반으로, 개발 수행 과정을 기술하였다. 4장에서는 개발된 결과를 바탕으로, 초기 목적 달성 여부를 판단하기 위한 검증을 수행하였다. 5장에서는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 예지정비 플랫폼 구축에 대한 본 논문의 한계점 및 향후 연구 방향성 등의 결론을 기술하였다. “Figure 3”은 연구 절차를 보여준다.

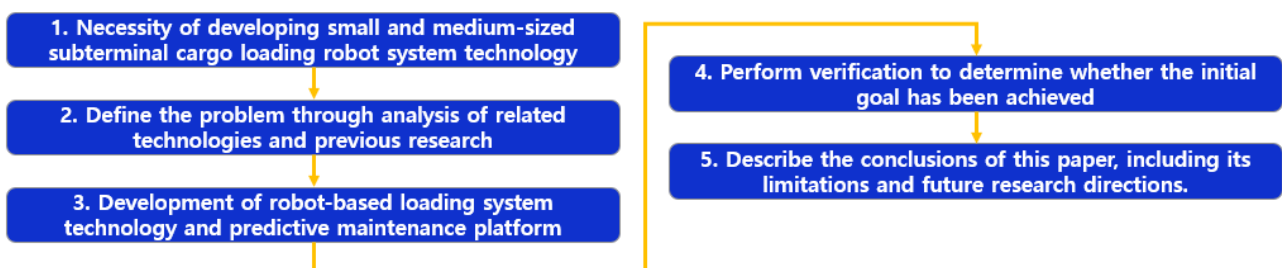


Figure 3. Research procedure

3. 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 예지정비 플랫폼 구축

3.1 화물 상차 로봇 시스템 개발

본 절에서는 화물 상차 로봇 시스템 개발을 위한 대상물 및 화물규격 등 운영개념 분석을 수행한 결과를 기술하였으며, 개발 시스템의 핵심 기술 개발 내용을 기술하였다. 화물 상차 로봇 시스템의 핵심 기술은 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술과 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술이 포함된다. 신축 및 회전 컨베이어 기술은 공간적인 제한이 있는 2.5톤 화물차량의 화물칸 내에서 유동적인 화물 적재를 가능하게 하는 기술이며, 엔드 이펙터 기술은 공압식의 기계적 동작을 통해, 화물을 밀어내는 방식으로 다종 비정형 화물을 적재하는 기술이다.

1) 대상물 및 화물규격 등 운영개념 분석

본 논문은 화물 상차 로봇 시스템의 개발을 목적으로 시스템 운영에 필요한 대상물 및 화물규격을 분석하였다. 대상물 및 화물규격 분석은 적용 대상의 형태, 화물 형태, 상차 효율, 운영 모드, 제어 방법, 사용성 검증으로 구분될 수 있다. 적용 대상의 형태는 2.5톤 이하 소규모 탑차 형태의 물류 배송 차량을 대상으로, 서브 터미널의 경우 1톤 트럭 중심이다. 화물 형태는 박스, 자루 등 다양한 형태의 화물로써, 비정형 화물을 포함한다. 필요한 정량적인 상차 효율은 분당 4개로 도출되었다. 운영 모드는 반자율, 자율 모드로 구분될 수 있다. 반자율 모드는 반자율 기반의 차량 화물칸 진입 및 방향 조정 기능이며, 자율 모드는 화물 크기, 형태, 무게 등에 맞추어 효율적인 적재 자동화와 영상기반 환경정보 획득 및 적재 지원 자동화 기능을 포함한다. 제어 방법은 네트워크 기반의 통합제어 시스템으로 이뤄지며, 사용성 검증은 실증을 통한 상용화 가능성 검증으로 구성된다. “Table 2”는 대상물 및 화물규격 분석 결과를 보여 준다.

Table 2. Results of technology standardization analysis in the logistics industry

Type	Contents
Type of system application target	▪ 2.5-ton small truck-type logistics delivery vehicle
Type of cargo	▪ Shape suitable for loading end effector and cargo transfer
Loading efficiency	▪ Load more than 4 cargoes per minute
Operating mode (Semi-autonomous)	▪ Semi-autonomous vehicle cargo bay entry and direction adjustment function
Operating mode (Autonomous)	▪ Efficient loading automation according to cargo size, shape, weight, etc. ▪ Automation of image-based environmental information acquisition and loading support
Control method	▪ Network-based integrated control system
Usability verification	▪ Verification of usability through verification

2) 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술 개발

신축 컨베이어는 투입된 화물을 전달받아, 회전 컨베이어로 전달하는 역할을 수행하며 화물의 목표 적재지점에 맞춰, 길이 조절 및 상/하 각도 조절이 가능하다. 신축 컨베이어는 1미터당 30kg 무게의 화물을 이송할 수 있는 출력을 가진 구동 모터와 컨베이어 및 유압식 실린더, 신축 모듈로 구성되어있다. 신축 컨베이어는 총 3단으로 구성되어있으며 최소 길이 4m에서 최대 4.3m까지 신축이 가능하도록 설계되어 총 8.3m의 컨베이어 이송 기능을 수행할 수 있다. 신축 컨베이어의 측면부에는 상/하 각도 조절 기능을 수행하기 위하여, 유압식 실린더를 부착하였다. 신축 컨베이어는 회전 컨베이어와는 화물의 안전

한 이송을 위하여 물리적인 유격 없이 이어져 있어야 한다. 따라서 신축 컨베이어와 회전 컨베이어가 연결되는 부분에 관절 커버를 설치하였다.

회전 컨베이어는 신축 컨베이어에서 전달된 화물을 말단 컨베이어 및 엔드 이펙터로 전달하는 역할을 수행하며 신축 컨베이어와 마찬가지로 화물의 목표 적재지점에 맞춰 좌/우/상/하 각도 조절이 가능하다. 회전 컨베이어는 구동 모터와 컨베이어, 서보 모터 활용 회전 모듈로 구성되어있다. 회전 컨베이어는 서보 모터를 활용하여 좌/우 방향으로 10°까지 회전 기능을 수행할 수 있으며, 회전축에는 레이저 센서를 장착하여 회전 각도를 모니터링하고 정상 작동 여부를 확인할 수 있다. “Figure 4”는 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술의 개념도를 보여준다.

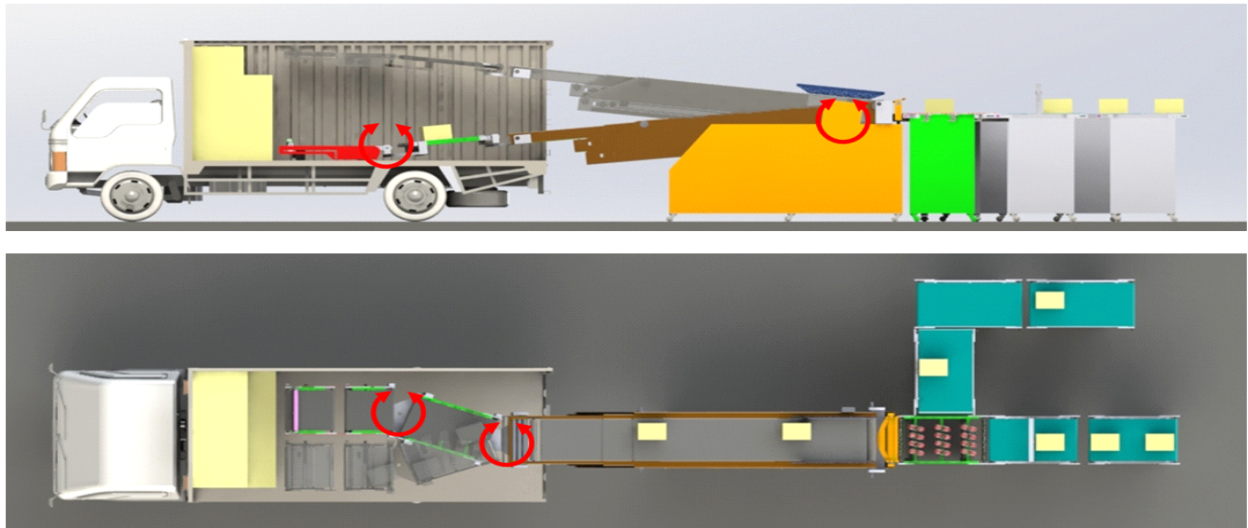


Figure 4. Development of expansion and rotation conveyor for space utilization efficiency

3) 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술 개발

엔드 이펙터는 회전 컨베이어 및 말단 컨베이어에서 화물을 전달받아 2.5톤 화물차량의 화물칸 안 목표 적재지점에 직접 적재를 수행하는 최종 단계의 기술이다. 마찬가지로 엔드 이펙터도 서보 모터를 활용하여, 좌/우/상/하 각도 조절이 가능하다. 화물이 비정형 형태일 경우 파지할 수 있는 방식에는 물리적인 한계가 존재한다. 따라서 엔드 이펙터는 공압식의 기계적 동작을 통해 화물을 밀어내는 방식으로 다종 비정형 화물을 적재하는 기능을 수행할 수 있다. 또한 엔드 이펙터는 회전 컨베이어와 마찬가지로 서보 모터를 활용하여, 좌/우 방향으로 10°까지 회전 기능을 수행할 수 있으며 회전축에는 레이저 센서를 장착하여 회전 각도를 모니터링하고 정상 작동 여부를 확인할 수 있다. “Figure 5”는 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술의 개념도를 보여준다.

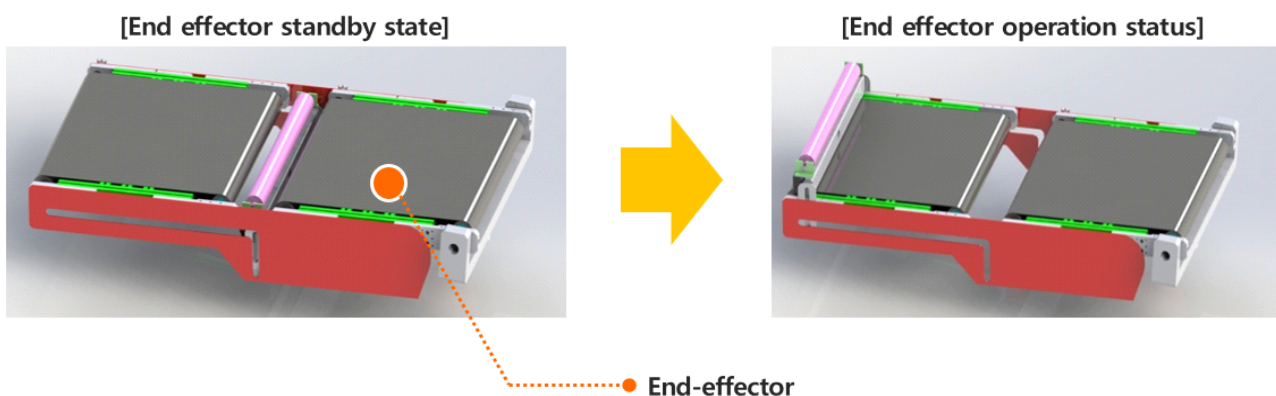


Figure 5. Development of end effector for loading various types of irregular cargo

4) 통합 인터페이스 제어 측면의 기술 개발

화물 상차 로봇 시스템은 앞서 제시한 요소 기술들이 상호적으로 원활히 구동되어야 한다. 따라서 본 연구에는 각각의 요소 기술들의 통합 관리 및 제어를 인터페이스 요소로써 시스템 제어 측면의 기술 개발을 수행하였다. 먼저 화물 상차 로봇 시스템을 구성하고 있는 각각 신축 컨베이어, 회전 컨베이어 등의 관절 간 모니터링을 위한 기능을 구현하였다. 이는 서보 모터 드라이버의 모니터링 기능으로써 모터의 전원 상태 및 작동 현황을 일괄로 모니터링 할 수 있는 기능과 회전 컨베이어와 엔드 이펙터의 회전 기능을 모니터링하기 위하여 회전각을 감지할 수 있는 기능으로 구현된다. 또한, 원활한 화물 적재를 위하여, 2.5톤 화물차량의 내부 화물칸을 모니터링하기 위한 목적으로, 엔드 이펙터 말단에 모니터링용 카메라를 장착하였다. 해당 기능은 환경적 요인으로 인하여 엔드 이펙터가 화물 적재를 실패할 경우, 작업자가 원격으로 조작할 수 있는 기능을 포함한다. 마지막으로 각도 조절용 서보 모터 및 컨베이어 등 화물 상차 로봇 시스템의 상세 제어 기능을 구현하였다.

3.2 예지정비 플랫폼 구축

화물 상차 로봇 시스템은 융/복합 시스템으로써 복잡한 구조로 이루어진 자동화 시스템이다. 따라서 작업자의 별도 조작없이 목적된 기능을 수행할 수 있어야 한다. 일반적으로 시스템 및 제품은 본질적인 기술에 대한 개발도 중요하지만 개발된 기술이 운영되는 과정에서 폐기 단계까지의 수명주기 동안 본래의 목적을 원활히 수행하는지의 여부도 중요한 요소이다. 즉 기술 개발이 종료됨에 따라 고객에게 시스템 및 제품이 인도된 후 운영적인 측면에서 고려되어야 하는 안전성 등은 고객과의 신뢰 확보에 중요한 요소이다. 따라서 고객 입장에서는 시스템 및 제품이 원활히 운영되고 있는지, 혹은 환경적/운영적 측면의 다양한 요소에 따라 비정상적으로 운영되어 사업에 영향을 끼치지 않는지를 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 목적으로 시스템의 고장 및 결함을 미리 예측하고 운영 데이터를 모니터링할 수 있는 방안으로 예지정비 플랫폼을 구축하였다.

1) 인공지능 딥러닝 기반의 LSTM(Long Short-Term Memory) 모델

특정 시스템의 고장 및 결함은 수명주기의 흐름에 따라 나타나는 시계열 데이터로 관측할 수 있다. 시스템의 고장 및 결함을 예측하는 방안 중 범용적으로 활용되는 시계열 기반의 인공지능 딥러닝 모델은 LSTM 모델이 있다(S. Hochreiter et al., 1997). LSTM은 비교적 오래전에 제시된 개념이지만 4차 산업 혁명 등 하드웨어 기술의 발전에 따라 빅데이터를 활용할 수 있게 되면서 다양한 분야의 시스템 및 제품의 고장 및 결함 예측에 활용되고 있는 시점이다. 기존 시계열 분석 연구에 활용되어왔던 모델인 RNN(Recurrent Neural Network)은 길이가 긴 시계열 데이터를 학습할 경우 신경망의 깊이가 깊어 지게 되어 기울기가 소실되거나 기울기가 무한대로 발산하는 장기 의존성 문제를 갖고 있다. 이러한 문제는 긴 시계열 데이터 예측에 문제를 발생시킬 수 있다. 예측 대상과 경우에 따라 범위가 다를 수는 있지만 일반적으로 예지정비는 최소 수십 여일 이상의 정상/비정상 데이터를 학습해야 한다. 즉, RNN은 기울기 소실 및 발산 문제로 인하여 예지정비 모델에 적합하지 않다. 따라서 본 논문의 예지정비 플랫폼의 분석 모델은 LSTM을 활용하였다. “Figure 6”은 LSTM의 구조를 나타낸다.

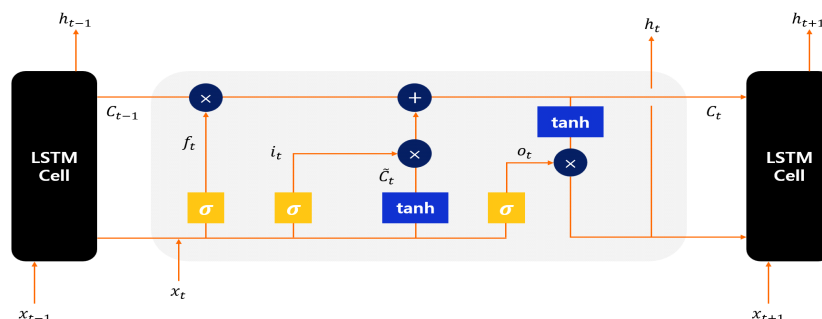


Figure 6. Conceptual diagram of Long Short-Term Memory

2) 예지정비 플랫폼 구축 및 LSTM 모델 개발 환경 조성

예지정비 플랫폼은 인공지능 딥러닝 기반의 LSTM 모델을 활용하며 빅데이터를 취급하기 때문에 구축 환경 조성도 중요한 요소이다. 또한 화물 상차 로봇 시스템은 고객의 요구에 따라서 인도 및 설치되어 운영되는 환경이 다르기 때문에 하드웨어 및 통신 성능이 중요한 요소이다. 즉, 사업을 영위함에 있어 고장 및 결함 등의 부정적인 요소 때문에 발생할 수 있는 비정상 상황을 신속히 식별해야 한다. 본 연구에서는 예지정비 플랫폼 구축에 활용한 프로세서는 13th Gen Intel(R) Core(TM) i5-13400F(2.5GHz), RAM은 32.0GB, 운영 시스템은 Windows 11 Pro 64비트 운영 체제를 활용하였다. LSTM 모델 개발 환경은 pycharm Community 버전 및 Anaconda3를 활용하였으며, 개발 언어는 Python 3.8.16 버전과 Tensorflow2를 활용하였다. 모델 개발과 관련된 라이브러리는 pymysql, numpy, tfSlim, pandas, matplotlib 등을 활용하였다.

3) 예지정비 플랫폼 메인 SW 및 기능 정의

예지정비 플랫폼을 구현하기 위해서는 각각에 해당하는 기능들을 정의해야 한다. 먼저 기능은 장비 데이터 생성과 알람 데이터 생성으로 분류할 수 있다. 장비 데이터 생성은 배치 스케줄러를 통한 장비 데이터를 생성하는 분당 장비 데이터 요청 기능, Rabbit MQ로 데이터를 송신하는 데이터 송신 기능, 배치 스케줄러를 통한 장비 Snapshot 요청을 수행하는 분당 데이터 저장 기능, DB에 저장된 장비별 분당 데이터를 요청하는 시간당 데이터 통합 기능을 포함한다. 알람 데이터 생성은 알고리즘 서버에서 API(Application Programming Interface)를 통한 알람을 요청하는 알람 데이터 요청 기능, Web socket 을 통한 알람을 수신하는 알람 데이터 수신 기능, 웹 Socket을 통한 알람 메시지를 수신하는 수신된 알람 웹 서비스 기능을 포함한다. “Table 3”은 물류 상차 시스템의 예지정비 플랫폼을 구현하기 위한 메인 기능 식별 결과를 보여준다.

Table 3. Results of technology standardization analysis in the logistics industry

Classification	Function	Contents
Generate equipment data	Data request per minute	<ul style="list-style-type: none"> Equipment data generation through batch scheduler Data request with RabbitMQ
	Receive Data	<ul style="list-style-type: none"> Receive data with RabbitMQ SW Storing data in Redis SW (InMemory)
	Save data per minute	<ul style="list-style-type: none"> Equipment Snapshot request via Batch Scheduler Save requested Snapshot data to DB
	Data merge per hour	<ul style="list-style-type: none"> Data requests per minute per equipment stored in DB Data per minute → Save to DB after converting hour data
Generate notice data	Request notice data	<ul style="list-style-type: none"> notice request through API from algorithm server notice request through RabbitMQ SW
	Receive notice data	<ul style="list-style-type: none"> Receiving notices via Web Socket After receiving an notice, it is stored in the notice history DB
	Received notice web service	<ul style="list-style-type: none"> Receive notice message via Web Socket Received notice message displayed on the web main screen

4) 서버간 데이터 흐름 식별 및 예지정비 플랫폼 구축

예지정비 플랫폼 구축의 첫 번째 단계는 정상/비정상 데이터의 수집이다. 먼저 데이터 수집은 데이터를 분석하거나 의사결정을 내리는데 활용하기 위해서 데이터를 모으는 작업이다. 데이터를 수집하기 위해서는 수집할 데이터의 빈도, 저장 형태 등을 고려해야 한다. 예지정비를 수행하기 위해서는 고장 및

결함에 해당하는 Raw 데이터 수집이 필요하다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 핵심 요소인 컨베이어 메인 모터를 대상으로 가속도 3축 및 Gyro 3축 데이터 25만 건을 수집하였다.

MemoryDB(Memory Database)는 관리용 DB로써, RDB(Relational Database)는 분석을 위한 DB로써 활용하였다. 데이터 분석은 앞서 언급한 바와 같이 LSTM 모델을 활용하였다. 본 연구에서 구축된 예지 정비 플랫폼은 1. 수집 및 모니터링 등 데이터 관리를 위한 서버와 2. 데이터 기반 고장 및 결함 분석을 통해 모니터링 서버로 알람을 주는 분석 서버를 별도로 구분하였다. “Figure 7”은 예지정비 플랫폼의 데이터 모니터링 및 관리 서버와 데이터 분석 서버 간 데이터 흐름을 보여준다.

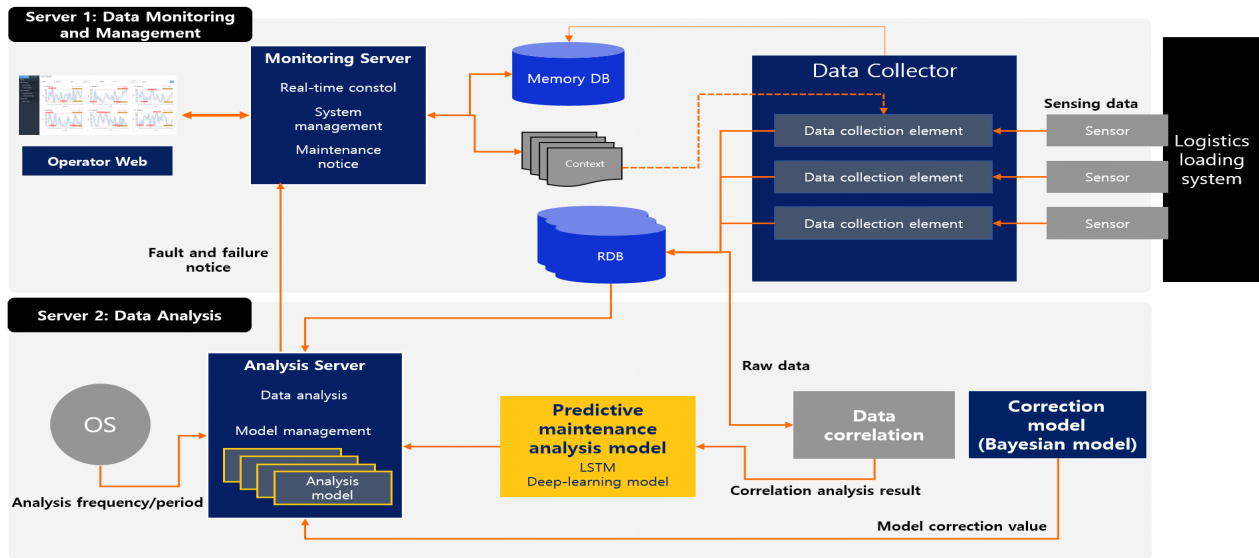


Figure 7. Platform architecture of predictive maintenance

4. 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 예지정비 플랫폼 구축 결과 및 검증

4.1 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 결과 및 검증

1) 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 결과

화물 상차 로봇 시스템은 신축 및 회전 컨베이어, 엔드 이펙터 등의 다양한 기계적 요소 기술이 접목된 형태의 융/복합 시스템이다. 따라서 각각의 요소 기술이 상호적으로 원활히 구동할 수 있도록, 요소 기술간 인터페이스를 중점적으로 검토하였다. 추후, 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확정을 위한 방안으로, 예지정비 플랫폼과의 연계 요소를 고려하였다. “Figure 8”은 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 결과를 보여준다. 현재까지 개발된 화물 상차 로봇 시스템은 추후, 구조적 안전성을 보다 확보하기 위한 보완 요소가 필요하다고 판단된다.

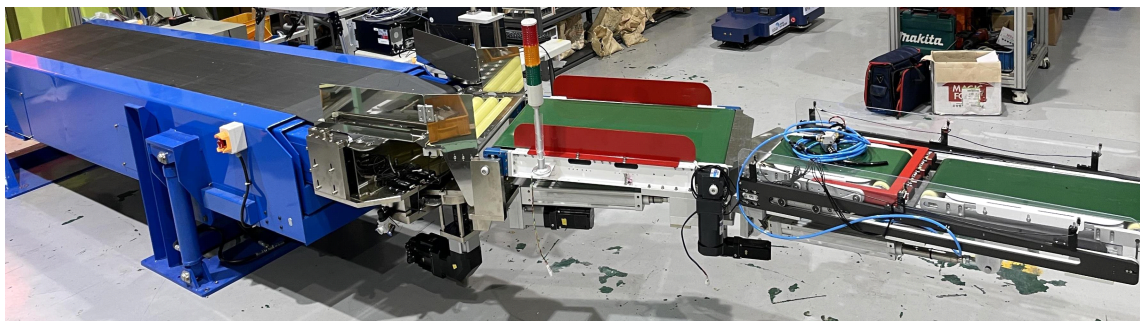


Figure 8. Robot-based Loading System Technology

2) 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 결과의 검증

본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 검증을 위하여 신축 컨베이어 운반 하중 시험, 신축 및 회전 컨베이어의 좌/우/상/하 회전 각도 시험, 엔드 이펙터의 화물 상차 속도 및 허용 가능 무게 시험, 엔드 이펙터의 원격 조작 시험 등을 수행하였다. 신축 컨베이어는 신축 상태에서 30kg/m 이상의 운반 하중 기준을 만족하였으며, 신축 및 회전 컨베이어의 상/하 각도 $\pm 5^\circ$ 이상의 기준, 회전 컨베이어의 좌/우 각도 $\pm 10^\circ$ 이상의 기준을 만족하였다. 엔드 이펙터의 화물 상차 속도는 분당 4개 이상의 기준으로 만족하였으며, 허용 가능 무게도 10kg 이상의 기준으로 만족되었다. 마찬가지로 엔드 이펙터의 좌/우/상/하 각도도 각각 $\pm 10^\circ$ 이상의 기준으로 만족되었다. “Table 4”는 검증을 위한 테스트 목록과 그에 따른 성능 및 통과 기준을 보여준다. 마지막으로, 엔드 이펙터의 원격 조작 시험 또한, 성공률 95% 이상의 기준으로 만족되었다. “Figure 9”는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 다양한 검증 요소 중 하나인 예시로써, 신축 컨베이어 운반 하중 시험에 대한 과정을 보여준다.

Table 4. Verification Testing and Performance

Test	Performance contents
<ul style="list-style-type: none"> Telescopic conveyor transport load test 	<ul style="list-style-type: none"> Carrying load over 30kg/m
<ul style="list-style-type: none"> Telescopic and rotating conveyors Left/right/up/down rotation angle test 	<ul style="list-style-type: none"> Standard for up/down angles of $\pm 5^\circ$ or more Left/right angle $\pm 10^\circ$ or higher
<ul style="list-style-type: none"> End effector loading speed and allowable weight test 	<ul style="list-style-type: none"> Cargo loading speed is 4 or more per minute. The allowable weight is 10 kg or more.
<ul style="list-style-type: none"> End effectors Remote operation test 	<ul style="list-style-type: none"> Left/right/up/down angles must be $\pm 10^\circ$ or more each. Criteria for a success rate of 95% or higher



Figure 9. Conveyor carrying load test (Sample)

4.2 예지정비 플랫폼 구축 결과 및 검증

1) 예지정비 플랫폼 구축 결과

예지정비 플랫폼은 특정 데이터를 검색일자 기준으로 선택된 장비에 차트 형식으로 표시할 수 있으며 화면 표시 내용 중 이상값이라고 판단될 경우 해당 포인트에 붉은색으로 강조하는 기능을 포함한다. 이상값 표시의 기준은 높은 구간(95% 초과 : 측정값 > 최대값 - (중간값 * 5%))과 낮은 구간(5% 미만 : 측정값 < 최소값 + (중간값 * 5%))의 2가지 경우로 설정하였으며 이는 화물 상차 로봇 시스템의 고장 특성에 맞게 조정이 가능하다. “Figure 10”은 이상값 발생 시 데이터 수집 현황 웹을 보여준다. 학습에 활

용된 데이터의 양은 가속도 3축, Gyro 3축을 포함한 총 25만 건이며, Optimizer는 Adam을 활용하였다. Epoch의 경우 100회 이상에서 유의미한 차이가 존재하지 않았기에 100회로 설정하였다. 추후 본 논문의 후속 연구로써 예지정비 플랫폼 최적화를 위한 LSTM 이외의 모델에 대한 비교, Optimizer 등의 Hyperparameter에 대한 비교 연구를 수행할 계획이다.

Figure 10. Predictive maintenance platform web

본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 위한 방안으로, 제시한 예지정비 플랫폼 구축 결과의 검증을 수행하였다. 검증 방안으로는 예지정비 플랫폼의 기능 수행 완료 유무를 확인하였으며, 데이터 수집/저장/처리 관점에서는 1,000건 기준 1초 이내 데이터 수집/저장/처리가 가능한 성능을 만족하였다. 또한, 분석 관점에서는 데이터 상관관계 분석 시 0.5초 이내에 결과를 도출할 수 있는 성능을 만족하였다. “Figure 11”은 예지정비 플랫폼의 수행 결과를 보여준다.

Figure 11. Verification of predictive maintenance (Sample)

앞서 제시한 화물 상차 로봇 시스템 및 예지정비 플랫폼 구축 검증 결과에 추가적으로 전문가 자체 평가를 수행하였다. 본 과정에 투입된 전문가 집단은 물류, 인공지능 분야 3년~10년 경력을 지닌 전문가 총 7명으로 구성되었다. 평가는 체크리스트의 형태로써 기술 개발 초기 단계에 요구되었던 기능들을 식

별하고 목적 달성 여부를 자체적으로 평가하였다. 체크리스트는 “2.5톤 화물차량 내부에 상차 시스템 운영이 가능한가?”, “화물차량 내부에서 화물 적재량 기준을 만족하는가?”, “화물차량 외부에서 내부로 상차 시스템의 접근이 가능한가?(신축 컨베이어 기능 수행 여부)”, “예지정비 플랫폼이 정상적으로 데이터를 수집할 수 있는가?” 등으로 구성된다. “Table 5”는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 예지정비 플랫폼 구축의 평가 결과를 보여준다.

Table 5. Objective achievement checklist assessment

Contents	Yes/No
▪ Is it possible to operate the loading system within the vehicle?	Yes
▪ Is it possible to load cargo within the vehicle and use a gripper?	Yes
▪ Is it easy to load boxes on a pallet in a vehicle?	Yes
▪ Does the amount of box loading in the vehicle reach the standard loading capacity?	Yes
▪ Is it possible to install a conveyor belt from the outside of the vehicle to the inside of the vehicle?	Yes
▪ Is the overall operation of the loading system smooth?	Yes
▪ Does the conveyor transfer speed for each delivery box reach the standard speed?	Yes
▪ Does the loading system perform more smoothly than the existing system?	Yes
▪ Is the use of the loading system more effective in terms of manpower and work time compared to the existing system?	Yes
▪ Is it possible to collect data from the predictive maintenance platform?	Yes

5. 결론

근래에는 정보통신 기술의 발달 및 맞벌이, 1인 가구의 증가 등 사회구조의 변화에 따라 소화물 다 품종 위주의 생활물류가 급증하고 있는 시점이다. 이렇듯 생활물류 산업의 팽창은 국민 삶의 질을 증가시킬 수 있지만 물류 산업 종사자 입장에서는 과도한 업무 부하와 삶의 질 저하로 이어질 수 있다. 또한 물류 프로세스 중 상차 작업은 특성상 새벽과 야간에 집중되기 때문에, 작업 생산성 저하 및 안전사고의 위험으로 초래될 수 있다. 중소 규모 서브터미널은 대규모 터미널보다 공간적으로 협소하기에 물류 자동화를 위한 설치가 어려운 실정이다. 기존에 제시된 로봇 암 형태의 화물 적치 및 적재 로봇의 경우 바닥 면의 수직 방향으로 공간을 많이 차지하기 때문에 중소 규모 서브터미널에 설치가 어렵고 화물 상차 작업을 위한 2.5톤 화물차량 내부 접근이 어려운 단점이 있다. 따라서 본 연구는 중소 규모 서브터미널 특성에 적합한 화물 상차 로봇 기술에 대한 연구가 미흡한 상황에서 이를 해소하기 위한 목적으로 화물 상차 로봇 시스템 기술을 개발하고 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다.

화물 상차 로봇 시스템 기술 개발과 관련된 사항으로는 1. 대상물 및 화물규격 등 운영개념 분석, 2. 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술 개발, 3. 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술 개발, 4. 통합 인터페이스 제어 측면의 기술 개발로 구성되어있다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 검증에 위하여 신축 컨베이어 운반 하중 시험, 신축 및 회전 컨베이어의 좌/우/상/하 회전 각도 시험, 엔드 이펙터의 화물 상차 속도 및 허용 가능 무게 시험, 엔드 이펙터의 원격 조작 시험 등을 수행하였다. 예지정비 플랫폼 구축과 관련된 사항으로는 1. 인공지능 딥러닝 기반의 LSTM 모델 개발, 2. 예지정비 플랫폼 구축 및 LSTM 모델 개발 환경 조성, 3. 예지정비 플랫폼 메인 SW 및 기능 정의, 4. 서버간 데이터 흐름 식별 및 예지정비 플랫폼 구축으로 구성되어있다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 위한 방안으로, 데이터 수집/저장/처리 성능 등을 활용하여, 제시한 예지정비 플랫폼 구축 결과의 검증을 수행하였다. 마지막으로 앞서 제시한 화물 상차 로봇 시스템

및 예지정비 플랫폼 구축 검증 결과에 추가적으로 전문가 자체 평가를 수행하였다.

현재 개발된 화물 상차 로봇 시스템 기술은 보다 안정성있는 운영을 위하여 구조적인 관점에서 보완이 필요하며 화물 순로 구분기, 적재의사 결정 시스템의 고도화 등 세부 요소 간 인터페이스 관점에서 통합적인 보완이 필요하다. 또한 본 연구는 화물 하차 작업을 위한 진공식 파지 기술에 대한 부분이 부재하기에 화물 상차 작업에만 초점이 맞춰져 있고 추후, 상/하차 기능을 수행할 수 있는 부분에 대한 후속 연구가 필요하다. 예지정비 플랫폼의 경우 본 연구에서는 가속도 및 Gyro 데이터를 활용하였으나 추후 수집 데이터를 확장하여 연관성을 분석할 계획이다. 따라서 전반적인 관점에서 세부 요소를 모두 포함하여 시스템 통합 및 고도화 등의 후속 연구를 수행할 계획이다. 본 연구의 결과로써 제시된 화물 상차 로봇 시스템 기술과 예지정비 플랫폼은 물류 산업의 팽창으로 인한 물류 산업 종사자의 업무 과부하를 해소할 수 있는 방안으로 활용될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- Cheon K. M., Yang J. K.(2021), Explainable AI Application for Machine Predictive Maintenance, Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering, 44(4), pp. 227-233
- Han Sumin, Won Jong Un, Lee Suk, Enkhtsetseg Sampil(2020), The Study on the Efficiency of Parcels Unloading Robot at Delivery Logistics Terminal, Korean Journal of Logistics, 28(6), 1-11
- Hong C. W.(2022), A Study on the Application of Predictive Maintenance Using Artificial Intelligence and Big Data, The Quarterly Journal of Defense Policy Studies, 38(2), pp. 197-228
- Hwang T. M., Youn I. H., Oh J. M.(2021), Study on Text Analysis of the Liquefied Natural Gas Carriers Dock Specification for Development of the Ship Predictive Maintenance Model, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 27(1), pp. 60-66
- Jungsoo Lee, Hyangsook Lee(2023), A Study on the Design of Robot based Automation Process of Mixed Palletizing for Shipping Operations in Distribution Centers, Korean Journal of Logistics, 31(4), pp. 1-11
- Kim J. D., Lee H. J.(2019), A study on Predictive Model for Forecasting Anti-Aircraft Missile Spare Parts Demand Based on Machine Learning, Journal of the Korean Data And Information Science Society, 30(3), pp. 587-596
- Kim J. T., Seo Y. W., Lee S. S., Kim S. J., Kim Y. G.(2021), A Proposal of Remaining Useful Life Prediction Model for Turbofan Engine based on k-Nearest Neighbor, Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), 22(4), pp. 611-620
- Kim M. S., Kim Y. M.(2023), On a Study of Reliability-Based MTTF Derivation and Parts Requirement Prediction for Securing Safety of Robot-Based Cargo Loading System, Journal of Korea Safety Management & Science, 25(1), pp. 15-21
- Kyung-A Kim, Hosang Jung(2023), Research Issues and Trends for Robots in Logistics Using Topic Modeling, Korean Journal of Logistics, 31(2), 87-99
- Kyungmin Kwak, Buhm Park, Eunji Go, Chuljoo Yoon, Kyunghoon Kim(2022), Rapidly Spreading Logistics Robot Applications, The Journal of Korea Robotics Society, 17(4), 387-396
- Lee J. D., Kim G. B., Song I. H.(2021), A Study on the Predictive Maintenance of Smart Factory through ML-Based Analysis of Vibration Abnormal Signal, Journal of The Korea Society of Information Technology Policy & Management (ITPM), 13(6), pp. 2723-2728
- Lee J. D., Kim H. S., Kim J. H.(2019), A Study on AI-based Anomaly Detection and Defect Classification for Predictive Maintenance of Gearb, Journal of The Korea Society of Information Technology Policy & Management (ITPM), 11(6), pp. 1497-1502
- Lee K. H., Lee J. Y., Kim Y. M.(2022), A Study on the Maintenance Data Analysis of Vehicle Parts of Yongin Light Rail and Condition-Based Prediction Maintenance, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, 18(1), pp. 1-13
- Lee S. M., Kim Y. M.(2021), On the Development of Robot-based Loading Automation Systems Operation Concepts and Requirements for Logistics Efficiency of Sub-terminal, Journal of Logistics Science & Technology, 2(2), pp. 62-74

- Park C. S., Bae S. M.(2020), A Study on the Predictive Maintenance of 5 Axis CNC Machine Tools for Cutting of Large Aircraft Parts, Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering, 43(4), pp. 161-167
- S. Hochreiter, J. Schmidhuber(1997), Long Short-Term Memory, Neural Computation, 9, pp. 1735-1780
- Won Jong Un, LEE JooAe, YoonSeok Chang(2016), The Study on Improvement of Human Resource Problem in Parcel Industry Using Robot, Korean Journal of Logistics, 24(3), 79-92
- Youn I. H., Park J. K., Oh J. M.(2021), A Study on the Concept of a Ship Predictive Maintenance Model Reflection Ship Operation Characteristics, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 27(1), pp. 53-59
- Young-Min Kim(2021), Usage Intention and Logistics Performance of Logistics Robots in Logistics Copanies, The Journal of International Trade & Commerce, 17(3), 529-545

요약문

본 연구에서는 중소 규모 서브터미널의 화물 상차 작업 효율화를 목적으로 화물 상차 및 적재 자동화 로봇 시스템 기술을 개발하고 개발된 기술 및 제품의 시장성 확장을 위한 방안으로 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다. 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발과 관련된 사항으로는 1. 대상물 및 화물규격 등 운영개념 분석, 2. 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술 개발, 3. 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술 개발, 4. 통합 인터페이스 제어 측면의 기술 개발로 구성되어있다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 검증을 위하여, 신축 컨베이어 운반 하중 시험, 신축 및 회전 컨베이어의 좌/우/상/하 회전 각도 시험, 엔드 이펙터의 화물 상차 속도 및 허용 가능 무게 시험, 엔드 이펙터의 원격 조작 시험 등을 수행하였다. 예지정비 플랫폼 구축과 관련된 사항으로는 1. 인공지능 딥러닝 기반의 LSTM 모델 개발, 2. 예지정비 플랫폼 구축 및 LSTM 모델 개발 환경 조성, 3. 예지정비 플랫폼 메인 SW 및 기능 정의, 4. 서버간 데이터 흐름 식별 및 예지정비 플랫폼 구축으로 구성되어있다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 위한 방안으로, 데이터 수집/저장/처리 성능 등을 활용하여, 제시한 예지정비 플랫폼 구축 결과의 검증을 수행하였다.

주제어: 물류 시스템, 로봇 기반 상차 시스템, 중소 규모 서브터미널, 화물 상차, 예지정비