

중소 서브터미널의 물류 효율화를 위한 로봇 기반 상차 자동화 시스템 운용개념 및 요구사항 개발에 관한 연구

이상민¹, 김영민^{1†}

¹아주대학교 시스템공학과

On the Development of Robot-based Loading Automation Systems Operation Concepts and Requirements for Logistics Efficiency of Sub-terminals

Sangmin Lee¹, Youngmin Kim^{1†}

¹Department of Systems Engineering, Ajou University

Globally, the increase in personal income and the advancement of economic structure have developed lastmile-based logistics ecosystem centered on online e-commerce markets. The development of the logistics industry has led to overcrowding of logistics, which increases the volume of freights in urban areas. In order to product delivery work, the courier is essential to load the freight on the cargo truck. In unloading or classification step, it is proceed to the automation logistics equipment like the conveyer belt. However, the work efficiency due to labor overload is decreasing because the automation system isn't applied in the case of loading. Small-scale courier companies perform loading and unloading at night in underdeveloped facilities outside the city center. Therefore, the productivity of the work is lowered and the risk of safety accidents is exposed. In this paper, we propose the operational concept and requirements of robot-based loading automation system to ensure the efficient handling of the increased freight volume nationwide and the work safety of courier drivers. The end effector technology enhancing the freight loading efficiency of the physical distribution sub terminal is analyzed. Finally, design inputs of the robotic conveyor-based automation system are developed to control the final loading position.

Keywords: Loading System, End Effector, Object Detection, Robot Pick-up, Systems Engineering

논문접수일 : 2021.10.11.

심사완료일 : 2021.12.21.

게재확정일 : 2021.12.29.

이 논문은 산업통상자원부의 로봇산업기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음. (20015047)

† Corresponding Author: 주소; pretty0m@ajou.ac.kr

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

현대사회는 사람과의 접촉을 최소화하고 비대면 형태의 정보를 제공받고자 하는 디지털 라이프족의 확산으로 판매자, 소비자와의 대면 거래 방식에서 키오스크, 챗봇 등의 비대면 거래 방식의 무인화 유통체계가 발전되었다(Bae, Y., Shin, H., 2020). 무인화 체계에 맞춰 물류공급 효율화를 위해 지능형 물류 시스템 자동화 프로세스를 중심으로 디지털 뉴딜 기반 공동물류 허브(HUB)와 무인 택배물품보관장치, 콜드체인(Cold-chain) 기반 라스트마일(Lastmile) 서비스를 중심으로 비대면 물류산업 생태계가 조성되었다(Kim, J., Lee, S., 2002). 비대면 물류산업은 온라인 시장 성장과 더불어 전국 단위 택배 물동량을 증가시키는 등 택배시장 성장의 견인차가 되고 있다. 주문받은 상품의 배송을 위해 택배기사는 트럭에 화물을 적재하는 상차작업을 선진행하고, 배송지에 직접 방문하는 프로세스를 활용한다(Jung, H., Ahn, A., 2008). 배송될 화물을 2.5톤 규모의 트럭에 상차하는 업무는 비정형 이형화물의 취급에 대한 안전성이 보장되어야 하고, 반복적인 업무 수행(On going Job)으로 노동 부하가 높다는 단점이 존재한다. 또한, 작업 효율성을 감소시키고, 화물 처리 과정 상 작업자의 안전사고를 초래하는 등 생산력 감소로 인한 사회적 비용을 상승시키는 문제가 발생된다. 따라서, 상차 자동화 처리기술을 기반으로 적재 효율성을 높이고 작업 강도와 위험원을 감소시켜 인적자원을 보호하는 등 지능형 로봇기술 기반 상차시스템이 필요한 상황이다(Jung, P., Jeon, Y., 2021). 이에, 본 논문에서는 물류산업의 성장으로 증가하는 택배 물동량의 효율적 처리와 택배기사의 작업 생산성을 증대시키고 화물 적재 최적화를 위해 보관된 화물의 무게, 배송 거리, 형태 등을 기반으로 적재 순서를 조절하는 중소 서브터미널에 적합한 로봇 기반 상차 자동화 시스템의 개념과 요구사항을 도출하는 연구를 수행했다.

먼저, 반차율 기반 화물칸 진입과 방향 조정기능이 포함된 상차시스템과 이형 화물의 적재 효율을 높이는 엔드이펙터 기술 및 영상 기반 적재 알고리즘을 기반으로 중소 서브터미널의 근무환경 개선에 필요한 물류 자동화 기반을 제시한다. 로봇 기반 상차시스템을 통해, 다중 비정형 화물 적재를 위한 엔드이펙터를 통해 화물공간을 효율적으로 운영하며, 진공흡착 방식을 적용하여 15kg이상 화물을 파지하는 등 탄력적인 화물처리를 수행할 수 있도록 시스템을 구성한다. 또한, 물동량의 효율적 처리를 위해 수직 및 수평방향에 2중 회전헤드가 적용된 신축컨베이어(Construction Conveyor)를 활용한다. 불량 화물의 필터링과 적재순서를 결정하는 적재의사결정시스템과 이동거리, 무게, 화물의 상태에 따른 상차 스케줄링 알고리즘과 인공지능 기반 영상분석을 통한 적재공간 배치 알고리즘을 추가로 구성한다. 이는 적재상태 분석 알고리즘 오동작으로 상차시와 배송중, 파손된 화물 혹은 위험물이 취급되는 상황을 모니터링하게 하며, 화물트럭에 적재된 화물의 정보의 3D Vision 영상 판독 상태에 따른 위험 화물을 오식별과 같은 안전사고를 최소화하는데 활용될 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 서론에서는 배경 및 필요성에 대한 연구를 진행하며, 택배 상차작업 현황과 상차 자동화 시스템에 대한 선행연구를 토대로 문제점을 개선하기 위한 연구의 목표를 수립했다. 본론에서는 운용개념과 요구사항의 분석을 통해 설계 입력사항을 개발하고, 결론에서는 논문의 결과를 요약 정리하도록 한다. 이렇게 구성된 로봇 기반 상차 자동화 시스템은 향후, 서브터미널 상차시스템 통합제어시스템에서 상차시스템, 화물인식시스템, 적재 의사결정시스템과 연동하여 상차 프로세스의 작업관리와 위험상태 식별 및 진단, 유지보수 등의 예지정비 플랫폼과 통합되어 고도화된 물류 기반을 제공할 것으로 보여진다. 또한, 로봇 협업 및 자동화 기술을 통해 한번에 15kg 이상 파지가 가능한 엔드이펙터를 통해, 작업자 노동 강도를 줄이고, 다양한 상차 관련 알고리즘과 모니터링 시스템을 통해 배송 프로세스 상 안전사고를 최소화하는 등 물류시스템에 대한 안전성과 신뢰성을 증대시키고자 한다.

1.2 이론적 배경

1) 택배 상차작업 관련 현황 분석

고객에게 배송되는 택배 화물은 자동화 장비를 통해 목적지별로 분류되어 택배기사에 의해 트럭에 상차되게 된다(Jeong, J., Lee, Y., 2019). 배송을 시작하기 전 작업자는 화물을 트럭에 이송하여 적재함 내부공간에 배송지 순서에 맞춰 화물의 적재작업을 수행한다(Heo, S., Min, Y., 2016). 평균 상차소유시간(물건이 모두 정렬 완료된 상태)은 30분 정도로 배송을 위한 적재 과정은 모두 택배기사의 노동력을 통해 수행된다(Moon, Y., 2013). 택배기사가 하루에 배송해야 하는 화물은 매년 증가하고 있기 때문에, 배송이 시작되기 전, 상차로 인한 과도한 업무를 수행하고 있다. 택배기사들은 당일 배송을 위해 야간시간까지 작업을 하고 있으며, 장시간 운행과 배송을 위한 도보 이송 등으로 인한 신체적 부담도 가중되고 있다(Kim, J., Hwang, M., 2021). 이로 인해, Figure1과 같이 2020년 상반기, 택배 배송 중 사망자 9명, 부상자 129명이 발생하는 등 택배기사들의 의도치않은 사망사고가 증가하고 있다(Kim, M., Choi, E., 2021).

이를 해결하기 위해 분류인력 및 새벽배송과 관계된 법령 변경(2022년 1월 1일 공포 예정)을 통해, 택배 작업기사 근무시간을 10시부터 22시까지로 제한하며, 근무강도 감소를 위해 22시 이후 새벽배송을 금지하는 제도 도입에 대해 논의되고 있다. 택배 배송 작업자를 위한 연구의 경우, 작업 효율성과 택배 서비스 경쟁력 개선에 집중되어 있기 때문에, 택배산업의 사회적 문제에 대한 근본적인 해결책이 되지 못한다(Yoon, S., et. al., 2017). 택배 화물의 효율적 처리하기 위한 자동화 장비 관련 테스트베드가 운영되고 있으나, 20대 이상 상하차 차량을 보유한 소규모 물류터미널에서는 자동화 장비를 설치할 수 있는 인프라가 협소하기 때문에, 상차 및 적재작업에 투입되는 작업자 업무 강도를 최소화하는 현실적인 대안책이라 볼 수 없다(Bradski, Gary, et al., 2016).

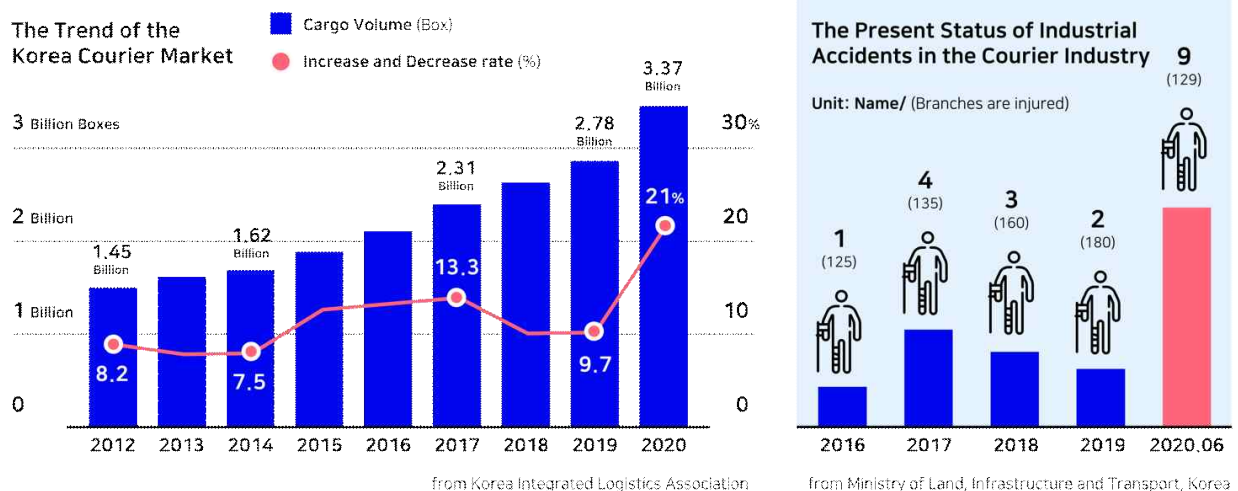


Figure 1. Logistics Accidents Statistics Status, 2020
(Reference : (Left)Korea Integrated Logistics Association, 2020, (Right)Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, 2020)

2) 상차 자동화시스템 관련 선행연구 분석

택배 화물을 효과적으로 처리하기 위한 자동화 장비 관련 선행연구가 진행되고 있다(Chen, Jing, Zhao, Wei, 2019). 대형 허브(HUB) 택배터미널의 경우, 화물을 적재하기 위한 자동화 장치인 텔레스코픽 컨베이어를 활용한 작업을 수행하고 있다. 이는 작업자의 노동 부담을 줄일 수 있으나, 작업자가 직접 화물을 처리해야 한다는 점과 대형 트럭에서만 적용이 된다는 점에서 범용성이 결여된다. 관련 특허 기술인 ‘Autonomous truck loader and unloader’에서는 컨베이어와 연계되고, 트럭 내부에서 로봇 암(Arm)을 이용하여 화물을 적재하는 기술이 선행 개발되고 있다. 화물정보 인식과 적재환경 정보는 고려되지 않았으며, 제한된 공간에서 조작이 어렵다는 한계를 가지고 있다(McCollum, et al., 2018). 이를 개선하기 위해서는, 비정형 화물에 대한 인식기술과 화물 적재 알고리즘을 토대로 화물의 유형을 자동으로 식별하여 상차가 진행되는 차량에 효율적으로 적재할 수 있는 기술이 요구된다.

‘Robotics system with automated package registration mechanism and methods of operating the same’에서는 컨베이어와 연계되고, 트럭 내부에서 각종 센서를 이용하여 위치를 반영해 화물의 적재 작업을 수행하는 기술이 연구되었다. 본 기술은 트럭의 적재함에 최적화된 방향 조절기능 수행에 불리해 작업 환경에서의 활용성이 낮은 한계가 존재한다(Diankov, et al., 2020). 이를 극복한 ‘Automated truck unloader for unloading/unpacking product from trailers and containers’기술은 컨베이어와의 연계와 트럭 적재함 내부에서 각종 센서를 이용해 위치 조절을 수행하고 있다. 하지만, 적재환경 정보 전달을 위한 메커니즘이 구성되지 않은 활용의 한계가 존재한다(Criswell, Tim, 2018). 이를 개선하기 위해 기본적으로 적재상태를 확인하기 위한 영상 기반 장치가 요구되며, 화물 분배기와 순로 구분기를 토대로 화물의 무게, 배송거리, 형태 등을 기반으로 적재 순서를 조정하는 기술도 요구된다. 또한, 상차 차량의 깊이와 높이 등에 따라 높낮이 조정이 가능한 컨베이어, 그리고 컨베이어를 통해 지정위치에 적재를 위한 엔드이펙터 기술이 요구된다.

이와 같이, 상차 자동화 장비 관련 선행사례는 트럭에 화물을 적재하는데 집중되고 있기 때문에, 작업자의 노동력 소모를 줄이기 위한 화물 인식 기술과 적재 환경 인식 기술 적용과 자동화 장치의 상차 효율을 높이기 위한 운용 환경의 정의가 필요하다. 이에 본 논문에서는 안전한 상차와 적재를 위해 개선된 로봇 기반 상차 자동화 시스템의 통합 개념을 정의한다. 물리적 컨베이어 구조를 신축, 회전, 엔드이펙터 구조로 제안한다. 화물 정보와 적재 상태, 배치의 의사결정을 위한 알고리즘과 화물의 상차작업을 모니터링하기 위한 알고리즘, 그리고 로봇 센싱 플랫폼을 통해 화물 끼임, 충격 발생, 작업자 협착 등의 위험감지 센서, 주요 부품 고장을 감지하는 센서와 연동하는 통합 상차 자동화 시스템의 개념을 정의한다. 이렇게 구성된 통합 시스템은 상차시스템 프로세스 상 배치되는 화물의 끼임, 충격발생으로 화물이 파손되거나, 작업자 협착 등의 안전사고에 노출되지 않도록 하고, 3D Vision 기반 화물 영상 판독을 통해 위험물을 취급하지 않게 하며, 자동화 인프라를 토대로 수작업을 대체하는 등 작업 생산성을 높이는 데 의의가 있다.

1.3 연구목표 및 범위

본 논문에서는 비대면 온라인 시장의 급성장으로 발전된 택배 화물의 적재 효율화를 위한 로봇 기반 상차 자동화 시스템의 통합 운용개념과 요구사항을 제시한다. 연구의 방향은 라스트마일 및 리테일테크 기술의 독립 운영이 가능한 서브 터미널과 소형 트럭을 대상으로 하는 적재 자동화 시스템을 제안하며, 환경적 특성을 반영한 운용 개념과 요구사항을 도출한다. 특히, 상차 시스템의 경우, 택배 기사 노동력이 활용되지 않는 자동화 장치로 구성하며, 시스템 엔지니어링 기반 다학제적 관점이 반영된 개발 프로세스를 적용하여 장치 설계 입력사항을 개발한다. 로봇 기반 자동화 개념과 인공지능 기반 영상 인식 개념을 적용한

화물 인식과 적재 공간의 인지기능을 상차 시스템에 종속되도록 통합적인 개념설계도 진행한다.

로봇 기반 상차 자동화 시스템 설계를 위한 요구사항 도출 절차는 현재 서브터미널을 운영하고 있는 실제 현장에서 도출된 도크시설, 자동화 시설 및 인프라, 취급 화물 유형, 상차 자동화 시스템 설치에 필요한 적정공간을 분석하여 환경 특성을 도출했다. 그리고, 시스템 운용 요구사항과 컨셉 설계를 위해 화물 입고부터 화물 차량에 적재 단계까지 수행되는 작업 시나리오를 개발하여 통합 개념과 요구사항을 도출했다. 시나리오 단계별 발생되는 기능과 시스템 요구사항을 정의하여 통합 개념을 설계하기 위한 시스템 계층별 설계 입력사항과 요구사항을 개발했다.

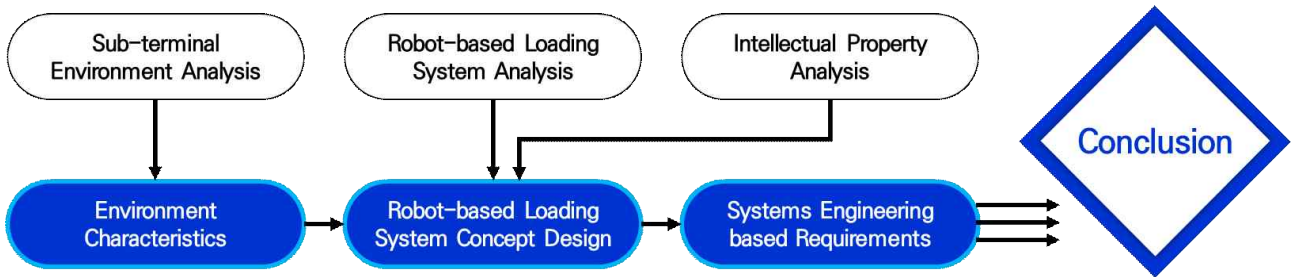


Figure 2. Research Goal and Scope

2. 본론

2.1 상차환경을 고려한 로봇기반 자동화 시스템 운용 요구사항 도출

서브터미널에서 활용되는 화물차량은 보통 2.5톤 이하의 소규모 탑차로 상차에 필요한 모든 택배가 휠소터를 통해 화물이 분류되어 적재를 하기 위해 정렬된 상태에서 1대당 350개의 화물을 상차시켜야 한다. 기존에는 컨베이어와 소터를 토대로 검수된 화물을 기사인력이 차량 사이 1 ~ 2.4m의 적재대기 공간에서 350개의 화물을 분당 12개를 상차시킨다. 하지만, 택배 규격 박스의 사이즈와 무게, 화물 취급형태 등에 따라 분당 상차가능 범위는 줄어들게 된다. 그리고, 상차가 마무리된 차량의 출차를 위해 새벽시간대부터 상차작업을 직접 기사가 수행하기 때문에, 작업 강도라 높은 물류 단계로 구분하고 있다. 이를 개선하기 위해 차량 3대를 단일 상차장비로 처리가 가능하도록 구성된 Figure3과 같은 로봇 기반 상차 자동화 시스템이 필요하다.

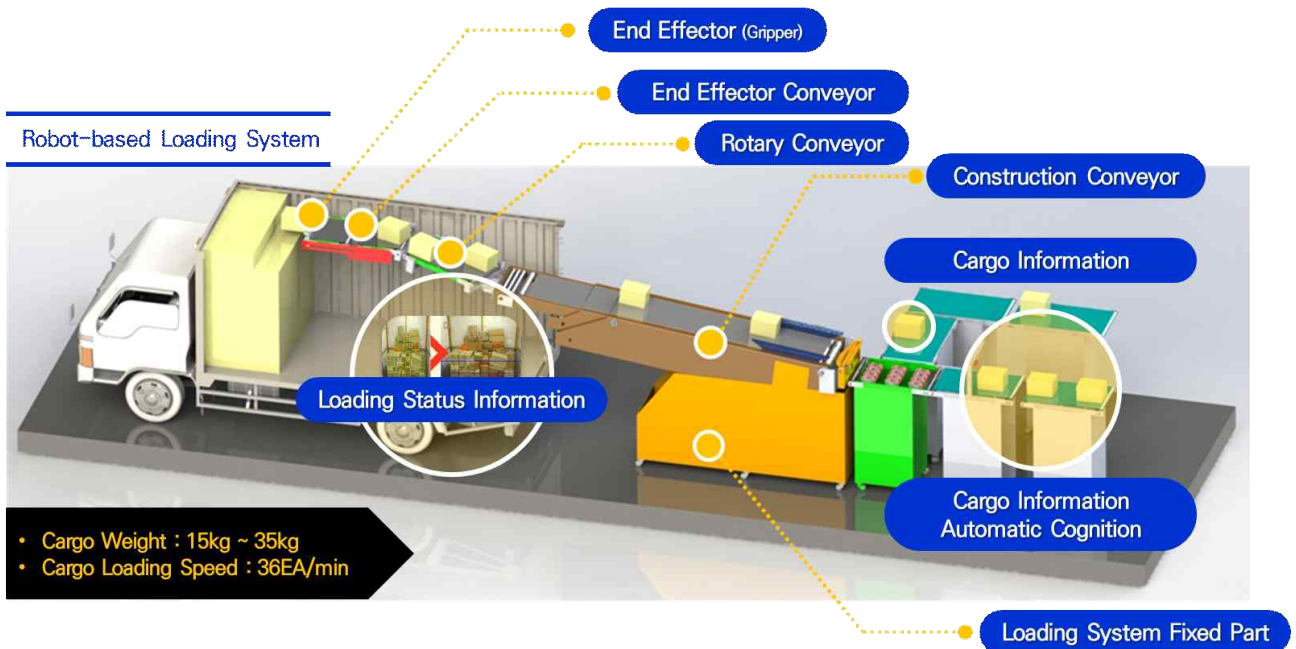


Figure 3. Robot-based Loading System's Operation Concept

본 시스템의 상차를 위해 대기중인 2.5톤 이하 차량의 깊이와 높이에 따라 높낮이 조절이 가능한 신축컨베이어, 정확한 적재 위치선정을 지원하는 회전컨베이어, 그리고 지정위치에 적재하도록 가이드하는 엔드이펙터 컨베이어가 필요하다. 15kg에서 최대 35kg의 중량을 가진 정형, 비정형 화물을 한번에 파지하기 위한 진공 흡착 방식의 엔드이펙터 그리퍼로 분당 36개를 상차시켜, 기존 인프라 대비 3배 이상의 물동량을 안전하게 처리할 수 있도록 하는 엔드이펙터 제어시스템도 적용한다. Figure4와 같이 엔드이펙터 컨베이어에서는 이송될 화물을 컨베이어로 투입시켜 상하좌우 적재위치에 맞게 배치시킨다. 이후 엔드이펙터 그리퍼에서 진공흡착 실린더 기술로 화물을 지정위치에 배치시키는 역할을 수행한다. 로봇기반 엔드이펙터 기술은 기존 물류터미널에서는 차량 6대에 인력 6명이 투입되어 상차를 시켰으나, 본 상차시스템은 차량 3대의 상차 물량을 상차장비 1대로 이송시킬 수 있기 때문에, 3배의 물동량을 효율적으로 처리할 수 있는 특징을 가지게 된다. 택배화물 적재 효율화를 위한 로봇 기반 상차 자동화 시스템은 상기와 같이 적재 환경의 특성을 반영한 설계를 적용한다. 중소 서브터미널에서는 허브터미널에서 운송된 화물을 자동화 장비로 분류하여 배송 목적지별 택배 트럭에 적재하는 과정이 실행된다. 본 과정에서 택배기사의 노동 부하를 줄이고 상차 작업 효율성을 높이기 위한 진공 흡착 그리퍼 기반 상차 자동화 기능이 적용되어야 한다.

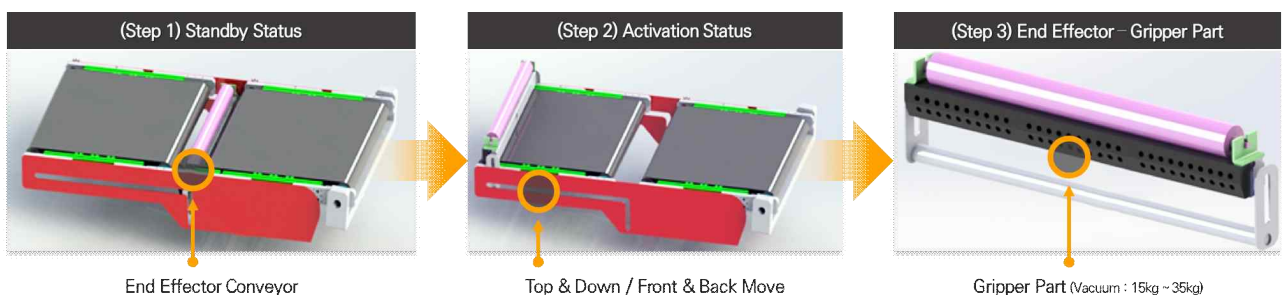


Figure 4. End-Effector Conveyor and Gripper Model

신축컨베이어, 회전컨베이어, 엔드이펙터 컨베이어로 이송될 화물은 화물의 무게, 이동거리, 상태를 점검할 수 있는 적재상태 및 상차작업 알고리즘을 통해 적재 의사결정을 지원받도록 알고리즘을 구성한다, 이를 위해 장치는 Figure 3과 같이 화물을 이송하기 위한 신축 컨베이어, 상차를 위한 엔드이펙터, 적재 공간 및 적재 상태 확인을 위한 영상인식기, 화물순서 및 상차관리를 위한 분배기, 화물상태 및 태그정보 확인을 위한 영상기반 인식기, 화물 끼임 등을 감지하기 위한 센서류가 구성되어야 한다. 또한, 상차작업의 관리와 적재 의사결정을 위한 상차순서, 적재화물 정보 인식 알고리즘이 포함된 인공지능 기반 적재 소프트웨어가 종속되어야 한다. 상차 자동화 시스템에서는 투입된 화물의 형상과 무게를 인식해야하며, 적재순서 결정을 통해 엔드이펙터에 전달하여 적재순서가 결정된 정보에 맞춰 화물을 적재해야한다. 이를 위해 Table 1과 같이 개발 대상 운용개념에서는 구조적 관점 엔드이펙터와 컨베이어, 화물정보인식시스템이 내장되어야 하며, 반자율 및 자율, 수동 등 상차시스템 제어기능과 화물 및 부품단위 위험원 분석을 위한 위험감지센서와 고장감지센서도 구성되어야 한다. 또한, 부품단위 고장이력 관리를 위해 데이터 기반 예지정비 기능도 구현되어야 한다.

Table 1. Robot-based Loading System Operation Concept and Functions

No	Sub-system		Concept and Function
1	End Effector	End Effector	- Final end effector for loading the transferred courier cargo in a designated position - Structure Application for Loading of Various Types of Cargo
		End Effector Conveyor	- Final conveyor for delivering to the end effector - It comprises with the rotation type for the exact loading - Gravity compensation function offer
		Loading State Confirmation Imaging Device	- The apparatus for on a real time basis confirming the information of the cargo loaded in the vehicles
2	Rotaty Conveyor		- Conveyor connected to the end effector - Configure to rotation form for correct location selection
3	Construction Conveyor		- According to the vehicle depth and height, it comprises with the vertical height control form in order to control height
4	Loading System Fixed Part		- Fixing unit for fixing the construction conveyor, the rotary conveyor, and the end effector
5	Cargo Recognition system	Image-based Recognition Device	- Cargo information recognition based on image (barcode and image) - Ordering for Destructive Cargo and Load Optimization
		Construction Conveyor	- Freight transfer conveyor for the image-based cargo information recognizer application - Margin adjustments for recognition and loading planning
		Cargo Distributor	- Ordering for Damage or Optimization after Passing an Image-based Cargo Information Recognition Machine
6	Sequential/Path Divider		- Loading order control based on the weight, delivery distance, and shape of the stored cargo for optimization of cargo loading
7	Loading System Controller		- Semi-autonomous based loading System Location Control - Control of the operating mode of the loading system such as autonomous/passive
8	Hazard Detection Sensor		- Risk detection such as cargo engagement, impact occurrence, and worker stenosis
9	Fault Detection Sensor		- Checking the failure of major parts
10	Predictive Maintenance		- Manage parts production and use history - Maintenance history management of parts

이렇게 구성된 통합 개념은 Figure 5와 같이, 화물 입고단계부터 상차작업관리시스템과 연동되며, 영상 기반 화물정보 및 상태점검을 토대로 화물 적재가 가능한 상태로 전환한 후, 컨베이어부와 연동하여 상차 적재공간으로 이동시키는 작업 흐름을 요구하게 된다. 상차 자동화 시스템의 경우, 화물 입고단계부터 상차 단계까지 기존 수작업을 로봇 자동화 기술로 대체하게 되며, 분당 4개 이상 개당 15kg 이상의 다양한 비정형 상태의 화물을 효율적이고, 안전하게 적재할 수 있게 된다. 특히, 최종 적재 전단계에서는 화물의 파손과 장비의 부품 고장 유무에 따라 데이터 기반 예지정비 플랫폼 및 영상 기반 화물 적재상태 인식기술을 토대로 배차를 고려하는 기술이 중요하게 적용된다.

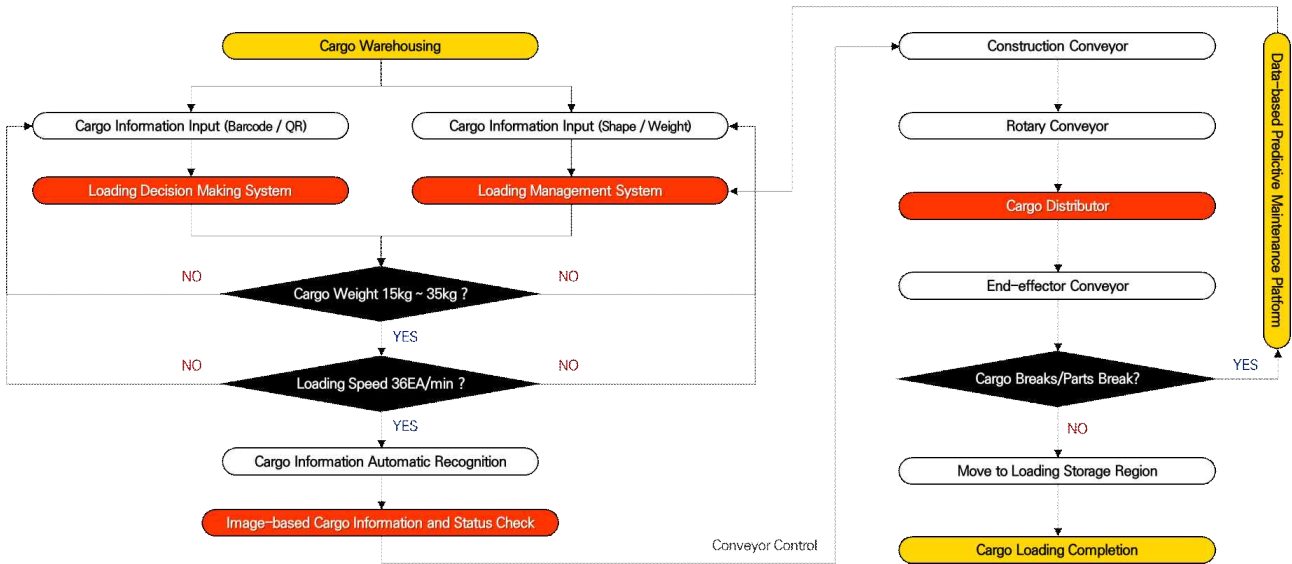


Figure 5. Loading Process

2.2 택배화물 적재환경 인식기술 요구사항 도출

입고될 택배화물의 사전 정보는 주문관리시스템(OMS, Order Management System)을 통해, 택배사와 터미널, 그리고 기사에 사전 제공되는 화물의 유형과 배송지에 대한 정보를 상차 작업관리시스템인 Loading Management System에 연동시킨다. 연동된 정보는 화물의 배송위치, 중량 등 화물 적재와 최적 배치를 위한 배송계획을 설계시키게 되며, 터미널로 입고된 화물의 바코드와 QR코드로 식별된 화물 정보와 대조하여 상차에 대한 의사결정을 진행한다. 의사결정된 화물은 화물 적재작업을 위해 차량에 할당될 화물과 화물 배송위치 정보와 연동시키기 위한 화물 및 적재환경 인식을 수행한다.

화물적재 작업을 위해서는 장치에 투입되는 화물 및 적재환경에 대한 인식기술이 적용되어야 한다. 이를 위해 Table 2에서 명시한 화물 형상인식 및 적재공간 배치 알고리즘이 적용된 적재 의사결정 시스템과 화물정보, 배차정보, 상차시스템의 모니터링을 위한 상차작업 관리시스템이 구현되어야 한다. 특히, 적재 의사결정 시스템은 화물 정보 기반 상차순서와 배치결정 및 적재화물 정보를 인식하는 기능이 필요하다. 공간인식을 위해서는 Depth 카메라 센서를 기반으로 화물의 크기를 고려한 적재 알고리즘이 적용된다.

적재 알고리즘은 화물의 무게, 부피, 상태와 이동 거리를 기반으로 시뮬레이션 결과가 도출되며, 배차차량과 지역정보를 기반으로 최적의 적재구역을 산출한다. 산출된 결과를 통해 화물적재를 위한 Way Point를 도출한다. 상차작업 관리시스템에서는 화물 정보 확인 및 불량 화물 인식 후 처리하는 역할을 수행한다. 이를 위한 로봇 기반 상차 자동화 시스템의 화물 적재 알고리즘 구조는 Table 3와 같다. 본 연구를 통해 제

안하는 인식 알고리즘은 상차 및 적재 운영 과정에서 발생할 수 있는 의도치 않은 고장과 위험원을 식별하기 위한 센서(Hazard and Fault Detection Sensor)가 장착되어 있다.

Table 2. Robot-based Loading System's Cognition Algorithm and Operation System

No	Sub-system		Concept and Function
1	Loading Decision Making System	Cargo Information Recognition	- Checking the loading waiting cargo information associated with the barcode and QR code - Loading management system interworking for confirming loaded load information
		Recognition of Damage through Cargo Image	- AI-based cargo damage recognition algorithm
		Loading State Image Analysis	- Algorithm for loading state analysis based on AI
		Cargo Loading Optimal Arrangement	- AI-based optimization loading layout algorithm
		Loading Decision Making	- Identification of cargo loading based on image information and loading status - Cargo processing in conjunction with an end effector and a cargo dispenser based on identification information
2	Loading Management System	Cargo Information Inquiry	- Inquiry of information-based cargo information acquired through a cargo information recognizer - Providing planning-based information for optimal arrangement of cargo loading, such as cargo delivery location, weight, etc.
		Allocation Information Inquiry	- Provide vehicle allocation cargo and cargo delivery location information
		Loading system Monitoring	- Monitoring the progress of vehicle allocation cargo - Loading system state monitoring - Loading system control for hazard and fault detection

Table 3. Loading System's Recognition Algorithm Step and Structure

No	Algorithm Step and Structure
1	- Measurement of the Weight, Volume, State and Moving Distance of Cargo
2	- Recognition information-based simulation result derivation
3	- Calculation of Cargo Loading Zones based on Distributed Vehicles and Local Information
4	- Optimal cargo loading way point derivation

2.3 로봇기반 상차 자동화 시스템 통합개념 및 요구사항 도출

중소규모 서브터미널의 환경을 기반으로 설계된 로봇 기반 상차 자동화 시스템은 Table 1과 Table 2에서 정의한 기능을 토대로 Figure 6와 같이 2.5t이하 소형 트럭에 최적화되도록 설계되었다. 로봇 기반 상차 자동화 시스템은 영상 인식 알고리즘을 기반으로 화물과 적재공간을 인식하여 최적의 화물 적재와 상차 효율성을 높이도록 구성해야 한다. 화물의 특성을 반영하여 적재 순서가 결정되기 때문에 후순위 화물을 대기시킬 수 있는 대기파트가 구성되어야 한다. 적재 순서가 지연되는 화물은 피벗 휠소터(Pivot Wheel Sorter)

를 통해 대기파트 컨베이어로 이송되어 적재순서가 지정될때까지 대기한다. 적재순서가 결정되면 상차 시스템 내부장치로 투입되어 엔드이펙터를 통해 적재가 완료된다. 본 시스템은 에너지 저감형 컨베이어 장치를 적용하여 에너지 효율을 높이고, 충돌방지 장치와 인식 센서를 통해 적재화물의 파손을 방지하는 기능도 부여된다. 이를 위해, Table 4와 같이 최적화된 상차 시스템 설계를 위한 요구사항이 정의되어야 한다. 통합 개념과 요구사항이 정의된 Figure 6과 Table 4를 토대로, 상차 자동화 프로세스 적용에 필요한 동작 시나리오를 종합해보면 Figure 7과 같다.

동작 시나리오 상, 화물 상차를 위해 먼저 적재 화물 인식기술을 기반으로 적재 순서를 결정하고, 우선순위가 높은 화물은 신축컨베이어로 이송되며, 우선순위가 낮은 화물은 휠소터로 분류하여 적재 대기 장소로 이동하게 된다. 이때, Cargo Recognition system을 통해 화물의 특성(무게와 이송거리) 등을 고려하여 트럭 내 적재위치를 판단하여 적재 순서를 결정한다. 적재 우선순위가 높은 화물을 이송하는 신축컨베이어에서는 지정된 적재위치의 특성에 맞춰 화물을 이송하며, 엔드이펙터와 엔드이펙터 컨베이어에서는 진공 흡착이 가능한 그리퍼를 활용하여 다양한 비정형 화물과 일반 화물을 안정적으로 상차시킨다. 진공 그리퍼의 경우, 모터를 장착한 롤러를 적용하여 그리퍼가 대기상태일 때 화물이 컨베이어에 원활히 이송되도록 하며, 그리퍼 상차 부분의 이동에 있어서는 공압 실린더를 적용하여 이동 시간을 최소화시키도록 한다. 그리퍼의 수평방향 이송은 볼스크류 타입을 활용하여 수평방향 속도조절과 전후 이동이 용이하도록 하여 안정적인 진공흡착과 화물 이송을 수행하도록 설계한다. 통상 물류센터에서는 컨베이어를 통해 화물을 분류하고 상차시키기 위해 수작업을 통해 진행시키나, 본 제안기술은 엔드이펙터 그리퍼 기술을 기반으로 지정된 위치로의 화물 이송과 적재를 단일화시켜 수작업을 대체하는 등 효율성과 안전성을 높이는데 의의가 있다.

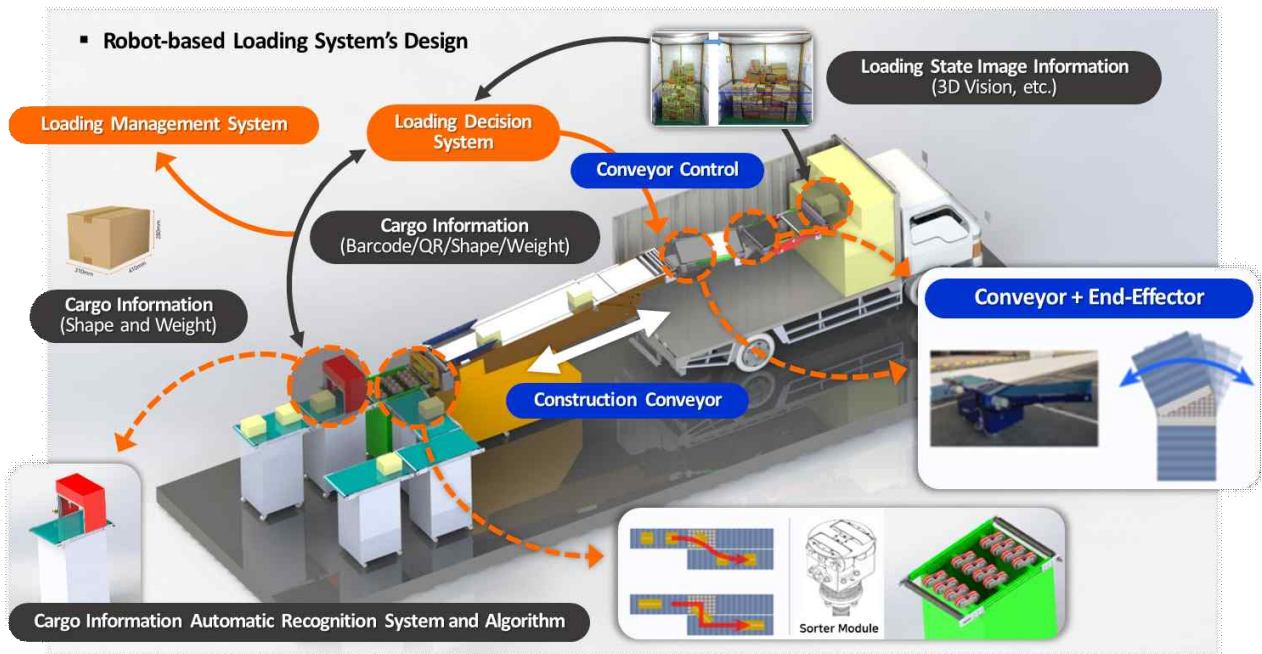


Figure 6. Robot-based Loading System's Integration Model

Table 4. Loading System's Design Requirements

No	Sub-System	Design Requirements
1	- End-Effector(Gripper) + Conveyor	- Efficient multi-type atypical cargo loading
2	- Cargo Information Autonomous Recognition Device	- Realtime cargo recognition and status check
3	- Large Classification Sorter Module	- Faulty cargo collection and loading order control
4	- Loading Decision Making System	- Cargo loading and loading location determination
5	- Loading Management System	- Dispatch vehicle, cargo management and scheduling
6	- AI-based Object Recognition Algorithm	- Image-based loading and loading space recognition

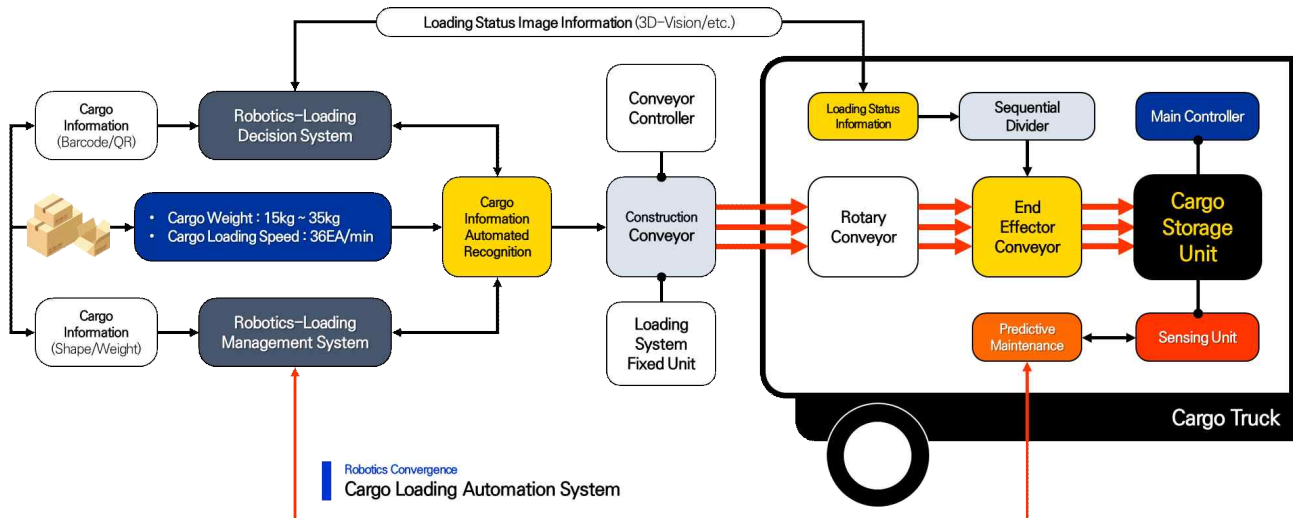


Figure 7. Robot-based Loading System's Operational Scenario

3. 결론

본 논문에서는 기존 택배기사가 수행하던 화물 상차 및 적재작업의 협업화와 무인화를 위한 로봇 기반 상차 자동화 시스템의 통합 운용개념과 요구사항을 설계했다. 본 시스템은 영상 인식 기반 알고리즘을 통해 화물의 정보와 위치 등을 인식하고, Depth 카메라 센서를 통한 공간인식으로 최적의 화물 적재가 가능하도록 적재 알고리즘도 구성했다. 인식된 결과에 대해 각 상차 자동화 모듈을 통해 연동되도록 구성하여, 장치로 투입된 화물의 트럭 내부 적재의 최적화 운영이 보장되도록 설계했다. 본 연구는 상차 작업에 투입되는 택배기사의 노동력 소모를 최소화하고, 화물 처리과정 중 발생하는 안전사고를 방지하여 배송에 집중될 수 있는 작업 기반의 구축을 목표로 했다.

로봇 기반기술이 적용된 상차 자동화 장비 구성을 위해 화물의 적재 위치와 높이에 따라 수직 및 수평 방향으로 이송해야하는 화물을 2중 회전헤드 기반 신축컨베이어를 토대로 배치와 배차의 효율성을 증대시킬 수 있다. 적재가 수행되는 화물의 경우, 화물처리 속도를 증가시켜 물류터미널에서 처리할 수 있는 물동량을 탄력적으로 운영하기 위해 진공흡착방식의 엔드이펙터 그리퍼를 기반으로 실제 적재와 상차를 동시에 처리하게 했다. 로봇기술이 적용된 그리퍼는 진공흡착 방식을 적용하여 15kg에서 최대 35kg의 화물을 파지하여 비정형 및 이형화물의 안전한 취급과 적재를 지원하여, 작업자와 로봇 간 협업 구조를 통해 이형 화물 자율 상차시스템으로 구성될 수 있도록 설계 요구사항을 제시했다. 반자율 기반 화물칸 진입과 방향 조정기능이 포함된 상차시스템과 이형 화물의 적재 효율을 높이는 엔드이펙터 기술의 적용은 다종 비정형 화물 적재를 통해 차량 3대에 상차시키는 물량을 단일 장비로 한번에 처리할 수 있도록 프로세스를 자동화시켰다.

불량 화물의 필터링과 적재순서를 결정하는 적재의사결정시스템과 이동거리, 무게, 화물의 상태에 따른 상차 스케줄링 알고리즘과 인공지능 기반 영상분석을 통한 적재공간 배치 알고리즘은 상차 및 배송단계에서 파손된 화물과 취급 위험물의 상태를 모니터링하여 의도치 않은 안전사고를 최소화할 수 있다. 로봇 기반 상차 자동화 시스템은 향후, 서브터미널에서 진행되는 모든 단계를 상차시스템, 화물인식시스템, 적재 의사결정시스템과 연동시킬 수 있으며, 연동된 프로세스는 상차 작업을 효율적으로 관리하고 위험상태 식별 및 진단, 유지보수 등의 센싱 및 예지정비 기술과 융합하여 안전 물류 기반을 구축할 수 있게 된다. 본 논문에서 다루고 있지 않은 상차시스템 운용 시 발생될 수 있는 단계별 위험원 분석 및 안전 요구사항 기반 사양서 도출 등 시스템 엔지니어링 활동 기반 안전분석 기법 적용이 필요하다고 보여지며, 이를 위한 시스템 위험원 분석, 서브시스템 위험원 분석, 기능 위험원 분석, 인터페이스 위험원 분석 등 상차 자동화 시스템의 안전성과 신뢰성 향상을 위한 안전기술 관련 후속연구가 필요하다고 보여진다.

참고문헌

- Bae, Y., Shin, H.(2020), "Corona 19, Accelerates Untapped Society," Gyeonggi Research Institute, Korea, Issue & Diagnosis, 1-26.
- Kim, J., Lee, S.(2002), "A Study on the Measurement of the Quality of Delivery Service," Korean Management Review, 31(2), 283-294.
- Jung, H., Ahn, A.(2008), "The Effect of Service Quality Attributes on Customer Satisfaction of Courier and Online Shopping Mall," The Korea Contents Association, 8(7), 174-181.
- Jung, P., Jeon, Y.(2021), "The Working Time and Health Disorders of Courier Workers," Korea Industrial Health Association, 394, 30-35.
- Jeong, J., Lee, Y.(2019), "A Study on the Importance of the Delivery Service Process Using Quality Function Development (QFD)," Korea Logistics Review, 29(6), 175-189.
- Heo, S., Min, Y.(2016), "Implementation of Urban Logistics Joint Platform for Improvement of Delivery Logistics Service," Korea Transport Institute, 1-215.
- Moon, Y.(2013), "ICT Convergence-based Transportation System Innovation Plan," Korea Transport Institute.
- Kim, J., Hwang, M.(2021), "Problems and improvements in the working environment of couriers," The Seoul Institute, 1-24.
- Kim, M., Choi, E.(2021), "Special type of work-related courier service provider's industrial accident insurance application and industrial accident characteristics," Journal of Korean Academy of Community Health Nursing, 32(1), 64-72.
- Yoon, S., et. al.(2017). "A Study on the Operating Efficiency of the Sub-Terminal Service Agency," Journal of Digital Convergence, 15(10), 31-43.
- Bradski, Gary, et al.(2016), Moveable apparatuses having robotic manipulators and conveyors to facilitate object movement. US Patent, 9,393,686.
- Chen, Jing, Zhao, Wei.(2019), "Logistics automation management based on the Internet of things," Cluster Computing, 22(6), 13627-13634.
- McCollum, et al.(2018), Autonomous truck loader and unloader, US Patent, 0099415.
- Diankov, et al.(2020), Robotics system with automated package registration mechanism and methods of operating the same, US Patent, 10703584.
- Criswell, Tim.(2018), Automated Truck Unloader for Unloading/Unpacking Product from Trailers and Containers. US Patent, 0334339.