Check for updates

Journal of Korea Robotics Society (2023) 18(3):323-329
https://doi.org/10.7746/jkros.2023.18.3.323 ISSN: 1975-6291 / eISSN: 2287-3961

소포 하차업무 지원을 위한 협동 로봇 적용 연구

Research on the Application of Collaborative Robots to Support Depalletizing of Parcel

김 민 혁[1] · 유 창 욱[1] · 이 철 기†
Minhyuk Kim[1], Changuk Yu[1], Cheolgi Lee†

Abstract: This paper discusses the application of collaborative robots to the de-palletizing in IMC (Inte-grated Mail Center). The domestic courier logistics market has grown rapidly, and logistics centers are reaching critical capacity. Therefore, digital innovation based on logistics automation is necessary, and this paper looks at the factors to be considered when introducing collaborative robots and improvement measures considering the characteristics of the de-palletizing task. The benefits of introducing collaborative robots include immediate efficiency and the goal of assisting workers. The paper reviews related research and cases of collaborative robots applied to logistics centers and summarizes the results of collaborative robots introduced to actual postal logistics centers. The paper also provides a comparison of collaborative robots and industrial robots and presents four candidates for collaborative robots for logistics work. The paper also considers suction grippers to be mounted on the arm to grasp the parcel. The paper concludes by discussing the introduction of collaborative robots in the post office logistics center.

Keywords: Collaborative Robots, Logistics Parcel, De-Palletizing

1. 서 론

ICT 기술의 발전은 인터넷, 스마트폰 등 다양한 매체의 비약적 발전을 이루었고, 언제 어디서든 실시간 온라인 생활을 가능케 한다. 이에 따라 비대면 전자상거래 시장이 자연스럽게 자리 잡게 되었고, 매년 급격히 성장하면서 국내 택배 물류시장에도 영향을 미치고 있다. 한국통합물류협회 국가물류통합정보센터에 따르면 지난 10년간 국내 택배시장 물동량은 매년 평균 약 10%씩 증가하는 추세를 보이고 있으며, 특히 코로나 팬데믹 현상이 본격화된 2020년의 경우 전년 대비 약 20%의 물동량이 증가했다. 이로인해 물류센터의 처리능력이 점차 임계치에 이르면서, 물류자동화 기반 디지털 혁신이 필요한 상황이다. 대국민 물류서비스를 제공하는 우체국도 디지털 물류 혁신에 발맞추어 대응하고 있으며, 일환으로 우체국 물류현장 업무에 소포(택배) 하차업무를 지원하는 협동 로봇(Collaborative Robot)을 도입하여 시범 운영한 결과를 살펴보고자 한다.

우체국 물류센터의 작업절차는 초대형 자동 소포구분기를 중심으로 소포의 투입부터 배출까지 이동 경로에 따라 크게 '하차→구분→상차'업무 단계로 구분되어 있다. 이 중 하차업무(Depalletizing)는 우체국에서 사용하는 적재 장치인 파렛(Pallet)에서 소포를 꺼내 자동 소포구분기로 소포를 투입하는 작업을 말한다. 해당 작업은 인력 중심의 단순 반복 작업으로 노동집약적인 특성을 가지고 있어 업무 피로도가 높다. 또한, 작업 중 소포의 낙실로 인한 사고, 손 끼임 사고 등 각종 안전사고에 노출 되어있어 물류센터 내 자동화 우선순위가 높은 업무에 협동 로봇을 적용 시 효과적일 것으로 예상하였다.

본 논문에서는 우체국 물류센터에 실제 소포를 대상으로 업무에 최초 도입한 협동 로봇 적용 사례를 다루고자 하며, 우체국에 특화된 업무를 수행하는 협동 로봇의 효과적인 도입을 위해 고려할 요소와 개선점을 다루고자 한다.

2장에서는 소포 하차업무용 협동 로봇 시스템 구성 시 고려할 핵심 기술요소를 살펴보고, 3장에서는 실제 우체국 물류센터에 도입한 소포 하차업무용 협동 로봇 시스템의 시범운영

Received : Mar. 2. 2023; Revised : Mar. 31. 2023; Accepted : May. 3. 2023
※ This work was supported by Postal Service Agency (POSA), grant fund by KOREAPOST
1. Researcher, POSA, Seoul, Korea (mh1911, cw2007@posa.or.kr)
† Researcher, Corresponding author: POSA, Seoul, Korea (cg2007@posa.or.kr)

Copyright ⓒKROS

결과를 정리하였으며, 4장에서는 관련 시사점을 제안하였다.

2. 소포 하차업무용 협동 로봇 시스템

물류산업의 인더스트리 4.0은 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 로봇기술 등 첨단 기술이 물류 프로세스에 융합되는 것을 특징으로 하는 4차 산업혁명을 의미한다[1,2]. 협동 로봇 역시 인더스트리 4.0 기술로 인간 중심의 작업 프로세스를 자동화한다는 점에서 유연한 인적자원 관리[3], 프로세스 자동화 개선[4], 물류 데이터 수집 및 분석 강화 등 운영의 유연성과 확장성을 증가시키는 장점이 있으며, 물류 프로세스 내 피킹(Picking), 상·하차업무 등에 로봇 기술이 적용될 수 있다[5].

우체국 물류센터에서 시범 운영한 협동 로봇은 사람의 팔 형태의 다관절로 이루어진 로봇으로 사람과 로봇이 공유된 공간에서 함께 작업이 가능하도록 설계된 로봇이다. [Table 1]과 같이 협동 로봇은 큰 범주에서 산업용 로봇(Industrial Robot)과 비교할 수 있는데 큰 차이점은 사람과 함께 작업공간을 공유하고, 협업할 수 있는지의 여부이다. 협동 로봇은 사람과 함께 작업하기 위해서 속도, 허용 무게 제한, 안전 센서 장착 등 높은 안전 수준을 유지하도록 ISO 기준을 적용하고 있다.

또한, 협동 로봇은 기존 시설에 추가하는 형태로 즉시 적용이 가능해 작업 공간을 최소화할 수 있으며, 재배치가 용이하여 물류단계별 시범 적용을 통한 효과성 탐색이 가능한 장점이 있다[6]. 해당 장점을 기반으로 다양한 분야에서 협동 로봇을 도입하려는 시도가 이루어지고 있으며[7], 인간과 로봇의 완전한 협업은 기존 산업현장의 4차 산업혁명 기술 도입으로 일컬어지는 인더스트리 4.0을 넘어서 인더스트리 5.0을 구성하는 주요 요소로 주목받고 있다[8].

우체국 물류센터의 경우에도 협동 로봇의 장점인 작업 공간의 최소화와 업무에 즉시 적용을 통한 효율성 증가, 그리고 업무 피로도가 높은 작업자의 업무 보조를 목표로 협동 로봇 도입 및 시범운영 하였다. 그리고 협동 로봇을 우체국 물류센터 소포 하차업무에 적용하기 위한 통합시스템 구성요소는 핵심 역할을 기준으로 하여 소포 이송용 협동 로봇, 소포 인식용 비전카메라, 소포 파지용 그리퍼로 나누었다.

첫 번째 핵심 요소는 소포를 이송하는 동력을 가진 협동 로봇이다. 다관절을 활용해 효율적인 경로로 대상물을 이송하기 위해서는 충분한 작업 반경 확보와 허용 무게 등 조건을 만족해야 하며, 주 장비로서 비전카메라, 그리퍼 등 부가 장치를 포함한 통합 제어 및 운영이 필요하다. 이처럼 소포 하차업무 수행이 가능할 것으로 예상되는 제품 성능을 보유 중인 대표적인 국외 협동 로봇 제조업체로는 Universal Robots, KUKA 등이 있으며, 기존 사례로 우체국 물류 현장에서 Universal Robots의 협동 로봇을 활용하여 소포 이송 테스트를 수행한 연구 사례가 있다[9]. 국내에서도 [Table 2]와 같이 업무수행이 가능한 주요 협동 로봇 제조업체인 레인보우로보틱스, 한화정밀기계,

[Table 1] Industrial Robots vs. Collaborative Robots

Industrial Robot	Collaborative Robot
Independent Work	Interactive
Requires a separate dedicated workspace, Fixed installation	No dedicated workspace required, Fixed, mobile installation
Safety fence and standards required	No safety fence required when certified to safety standards (ISO10218, etc.)
No human collaboration, Fully automated	Collaborative with operator
Fast working speed, Payloads over 30 kg possible	Limited working speed for safety reasons Average maximum payload of 12 kg
High price and installation costs	Low price and installation cost
Long time to demonstrate	Short lead time to demonstration

[Table 2] Robot Arm Technology Trends

Division	Rainbow Robotics (Republic of Korea)	Hanhwa Precision Machinery (Republic of Korea)	Doosan Robotics (Republic of Korea)
Photo			
Product Name	RB10-1300	HCR12	M1013
Payload	10 kg	12 kg	10 kg
working radius	1300 mm	130 mm	130 mm

두산로보틱스 등이 있으며, 해당 업체가 출시한 협동 로봇의 사양은 모두 소포 하차업무 수행이 가능할 것으로 예상된다.

두 번째 핵심 요소는 소포인식을 위한 비전 카메라이다. 파렛에 적재된 소포를 스캔하는 장비로, 스캔 후 해당 이미지를 분석하는 소프트웨어(S/W)까지를 범위로 포함한다. 협동 로봇 통합시스템에 정확한 소포 객체정보를 전달하는 역할로 소포 하차업무 수행 시 성공률에 영향을 준다. 스캔한 이미지에서 각 객체의 테두리를 탐색해 대상물을 인식하며, 붙어있는 객체의 경우 각 객체 간 정확한 구분과 빠른 인식 속도가 필요한 성능으로 요구된다.

Pickit, CMES 등 이미지 분석 전문업체의 경우에는 소포 하차업무용으로 상용화된 전문적인 솔루션을 제공하고 있어, 협동 로봇 통합시스템과 연계하여 활용하는 것도 가능하며, 경우에 따라 협동 로봇 제조업체가 자체 개발 및 최적화하여 제공하는 통합솔루션을 사용하기도 한다.

마지막 핵심 요소는 소포 파지를 위한 장치인 그리퍼(Gripper)이다. 파지할 대상물의 형태, 재질 등에 따라서 최적화된 그리퍼를 자유롭게 선택하여 사용이 가능하다. 대상물과 그리퍼 사이 결착 및 고정 방법에 따라 직접 결착하는 방식, 공기압을 이용해 진공상태의 결착력을 확보하는 방식 등이 다양하게 활용되고 있다. 소포 하차업무의 경우에는 다양한 소포의 형태와 재질에 대응하기 위해 범용성이 높은 공기압을 활용한 진공 파지 방식의 그리퍼를 사용하였다. 국외 업체인 Schmalz 등 그리퍼 전문 제작 업체에서 제공하는 자동화 솔루션을 활용하거나, 도입 현장의 대상물에 최적화한 그리퍼를 자체 개발하여 활용할 수 있다.

본 논문에서는 위 3가지 핵심 요소로 구성된 협동 로봇 시스템을 구축하여 우체국 물류센터에서 소포 하차업무에 적용을 위한 테스트를 수행한 선행연구 사례[10]의 로봇 동작 설계 등 기술적인 성능 테스트의 다음 단계인 실제 물류 환경에서 협동 로봇을 적용한 결과를 기반으로 문제점을 발굴하고 개선방안과 시사점을 도출하고자 한다.

3. 우체국 물류센터 협동 로봇 도입

3.1 우체국 물류센터 환경

우체국 물류센터 하차업무에 협동 로봇을 효과적으로 도입하기 위해 분석한 도입 장소, 업무 특성, 대상물 등 환경적 요소는 아래와 같다.

첫 번째, 도입 장소는 대전에 위치한 전국의 물류가 집중되는 허브 앤 스포크 방식(Hub-and-spoke)의 초대형 광역 물류센터를 시범운영 장소로 선정하였다. 해당 물류허브는 접수한 소포를 분류하여, 다시 전국의 집중국으로 즉시 교부하는 곳으로 대량의 소포를 당일에 빠르게 구분해야 소포 배송 기간을 단축할 수 있는 특성을 가지고 있어 소포 하차업무의 자동화를 통해 대량의 소포를 구분기로 빠르게 자동으로 투입하는 효율화가 필요한 장소이다.

두 번째, 적용 업무의 특성을 살펴보면, 낱개 소포를 개별 적재 및 운송하는 타 택배업체와는 달리 우체국은 [Fig. 1]과 같은 일반 평파렛(Plane Pallet)과 롤파렛(Rolltainer Pallet)과 활용하여 소포를 적재 및 운송하는 특성을 가지고 있다. 특히 롤파렛의 경우에는 우편물류현장에 특화된 적재 장치이다. 3개의 면이 막혀있는 구조로 비정형 소포를 다량 적재할 때 안정성과 운송 편의성이 높지만, 협동 로봇 도입 시 해당 면을 회피하여 소포를 컨베이어 벨트로 이송해야 하는 동작 설계 최적화가 필요하다.

세 번째, 하차업무 대상물인 소포의 특성을 살펴보면, 다음 [Table 3]과 같다. 우체국에서 취급하는 소포를 구분하는 기준은 크게 형태, 재질, 무게 3가지로 나누어 볼 수이다. 소포는 각각 다른 형태, 재질, 무게를 가지고 있어 하차업무 시 매번 다른 기준의 소포를 같은 속도와 정확도로 처리할 수는 없기 때문에, 전체적인 평균 속도와 정확도에 영향을 준다.

3가지의 기준 중 형태의 경우를 먼저 살펴보면 정형·비정형으로 나눌 수 있는데, 정형 소포는 일반적인 상자 형태의 소포이고, 비정형 소포는 상자 형태를 제외한 일정한 형태를 가지고 있지 않은 유형의 소포를 말한다.

재질의 경우에는 주로 일반적인 종이상자부터 택배용 비닐봉투 등으로 이루어져 있으나, 스티로폼 상자, 플라스틱 등 특수한 재질인 경우도 있어 협동 로봇이 파지 시 결착력 부족 및

[Fig. 1] Rolltainer Pallet, Plane Pallet in Post office

[Table 3] Post office parcel weight ratio

Form	Structured	Unstructured
Material	Paper, Vinyl, Plastic, Styrofoam, etc.	Paper, Vinyl, etc
Weight	7 kg or less	5 kg or less

[Table 4] Post office parcel weight ratio

Weight	Ratio
~2 kg	78%
2 kg~7 kg	15%
7 kg~10 kg	6%
10 kg~	1%

안정성 저하로 실패율과 작업속도가 증가하는 원인이 될 수 있다.

무게의 경우에는 전체적인 소포의 중량을 분석하기 위해 `21년 상반기 소포 접수 데이터 중 중량 정보를 추출하여 구간별 중량을 확인하였다. 우체국 소포의 경우 접수 기준 월별 약 2천만 건의 소포가 접수되고 있으며, 다음 [Table 4]는 `21년 상반기 약 1.2억 건의 소포를 대상으로 무게의 분포를 확인한 결과이다.

2 kg 이하 무게의 소포부터 최대 30 kg의 고중량 소포까지 분포를 살펴보면, 2 kg 이하 저중량 소포의 비율이 약 80%로 전체비율 중 높은 비율을 차지하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 세부적인 중량 구간별 물량을 살펴보면 500 g~1 kg 중량의 택배가 44.78%, 1 kg~2 kg 중량의 택배가 33.14%의 비율을 보여 실제 로봇의 그리퍼 성능을 살펴볼 때 고중량의 소포까지 포함하지 않아도 대부분의 소포처리가 가능할 것으로 예상하였고, 해당 무게 범위 정보를 협동 로봇 도입 시 상세 사양 결정에 참고 자료로 활용하였다.

이 중 7 kg 이상의 고중량 소포의 비율은 약 7%로 우체국 물류센터에서는 해당 소포를 대상으로 별도의 대형소포 전용 투입구를 운영하고 있으며, 고중량 소포일수록 업무강도와 피로도, 안전사고 발생률이 높은 특성을 가지고 있어 향 후 해당 소포를 대상물로 설정하여 협동 로봇을 도입하는 방안도 효과적인 방안이 될 것으로 예상하였다.

추가적인 기준으로 크기의 경우에는 소포구분기에 투입하기 위한 크기의 기준인 소형, 중형, 대형으로 분류할 수 있는데, 각 파렛에 적재된 소포의 크기가 각각 다르고, 최초 소포 접수 시 일정 무게 이상 또는 일정 가로, 세로, 높이 크기의 합 등 정량적 기준값을 기준으로 구분기에 투입이 가능한 범위의 소포만 접수를 받고 있기 때문에 파렛에 적재된 모든 소포는 작업이 가능한 소포로 보았다.

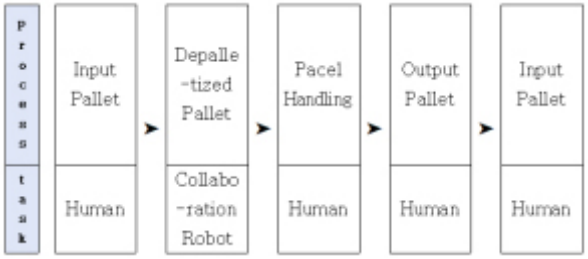
3.2 우체국 협동 로봇 시범운영

이번 시범운영 사례는 우체국이 소포 하차업무 자동화 방안으로 협동 로봇의 물류공정 적용 가능성 검토를 위해 실제 우편물 및 업무를 대상으로 최초 도입한 사례로서 의미가 있다. 본 논문에서는 우체국 물류현장의 특성을 반영한 소포 하차업무용 협동 로봇 시스템을 도입의 기획부터 시범운영까지 참여한 결과를 소개하고자 한다.

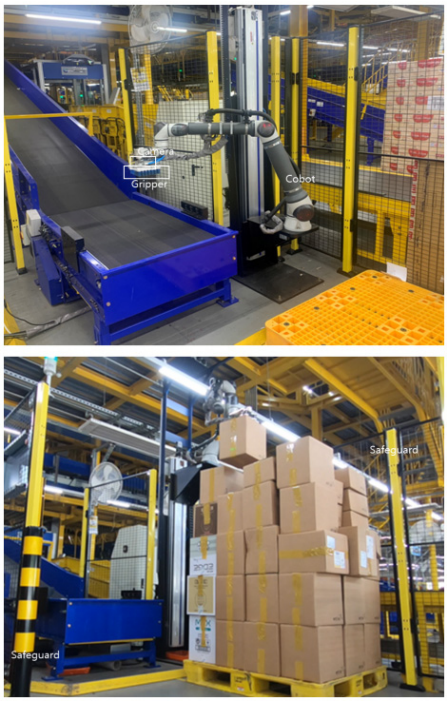
전체 업무의 흐름을 기준으로 소포 하차업무의 협동 로봇 자동화 업무 범위와 사람이 투입되는 범위를 구분하고, 파악하기 위하여 다음 [Fig. 2]와 같이 파렛의 투입과 배출 업무 등 사람이 수동으로 담당하는 업무를 구분하였다.

해당 업무 구분의 목적은 로봇이 더 효율적일 것으로 예상되는 업무, 사람이 투입되는 업무 중 자동화가 시급한 부분 등을 파악하고, 로봇과 연계 가능한 추가적인 부가장치를 통해 고도화 가능한 단계 등을 탐색하고자 하였다.

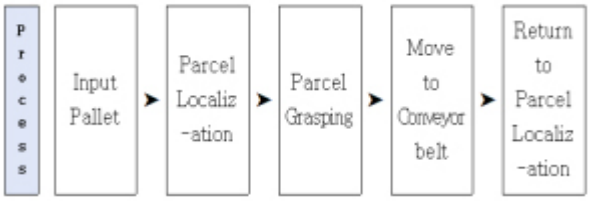
시범 운영에 활용한 협동 로봇 시스템은 국가 조달 프로세스를 통해 공식적으로 현장에 도입하였다. 효과적인 도입을 위해 실제 도입 및 설치 장소인 우체국 물류센터의 소포구분기 투입구에서 실제 소포와 같은 방식으로 적재된 시험용 소포를 대상으로 시험평가를 진행했으며, 다양한 평가 기준을 가장 높은 점수로 만족한 협동 로봇 통합시스템을 다음 [Fig. 3]과 같이 구축하여 시범 운영하였다.



[Fig. 2] Human task in parcel depalletized process



[Fig. 3] Post office collaboration robot parcel depalletized system



[Fig. 4] Collaboration robot parcel deplletized task process

최종 도입한 로봇의 사양은 자유도(Degree of Freedom) 6축 이상, 운반중량(Payload) 최대 7 kg, 작업반경(최대 도달 범위) 1,300 mm 이상의 로봇으로 소포 하차업무 수행하기 위한 조건과 범위를 모두 충족한다. 또한, ISO1028-1 등 국제 기준에 따라서 자율안전 확인 신고를 완료한 로봇을 활용했으며, 작업자의 안전을 위한 레이저커튼, 비상정지 버튼 등 안전조치 장치를 구성하였다.

협동 로봇의 작업 절차는 다음 [Fig. 4]와 같다. 지정된 위치에 평·롤파렛을 투입하면, 협동 로봇이 비전 카메라를 활용하여 해당 파렛의 가장 윗면을 기준으로 소포의 개수와 각 소포의 모서리를 인식하고, 최적의 파지점을 계산한다. 다음 절차인 파지는 공기압을 이용한 그리퍼를 활용했으며, 가장 위부터 아래까지 소포에 대응하기 위해 상하 이동 리프트를 부가장치로 활용하였다. 파지 후 컨베이어 투입구로 이송하기 위한 최적의 이동경로는 공급 제조업체가 우체국 물류현장 도입위치에 최적화하여 개발한 자체 솔루션(S/W)으로 계산해 수행하였다.

파렛에 적재된 모든 소포를 하차 처리하면 정지신호 함께 작업이 끝난 파렛을 작업자가 수동으로 배출하고, 실패한 소포를 정리한 후 다시 새로운 파렛으로 교체 투입하여 업무 수행을 반복하는 시스템을 구성하였다.

시범운영은 단계적인 방식을 채택하였다. 해당 사례는 3.1장에서 소개한 소포 기준을 적용하여 비교적 하차업무가 수월한 소포를 대상물로 지정하여 첫 번째 단계를 설정하였다. 해당 대상물을 실제 업무에 투입하여 효과성을 검증한 뒤 비정형, 비닐 재질 등 더 높은 난이도의 대상물에 적용하고자 하였다.

시범운영에 투입한 첫 번째 단계 대상물의 형태는 상자 형태의 정형 소포를 중심으로 진행했으며, 재질은 종이 재질의 소포를 선택하였다. 무게는 최대 7 kg까지 저중량 소포를 대상으로 하여 시범운영을 진행하였다. 하나의 파렛에 적재된 소포들의 무게와 크기는 각 소포마다 다르며, 대형 크기의 소포는 제외하였다. 적재 장치의 형태는 평·롤파렛을 모두 대상으로 하였다.

3.3 우체국 협동 로봇 도입 결과

협동 로봇의 도입 및 시범 운용 기간은 약 5개월이다. 총 로봇 운용 시간(t), 소포 하차작업 성공건수(*s*), 소포 하차작업 실패건수(f), 총 소포 하차 작업 건수(n)를 기록하였고, 투입한 파렛의 종류는 별도 기록하였다.

[Table 5] Summary of Collaboration robot field test

Content / Pallet	Num of total task(n)	Num of success task(s)	Time of success task(t/s)	Num of fail task(f)	Time of fail task(t/f)
Plane (Flat) Pallet	5,577	5,577	14.16	-	-
Roll-tainer Pallet	405	359	18.98	46	18.27
Total	5,982	5,936	14.45	46	18.27

최종 평가 지표로는 식 (1)의 소포 하차 성공률(%)과 식 (2)의 소포 개당 작업 소요 시간(sec)을 계산하여 도입 시 효과를 정량적으로 살펴보았다.

$$\text{소포하차성공률(\%)} = \frac{\text{소포하차성공건수}(s)}{\text{총소포하차작업건수(n)}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{소포개당작업소요시간} = \frac{\text{소포하차성공건수(t)}}{\text{총소포하차작업건수(n)}} \quad (2)$$

시범 운용 결과는 [Table 5]과 같이 요약하였다. 평·롤파렛에 적재된 종이재질의 상자형태의 정형 소포 대상물로 진행한 총 소포 하차 작업 건수(n)는 5,982건이다. 파렛별 총 소포 하차작업 건수는 평파렛 5,577건과 롤파렛 405건으로 나타 났다. 정량적 효과인 성공률을 살펴보면, 전체 하차 작업건수 5,982건 중 성공건수(*s*)는 5,936건으로 99%의 성공률을 보였으며, 평파렛에서는 모든 소포를 성공하여 100%의 성공률을 보였으나, 롤파렛에서는 405건 중 46건의 실패 건수가 확인되었으며, 성공률은 89%로 현저히 낮아졌다.

소포 하차성공률 결과를 분석해보면, 롤파렛의 46건의 실패 건수는 모두 롤파렛의 3면을 회피하는 동작에서 소포의 높이를 확인하지 못하고, 충분한 높이까지 소포를 들어 꺼내지 못하여 생긴 것으로 비정형 적층 구조의 대응 어려움에서 발생한 실패 사례였다. 이는 일반적인 상자형태를 유지하는 정형 대상물의 높이가 예상 가능한 범위 내 있을 것이라는 가정하에 작업을 시도해 발생했으며, 파렛의 적층 구조 중 최상단의 한 면을 2차원으로 인식하기 때문에 어떤 높이의 소포가 접수될지 모르는 다양한 변수에 대응하지 못한 사례로 해석된다.

작업 소요시간의 결과를 살펴보면, 성공한 소포의 개당 작업 소요 시간(t/s)은 14.45초로 나타났다. 반대로 실패 건수(f)는 46건으로 기록되었으며, 실패한 소포의 개당 작업 소요시간(t/f)은 18.27초이다. 실패 소포의 경우 비전카메라의 소포인식 저하로 인해 파지 시도 후 실패 판정까지 걸린 시간이다. 개당 작업 소요시간을 분석해 보면, 먼저 해당 협동 로봇은 안전

규정에서 제시하는 속도 제한을 준수한 상태로 파지 후 컨베이어 벨트로 이송하는 시간이 전체 작업 소요시간 중 약 80%를 차지할 만큼 상대적으로 느린 작업속도를 준수할 수밖에 없는 문제가 있었다. 성공한 작업소요시간을 시간당 작업량으로 환산하면 249.13개/시간 의 속도로 산출된다. 기존 우체국 물류센터 연구에서 발표한 숙련된 작업자의 작업량인 458개/시간과 비교하면 사람 대비 약 54%의 작업 효율을 보임을 확인할 수 있었다.

해당 수치는 기존 도입 전 수행한 테스트 결과보다 낮은 결과인데 소포사이에 여유공간의 차이, 다양한 크기와 무게의 소포 등 인위적으로 조성한 테스트 환경과 실제 환경의 차이로 보이며, 업무 공간의 특성상 천장에 비전카메라 구조물을 설치하지 못하고, 그리퍼 안에 적용한 점도 작업소요시간 증가의 주요 원인으로 나타났다.

또한, 파렛 적재 높이에 대응하는 부가장치인 리프트가 최상단까지 이동하는 소요 시간과 리프트가 최상단에 위치하여 일정 높이를 확보했을때 비전 카메라로 스캔을 시도하고, 다음 작업을 수행한 점도 작업 소요시간 증가의 원인으로 해석되었다. 이는 작업장소의 환경적 요소에 따라 비전 카메라 인식에 영향을 준 사례로 원활한 소포 인식을 위한 카메라 설치 높이를 고려할 때 충분한 조명 등 빛의 양을 지속적으로 공급할 수 있는 요건 등의 로봇친화적 환경 조성이 필요하나, 해당 작업 장소에서는 건물 구조상의 문제로 적정한 높이의 비전 카메라 구조물을 설치할 수 없어 문제가 발생한 사례였다. 비전 카메라의 인식율 저하는 파지점 계산 오류와 파지 실패로 이어지는 중요한 단계로 작업 중 파지를 실패할 경우 파렛 내 소포 적재 구조를 붕괴시키는 등 추가적인 문제로 이어질 수 있어 충분히 고려해야할 요소로 보인다.

4. 시사점

협동 로봇의 도입 목적은 우체국 물류센터 업무 단계에서 해당 업무 종사자를 보조하고, 협업할 수 있도록 자동화기기의 고정적 능력을 활용하는 것이다. 협동 로봇을 통해 종사자의 육체적・정신적인 업무 부하 감소와 안전사고 노출을 최소화하는 등 우체국 물류센터의 ICT신기술 기반 첨단화 및 디지털 혁신을 기대할 수 있다.

이번 시범운영의 다음 단계인 비정형 형태와 다양한 재질의 소포에 협동 로봇을 적용하기 위해서는 지속적인 연구와 개선이 필요할 것으로 판단된다. 정량적 성능지표인 소포 하차업무 성공률과 소포 개당 작업소요시간의 향상을 목적으로 개선점을 도출하였으며, 이는 장비(H/W)개선, 소프트웨어(S/W) 개선이다.

첫 번째는 장비(H/W)의 개선으로 세부적인 정보를 파악할 수 있는 부가장비를 추가해야 한다. 추가 인식 센서와 카메라 등을 통해 보다 정확한 정보를 습득하여 판단을 향상시킬 수 있다. 대상물의 높이 정보와 이동 정보, 대상물 파지 시 그리퍼에서 발생하는 공압량 정보, 실시간 위치 변화 정보, 물체의 상부면 엣지 포인트에서의 무게 측정을 통한 무게중심 변화 정보 등 다양한 데이터를 수집하고 로봇 제어에 활용한다면 소포 하차업무 효율을 높일 수 있을 것이다. 다만, 소포 개당 작업 소요시간의 향상을 위해서 로봇의 이동속도를 높이는 것은 안전기준 상 어려운 점이 있는데, 이는 작업자의 안전을 위하여 협동 로봇의 최대 속도를 제한하고 있기 때문이다.

두 번째는 소프트웨어(S/W)의 개선으로 협동 로봇 시범 운영 중 로봇 장비(H/W) 성능과 제어 소프트웨어 간 차이를 확인하였다. 예를 들어 1초 이내에 로봇이 어떤 동작을 수행할 수 있다 하더라도 소프트웨어가 작업계획을 시간 내에 계산하지 못한다면 로봇의 성능을 최대로 활용하기 어려울 것이다. 이처럼 소포 이송속도, 인식속도, 파지속도의 평준화를 통해 병목현상을 방지하는 최적화가 필요할 것으로 보이며, 이를 위해서는 양질의 학습용 소포 이미지 데이터 구축과 다양한 소포의 크기, 무게, 형태에 대응하는 객체 인식 전용 인공지능 모델 개발 등 비전카메라 기반의 소포 객체 인식 솔루션의 개선이 필요하다.

마지막으로 향 후 로봇도입을 위해서는 로봇의 능률을 최대화할 수 있는 환경을 구성해야 한다. 현재의 협동 로봇은 사람 중심의 물류현장에 로봇을 도입하는 것이기 때문에 로봇 친화적 환경으로 볼 수 없다. 안전장치의 설치 의무와 더불어 카메라 등 부가장치 설치에도 어려움이 존재하였다. 물류업무의 세분화를 통해 로봇으로 최대의 효율을 낼 수 있는 작업을 선택해야한다. 특히, 롤파렛은 사람이 작업하기 용이한 형태로 구성되어 있어 로봇이 작업하는 것에 큰 어려움이 있었다. 이러한 문제점은 로봇 도입이 아직 시범 단계로 과도기적 특성이므로 고도화 단계에서 해당 개선점에 대해 고려한다면 보다 효율적인 소포 하차업무를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] F. Fruggiero, A. Lambiase, S. Panagou, and L. Sabattini, “Cognitive human modeling in collaborative robotics,” *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 584-591, 2020, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.082.

[2] B. Choi, G. Kang, Y. Roh, and Y. Cho, “Loosely Coupled LiDAR-visual Mapping and Navigation of AMR in Logistic Environments,” *Journal of Korea Robotics Society*, vol. 17, no. 4, pp. 397-406, 2022, DOI: 10.7746/jkros.2022.17.4.397.

[3] A. Terra, H. Riaz, K. Raizer, A. Hata, and R. Inam, “Safety vs. efficiency: Ai-based risk mitigation in collaborative robotics”, *International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, Singapore, 2020, DOI: 10.1109/ICCAR49639.2020.9108037.

[4] B. Nitsche, “Exploring the potentials of automation in logistics and supply chain Management: Paving the Way for Autonomous Supply Chains,” *Logistics*, vol. 5, no. 3, pp. 51, Aug., 2021, DOI: 10.3390/logistics5030051.

[5] G. Atzeni, G. Vignali, L. Tebaldi, and E. Bottani, “A bibliometric analysis on collaborative robots in Logistics 4.0 environments,” *Procedia Computer Science*, vol. 180, pp. 686-695, 2021, DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.291.

[6] S. El Zaatari, M. Marei, W. Li, and Z. Usman, “Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 116, pp. 162-180, Jun., 2019, DOI: 0.1016/j.robot.2019.03.003.

[7] A. Hentout, M. Aouache, A. Maoudj, and I. Akli, “Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008-2017,” *Advanced Robotics*, vol. 33, no. 15-16, Jul., 2019, DOI: 10.1080/01691864.2019.1636714.

[8] G. F. Prassida and U. Asfari, “A conceptual model for the acceptance of collaborative robots in industry 5.0,” *Procedia Computer Science*, vol. 197, pp. 61-67, 2022, DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.118.

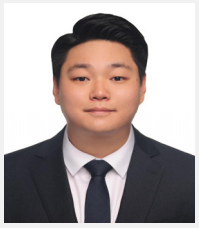
[9] D. Kim, E. G. Lim, and J. B. Kim, “Development of a Robot System for Automatic De-palletizing of Parcels loaded in Rolltainer,” *Journal of Korea Robotics Society*, vol. 17, no. 4, pp. 431-437, Dec., 2022, DOI: 10.7746/jkros.2022.17.4.431.

[10] K. Kwak, B. Park, E. Go, C. Yoon, and K. Kim, “Rapidly Spreading Logistics Robot Applications,” *Journal of Korea Robotics Society*, vol. 17, no. 4, pp. 387-396, Dec., 2022, DOI: 10.7746/jkros.2022.17.4.387.

김 민 혁

2014 평택대학교 디지털응용정보학과(학사)
2018 한양대학교 응용통계학과(석사)
2019~현재 한국우편사업진흥원 연구원

관심분야: 우편물류, 응용통계, 빅데이터



유 창 욱

2016 한국공학대학교 메카트로닉스공학과(학사)
2018 연세대학교 산업공학과(석사)
2020~현재 한국우편사업진흥원 연구원

관심분야: 로보틱스, IC거버넌스, 비즈니스모델

이 철 기

2012 인하대학교 통계학과(학사)
2020 인하대학교 산업경영공학과(박사)
2020~현재 한국우편사업진흥원 연구원

관심분야: 인공지능, 데이터마이닝, 네트워크분석