

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

공동주택 로봇 배송 서비스 도입 연구 - 신축 단지 적용 사례를 바탕으로

The Implementation of Robot Delivery Services in Apartment Complexes - Based on a Case Study in a Newly Constructed Residential Area -

○최민지* 이상훈**
Choi, Min-Ji Lee, Sang-Hoon

Abstract

This study explores the implementation of robot delivery services in residential complexes, addressing the critical challenges posed by complex environments and human-robot interactions. We analyze key technical and infrastructure elements from the perspectives of Human-Robot Interaction (HRI) and Robot-to-Infrastructure (R2I), deriving essential considerations for a harmonious coexistence. Through a two-step demonstration process in both a simulated lab environment and a real-world complex, we successfully implemented a D2D delivery system. Our findings contribute to establishing a practical foundation for the future commercialization and expansion of such services, while also highlighting the need for standardization and user-centric improvements.

키워드 : 공동주택, 로봇배송, 서비스로봇, 인간-로봇 상호작용(HRI), 로봇-인프라 연동(R2I), 스마트건설

Keywords : Residential Complex, Robot Delivery, Service Robot, Human-Robot Interaction(HRI), Robot-to-Infrastructure(R2I), Smart Construction

1. 서론

1.1 연구의 배경

최근 로봇틱스 기술의 획기적인 발달과 함께 서비스 로봇 시장이 급격히 성장하고 있으며, 이는 산업 전반에 걸쳐 효율성과 편의성을 증대시키는 핵심 동력으로 자리 잡고 있다. 특히, 코로나19 팬데믹을 거치며 비대면 소비문화가 일반화되면서 로봇 배송에 대한 사회적 수요가 크게 증가했다. 공동주택은 대한민국 주거 문화에서 차지하는 비중이 매우 높은 주거 유형으로, 이러한 로봇 기술을 활용한 배송 서비스 도입에 대한 잠재적 수요가 매우 크다.

1.2 연구의 목적

공동주택은 경사로, 주차장, 엘리베이터, 자동문, 좁은 복도 등 복잡하고 비정형적인 공간적 특성으로 인해, 로봇에게 일반적인 산업 환경과는 차별화되는 고난도의 과제를 제기한다. 이러한 환경에서 로봇 서비스를 성공적으로 구현하기 위해서는 로봇과 공동주택 인프라를 유기적으로 연동하는 시스템(R2I, Robot to Infrastructure) 구축이 필수적이다. 또한, 로봇이 다양한 연령 및 배경의 입주민과 동일한 생활 공간을 공유하게 됨에 따라 사람-로봇 상호작용(HRI, Human-Robot Interaction)에 대한 이해와 고려

가 선행되어야 한다. 기존의 HRI 연구는 주로 로봇이 사람을 인식하고 대응하는 기술적 측면에 초점을 맞춰왔다. 그러나 공동주택과 같이 로봇이 불특정 다수의 입주민과 상호작용하는 환경에서는, 로봇의 인지 및 대응 능력뿐만 아니라 사람이 로봇을 어떻게 인지하고 수용하는지에 대한 측면 또한 중요하게 고려되어야 한다.

이러한 배경하에, 본 연구는 실제 공동주택 로봇 배송 서비스 도입을 위하여 고려해야 할 주요 기술 및 인프라 요소를 HRI 및 R2I 관점에서 분석하고, 더 나아가 미래 공동주택 환경에 적합한 로봇 서비스의 적용 방향을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구의 대상 및 범위

본 연구는 실제 공동주택 단지에 로봇 배송 서비스를 적용하기 위한 실증 분석을 목적으로 한다. 연구의 대상은 서울 소재 신축 공동주택 단지로, 구축 아파트 대비 R2I 시스템의 테스트와 적용이 용이하다는 장점이 있다. 구현 서비스의 범위는 입주민 수요에 대응하는 세대 앞 D2D(Door-to-door) 배송으로 ①커뮤니티 식음료, ②인근 음식점, ③편의점 물품 세 가지 유형을 포함한다. 적용 로봇은 국내 M사의 바퀴형 자율주행 로봇으로, 연석·턱 등 장애물 극복이 가능하며, 단지 내부와 외부 환경 모두에서 안정적 주행이 가능하다.

* 현대건설 기술연구원

** 현대건설 기술연구원

(Corresponding author : Hyundai Engineering&Construction,
choi.minji@hdec.co.kr)

표1. 연구의 대상 및 범위

구 분	내 용
대상 사업지	서울 신축 공동주택 단지 (282세대 규모, 8개 동, 25년 준공)
구현 서비스	D2D 세대 앞 로봇 배송 서비스 ①커뮤니티 카페 식음료 배송 ②인근 음식점 배송 ③편의점 물품 배송
적용 로봇	바퀴형 자율주행 로봇(M사)

2.2 연구 프로세스

본 연구는 공동주택 내 로봇 배송 서비스의 도입을 위해 다음의 여섯 단계로 수행하였다.

첫째, 시나리오 설계 단계에서는 주문요청 및 물품 수령, 주동의 출입 게이트 진입, 엘리베이터 호출 및 탑승 등 로봇 배송의 주요 절차를 상황별 시나리오로 구체화하였다. 둘째, HRI 요소 도출 단계에서는 로봇과 사람이 상호 작용을 분석하여 안전성·인지성·효용성·수용성의 네 가지 핵심 지표를 설정하였다. 셋째, 각 시나리오에 HRI 지표를 적용하여, 서비스 목표 수준을 설정하고, 이를 달성하기 위한 기술적 고려사항을 도출하였다. 넷째, 앞서 도출된 기술 고려사항을 바탕으로 출입 게이트, 엘리베이터 등 주요 인프라와 로봇 간 통신 및 제어 방식을 구체화하고, 시스템을 구현하였다. 다섯째, 랩(Lab) 실증 단계에서는 모의 환경에서 시나리오별 실증을 수행하여, 개발된 R2I 시스템의 성능을 검증하고 보완하였다. 마지막으로 현장 적용단계에서는 동일한 시나리오와 시스템을 실제 공동주택 단지에 적용하고 안정화 과정을 거쳐 최종적으로 로봇 배송 서비스를 구현하였다.

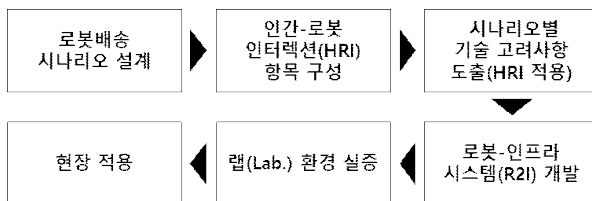


그림1. 연구 프로세스

3. 공동주택 로봇 배송 적용을 위한 주요 고려 요소

3.1 사람-로봇 상호작용(HRI)

공동주택 환경에서 로봇 배송 서비스를 성공적으로 구현하기 위해서는 단순한 기술적 성능을 넘어, 입주민과 로봇이 조화롭게 공존할 수 있는 HRI에 대한 고려가 필요하다. 본 연구는 HRI의 핵심 지표를 안전성, 인지성, 효용성, 수용성으로 정의하고, 이를 각각 로봇의 사람 대응(Robot → Human)과 사람의 로봇 대응(Human → Robot) 측면에서 고찰하고자 한다.

안전성(Safety)

로봇과 입주민의 물리적 안전을 확보하는 것은 가장 기본적인 전제다. 로봇은 충돌 방지 시스템과 정교한 센서를 통해 사람, 특히 어린이와 같은 예측 불가능한 움직임에 즉각적으로 반응하여 안전사고를 예방해야 한다. 이와 더불어, 로봇의 행동은 일관되고 예측 가능하여 입주민이 로봇을 안전하다고 느끼도록 해야 한다. 예를 들어, 로봇이 특정 상황에서 항상 동일한 방식으로 멈추거나 회피하는 일관된 동작은 로봇의 다음 행동을 예측하게 하여 입주민의 심리적 안정감을 높인다.

인지성(Intuitiveness)

원활한 상호작용을 위해 입주민과 로봇은 서로의 상태와 의도를 명확히 이해해야 한다. 로봇은 주변 사람의 존재와 움직임을 정확하게 감지하고, 복도 통행, 엘리베이터 대기 등과 같은 기본적인 행위를 인지하여 안전하고 원활하게 공존해야 한다. 반대로 입주민 역시 로봇의 상태를 직관적으로 파악할 수 있어야 한다. 로봇의 현재 이동 상태, 임무 수행 여부, 배터리 잔량 등은 시각적, 청각적 신호를 통해 입주민에게 쉽게 전달되어 혼란을 방지하고 상호작용의 효율성을 높일 수 있다.

효용성(Utility)

입주민이 로봇을 통해 실리적인 가치(편리함, 시간, 돈의 절약 등)를 제공 받는다고 느끼는 것은 로봇 서비스 확장을 위한 중요한 전제 조건이다. 로봇은 정해진 경로를 이탈하지 않고, 중간에 멈추거나 오류를 일으키지 않아야 하며, 약속 시간 내 서비스를 완수해야 한다. 이처럼 서비스의 기능적 완결성이 보장될 때 입주민들은 로봇을 통해 얻는 편리함을 명확히 인지하며, 서비스를 신뢰할 수 있게 되어 결과적으로 만족도가 높아진다.

수용성(Acceptance)

궁극적으로 로봇이 공동주택 환경에 자연스럽게 통합되려면 입주민의 수용성이 확보되어야 한다. 로봇은 입주민의 활동을 방해하지 않도록 엘리베이터나 복도에서 사람에게 우선권을 양보하고, 대기 시 적절한 거리를 유지하는 등 사회적 규범을 준수해야 한다. 또한, 로봇의 부드러운 움직임, 친근한 음성, 위협적이지 않은 외형은 로봇 서비스에 대한 심리적 거부감을 낮추고 수용도를 증진시키는 핵심 요소가 된다.

표2. HRI 핵심 지표 요약

구 분	로봇의 사람 대응 측면 (Robot → Human)	사람의 로봇 대응 측면 (Human → Robot)
안전성	충돌 방지 및 돌발 상황 대처	로봇 행동 예측 및 심리적 안정감 확보
인지성	사람의 움직임 및 행위 센싱	로봇의 상태 및 의도 직관적 인지
효용성	임무 완수 및 서비스 신뢰성	인지된 편리성 및 만족도
수용성	양보, 대기 등 규범 준수 및 자연스러운 이동 흐름	긍정적 이미지 및 심리적 수용도

3.2 시나리오별 HRI 기술적 고려사항 도출

앞서 논의한 HRI의 네 가지 핵심 지표인 안전성, 인지성, 효용성, 수용성을 바탕으로 공동주택 로봇 배송 서비스 도입을 위한 기술적 고려사항을 도출하고자 하였다. 로

봇이 주동 출입문을 통과하고, 엘리베이터를 이용하며, 최종적으로 주문을 배송하는 각 단계의 시나리오에서 요구되는 HRI와 기술적 요소들은 표3과 같다.

표3. HRI 핵심 지표 기반의 시나리오별 기술적 고려사항

시나리오	사람-로봇 상호작용	HRI 고려사항		기술적 고려사항
출입 게이트	- 로봇 게이트 통과 - 출입 동선 공유 및 로봇 이동 관찰	안전성	게이트 틈 끼임, 충돌 및 갑작스러운 멈춤 방지	- 출입 게이트와 로봇의 통신
		인지성	로봇의 게이트 진입 상태를 직관적으로 인지	- 게이트의 상태 정보 공유
		효용성	신속하고 정확한 이중 인증 (모바일, 출입카드 등)	- 다중 센서 기반 이동 동선 예측 및 최적화
		수용성	보행자 흐름과 충돌 없이 자연스럽게 진입	- 인지 및 통과 과정에 대한 시각/음성 알림 제공
엘리베이터	- 로봇의 호출, 탑승, 층 이동 - 입주민의 동승 또는 대기	안전성	엘리베이터 문 끼임 및 충돌 사고 예방	- 엘리베이터-로봇 간 제어 및 목적층 호출
		인지성	로봇의 탑승 및 이동 상태 명확하게 전달	- 엘리베이터 상태 정보 공유
		효용성	호출 응답 속도 및 대기 시간 최소화	- 로봇의 빠른 승하차 판단
		수용성	사람이 거부감 없이 로봇과 공간 공유	- “로봇 탑승 중” 알림 표시 (시각 및 음성)
주문 배송	- 물품 주문 및 수령 - 로봇의 픽업 및 배송	안전성	좁은 복도, 계단, 장애물에 대한 충돌 방지	- 멀티채널 알림(앱, 문자 등) 및 수령 완료 안내(UI/조명/음성)
		인지성	배송 진행 및 완료 상태를 쉽게 인지	- 세대 배송 동선 최적화 및 장애물 회피 기술
		효용성	정확하고 신속한 배송을 통한 편의 제공	- 친근한 로봇 외형 및 음성 등 이미지 설계
		수용성	다양한 연령대의 사용자에게 배송 방식 수용	

3.3 로봇 친화형 인프라 시스템(R2I)

공동주택 환경에서 로봇 배송 서비스를 안정적으로 운영하기 위해서는 단순한 주행 기술만으로는 한계가 있으며, 로봇과 건축물 관련 인프라 간의 유기적인 연동이 필수적이다. 본 연구에서는 이를 R2I 개념으로 정의하고, 물리적 인프라에 국한하지 않고 서비스 운영을 위한 디지털 인프라까지 포함하는 통합적 접근을 제안한다. 이에 따라 표4와 같이 출입 게이트, 엘리베이터, 주문배송을 아우르는 다층적 연동 구조를 개발 방향으로 설정하였다.

표4. R2I 시스템 구현 방향

구 분	R2I 시스템 구현 방향
출입 게이트	· 출입 제어 단말기-로봇 BLE 모듈 통신
엘리베이터	· 엘리베이터 API 서버-로봇 관제시스템 연동
주문배송	· 입주민 전용 어플 - 로봇 관제시스템 - 3rd Party 플랫폼(카페 POS, 배달 전문, 편의점) 통합 연동

공동주택 주동 출입 게이트의 경우, 출입 제어 단말기와 로봇 간 BLE 모듈 통신을 통해 자동 인증 및 개폐가 이루어진다. 이를 통해 로봇은 입주민과 동일한 보안 체계를 준수하면서도 별도의 사용자 개입 없이 내부 공간으로 진·출입할 수 있다. 특히 실내·외 통합 주행 로봇의 낮

은 높이로 인해 내부에서 외부로 진출 시 게이트 센서 미인지 오류가 발생할 수 있는 문제를 해결하기 위해, 게이트와 로봇 간 양방향 통신 구조를 적용하였다.

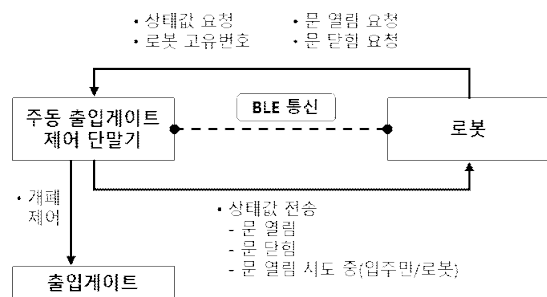


그림2. 로봇-주동 출입 게이트 간 R2I

엘리베이터 연동은 API 서버와 로봇 관제시스템 간 연결을 통해 구현된다. 관제시스템은 목적층을 로봇 호출 형식으로 요청하며, 목적층 도달 직전에는 탑승 준비 알림을 받아 로봇의 신속한 탑승을 지원한다. 또한 로봇의 승하차가 완료되면 완료 신호가 즉시 전송된 후 문이 닫히도록 하여 충돌이나 끼임을 방지하였다. 이를 통해 안전성을 확보함과 동시에, 로봇의 저속 이동에 따른 입주민의 수용성을 고려하였다.

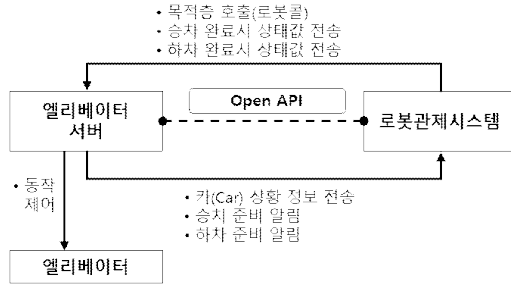


그림3. 로봇-엘리베이터 간 R2I

주문배송은 로봇 배송 서비스 시나리오의 출발점으로, 사용자 경험 측면에서 가장 중요한 요소이다. 이를 위해 입주민 전용 애플리케이션, 로봇 관제시스템, 외부 서드파티 플랫폼 간의 통합 연동을 통해 주문-배차-배송-수령 절차를 하나의 시스템으로 연결하였다.

본 연구는 2단계 실증 절차를 통해 제안된 R2I 구조의 타당성을 검증하였다. 먼저, 랩(Lab) 환경에서 출입 게이트·엘리베이터·세대 앞 복도 등의 모사 조건을 구축하여 기술 구현 가능성을 시험하고 개발 방향을 정립하였다. 이후 실제 공동주택 단지 현장에서 서비스를 적용하여 운영의 안정성과 유효성을 확인하였다.

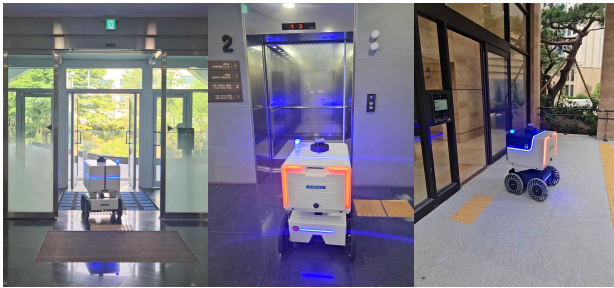


그림 4. 로봇 배송 랩 환경 실증 및 현장 적용

4. 결론

4.1 연구의 의의

본 연구는 공동주택이라는 복합적인 환경에서 로봇 배송 서비스를 실제로 적용하고 그 가능성을 확인했다는 점에서 의미를 가진다. 특히, 로봇 배송의 시나리오를 HRI 관점에서 분석하여 로보틱스와 건축시스템 간 융합 개발하는 방향을 제시하였다. 뿐만 아니라, 실제 공동주택 환경에 로봇 배송 서비스를 적용하는데 기여하였다. 이러한 사업지 적용 경험은 향후 해당 기술의 상용화 확대를 위한 현실적인 기반을 마련했다는 점에서 의의를 찾을 수 있다.

4.2 한계점 및 향후 과제

본 연구는 단일 신축단지와 특정 로봇 기종에 국한된 사례라는 명확한 한계를 가진다. 따라서 연구 결과의 일반화를 위해서는 다양한 환경(예: 기축 노후단지, 중/대형 단

지 등)과 여러 제조사의 서비스 로봇을 활용한 추가적인 검증이 필요하다. 또한, 다음과 같은 사항들이 향후 과제로 남아있다.

첫째, 사용자 피드백을 지속적으로 반영한 서비스 고도화 작업이 필요하다. 둘째, 다수 단지로의 확장 실증을 통해 운영 모델의 효율성을 검증해야 한다. 셋째, 이기종 다수 로봇 운영 시 관리의 효율성과 BMS(Building Management System)와 연계한 로봇-인프라 간 시스템의 표준화를 위한 기술적, 제도적 논의가 수반되어야 한다. 마지막으로, 운영 모델에 대한 투자 대비 수익(ROI) 분석을 통해 비즈니스 모델의 경제적 타당성을 확보하는 것이 중요하다.

참고문헌

1. 토지주택연구원(LH), 공동주택 단지 내 로봇배송 구현을 위한 인프라 구축(안) 마련 연구, 2023
2. 토지주택연구원(LH), 공동주택 단지 내 로봇배송 구현을 위한 인프라 구축 연구, 2024
3. 이관용, 구한민, 이윤서, 정민승, 윤동근, 김갑성, 로봇 친화형 건축물 인증 지표 개발: 초점집단면접(FGI)과 분석적 계층화 과정(AHP)의 활용, 2022
4. 한국국토정보공사, 아파트 단지의 로봇 친화형 환경 인증 모델 개발, 2023
5. A. Puig-Pey, J.Ll. Zamora, B. Amante, J. Moreno, A. Garrell, A. Grau, Y. Bolea, A. Santamaria, A. Sanfeliu, Human acceptance in the Human-Robot Interaction scenario for last-mile goods delivery, 2023
6. Naver, 1784 The Testbed, 2024
7. 국토교통부, 기술 융합을 통한 공간혁신 스마트+빌딩 활성화 로드맵, 2023
8. 관계부처 합동, 2021년 로봇산업 선제적 규제혁신 로드맵 실행계획, 2021