

# 주거 공간으로의 로봇 도입, Human-Robot Interactive 건축 기술 연구

양현정 KICT 건축연구본부 전임연구원

## 들어가며

최근 로봇 기술은 Physical Computing과 Generative AI의 융합, 그리고 휴머노이드 개발의 진전을 중심으로 고도화되고 있으며, 이에 따라 로봇의 역할과 활용 영역은 과거의 단순 자동화 기능을 넘어 인간과의 정교한 상호작용 기반으로 급속히 확장되고 있다. 과거 산업 현장에서 주로 사용되던 제조용 로봇이 이제는 일상생활 속 다양한 상황에 능동적으로 대응하는 서비스로봇으로 전환되고 있으며, 이는 기술 진화의 필연적 흐름이자 사회적 요구에 부합하는 방향이라 할 수 있다.

특히 이러한 기술 발전은 고령화 사회라는 인구 구조의

변화에 대응할 수 있는 유력한 해법으로 주목받고 있다. 돌봄 인력 부족, 노인의 독립적 생활 유지, 정서적 고립 문제 등 다양한 사회적 과제를 고려할 때, 로봇은 단순한 보조도구를 넘어 의미 있는 생활 파트너로서의 역할을 수행할 가능성을 갖고 있다. 예컨대, 사람의 언어와 감정을 이해하고 반응하는 휴머노이드 로봇은 고령자의 신체적·심리적 건강을 동시에 지원할 수 있는 잠재력을 지닌다.

이와 같은 맥락에서, 주거 공간은 로봇이 인간과 가장 밀접하게 상호작용하게 되는 핵심 환경이며, 단순한 거주 기능을 넘어 인간-로봇 상호작용(Human-Robot Interaction)

[그림 1] Human-Robot-Building 인터랙티브 환경



## 활용기기

실내환경 모니터링	재실자 반응 모니터링	실내환경 제어	로봇
Netatmo Healthy Home Coach 온습도   공기질   소음	Polar Verity Sense 심박수 모니터링	Polk Elite ES10 소리재생(스피커)	휴 가니아 다운라이트 조도 제어
Awair Element 공기질   온습도	Withings Sleep Analyzer 수면 모니터링	PreSonus Eris Sub 8 소리재생(우퍼)	휴 브릿지 조도제어를 위한 허브
Aqura 조도센서 조도	Liveon Health Care system 심박   호흡   라이프로그 데이터 수집	MOTU Monitor 8 소리재생(사운드카드)	휴 화이트 엠비언스 천장조명 조도제어
			휴 가니아 다운라이트 조도 제어
			휴 브릿지 조도제어를 위한 허브
			커튼 빛 제어
			휴홀이(소셜로봇)   클로이(배송로봇) 인간 상호작용(대화)   활동보조
			WIM (초경량 보행보조로봇)   청소보조 운동보조
			로보락(가사로봇) 청소보조

[그림 2] KICT 인터랙티브 스마트하우징 실험실 개요

인터랙티브 스마트하우징 실험실

재실자의 행동·생리반응을 실시간 모니터링하고 환경 자동제어 등 건강한 주거환경 조성을 위한 스마트하우징 기술 첨단 실험 공간



실험실

거실, 침실, 복도 등 실제 주거환경 구현

- 생리반응 데이터(심박/혈압/체온 등) · 환경데이터(온도/습도/조도/공기질/소음 등)
- 행동반응 데이터(활동/위치/수면 등) · 상호작용 데이터(기기사용패턴/응답시간)

을 전제로 한 건축 기술과 공간 설계의 전환이 요구된다. 본 연구는 이러한 배경에서, 주거환경 속에서 로봇의 자연스러운 작동과 사용자 중심의 상호작용이 가능하도록 지원하는 Human-Robot Interactive 건축 기술에 대해 연구하고자 하며, 이를 통해 거주자의 삶의 질을 높이는 새로운 주거 패러다임을 제시하는 데 목적이 있다.

휴먼-로봇-인터랙티브 건축 기술 연구 개요

휴먼-로봇-인터랙티브 건축 기술 연구는 다수의 인간-로봇 상호작용을 넘어 건물과 공간과의 통합적 협력 시스템 개발을 확장할 필요가 있음에 주목하여, 인간친화적 로봇 상호작용 건축기술 개발(건축 공간 + 서비스)을 최종 목표로 한다.

세부적으로는 로봇-공간-인간 간 동적 상호작용 연구를 통해 로봇이 인간을 돕기 위한 공간 적응 방법을 제시하고, 건물 내 스마트 인프라와의 연동을 통한 실시간 데이터 분석 및 공간 최적화 기술을 개발하고자 한다.

연구는 3차년도에 걸쳐 단계적으로 수행된다. 1차년도에는 로봇 친화형 인터랙티브 건축 기술 개발을 위한 기반 마련 단계로, 건축공간 적용 로봇기술 현황조사를 바탕으로 주거공간 도입 로봇을 선정하고 휴먼-로봇 인터랙티브 운용 환경을 구축한다.

2차년도에는 인터랙티브 로봇 사용환경의 멀티모달데이터 활용 기술을 개발하고, 사용자 맞춤형 응답 최적화 기술을 구축하며, 기존 로봇 운영 시스템(ROS) 연계 제어 서비스의 프로토타입을 개발한다.

**위치** 한국건설기술연구원 일산본원 8동 5층

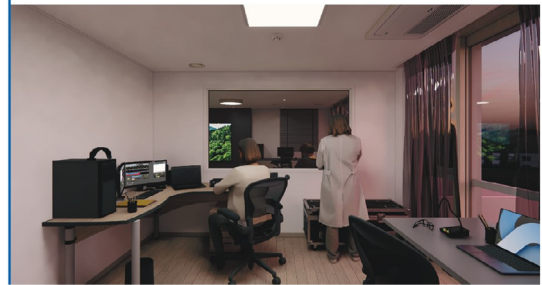
**규모** 84m<sup>2</sup> | 1개 세대

**목적** 재실자 반응 관찰 및 측정 | 데이터 수집 및 분석 | 면담 및 상호작용

관찰실 및 제어실

투명 파티션을 통한 비침습적 관찰

- 환경제어 및 데이터 수집 통합관리
- 실험 모니터링 및 제어



3차년도에는 실사용 환경에서 사용자 맞춤형 서비스를 검증하고, 건축 공간과 로봇 상호작용을 최적화하며, 휴먼-빌딩-로봇 연계성을 종합적으로 검증한다.

본 연구는 KICT 8동 5층 ‘인터랙티브 스마트하우징 실험실’에서 기존 스마트홈 기능을 확장하여, Human-Robot-Building 간 인터랙티브한 상호작용 환경으로의 발전을 위한 상호작용 기반의 기술환경 구축과 건축공간 개선을 구현하고자 한다.

돌봄로봇 동향조사 및 서비스 분석

주거공간 로봇 서비스 도입을 위하여 상용화된 로봇을 중심으로 국내외 동향 조사를 수행하였다. 국내에서는 효돌(건강관리, 감성대화, 구조요청), 파이보(시니어케어, 아이돌봄) 등이 돌봄 서비스에 활용되고 있으며, 미국에서는 Stretch(가정용 모바일 매니플레이터), Moxi(의료/약품 배달, 실험실 샘플 전달) 등이 의료·돌봄 시설에 도입되고 있다. 일본은 Paro(물범 로봇), Lovot, Pepper 등 감성적 교감 중심 로봇이 치매·우울증 관리에 활용되고 있어 반려·동반 로봇이 활성화되어 있다. 아직까지는 서비스 로봇이 다양하지는 않고, 상용화 된 로봇도 많지 않다.

도입 로봇의 선정을 위해서는 주거공간에 필요한 서비스를 검토하였다. 2024년 7월 정부에서 발표한 ‘시니어 레지던스활성화 방안’에서는 노인 단계별 필요서비스를 제시하였다. 3가지 노인 단계별로 ‘독립생활 단계’에서는 가사·식사 등 생활지원과 여가지원, 안부확인 등이 필요하며, ‘돌봄필요 단계’에서는 노인맞춤돌봄과 재가요양서비스, 안전

[그림 3] 주거공간 도입 로봇



주거, 헬스케어가 요구된다. ‘전문요양 필요 단계’에서는 고령자요양시설에서의 생활 및 요양지원이 필수적임을 확인하였다. 본 연구에서는 ‘돌봄 필요 단계’의 노인에게 필요한 서비스를 로봇이 대신해 주는 방안을 검토하였다.

주거공간 도입 로봇 선정 및 기술 분석

스마트 주택에서 고령자 돌봄 로봇 서비스 시나리오 개발을 위해 3종의 상용화 로봇을 선정하였다. LG CLOi(배송로봇)는 식음료, 우편 및 필요물품 배달과 고객 환경 맞춤형 서비스를 제공한다. Roborock(가사로봇)은 공간 매핑 및 방향 탐지 기능을 탑재하여 자동화된 공간 청소를 제공한다. 효돌이(소셜로봇)는 사물인터넷(IoT) 기술을 적용하여 24시간 고령자 생활, 정서, 안전관리 정보를 제공한다.

이들 로봇은 Home Assistant 플랫폼을 통해 통합 관리되며, 로봇별 관제 플랫폼 연동 API를 사용하여 다양한 주거 관리 서비스를 구현할 수 있도록 설계하였다.

인터랙티브 환경은 향후 휴머노이드 로봇 도입시에 활용할 수 있도록 오픈된 시스템으로 구축하였다.

스마트 주택의 로봇 역할 시나리오 기반으로 정리하였다. 만 67세 김여사의 일상을 모델로 한 스마트 주택의 서비스 시나리오를 개발하였다. 평일 아침부터 밤까지의 생활 패턴을 분석하여 로봇 기술을 매칭한 결과, 이동지원 로봇 기술(낙상 방지, 경로 안내, 짐 운반), 가사보조 로봇 기술(요리, 세탁, 청소, 설거지 자동화), 상호작용 로봇 기술(음성 인식, 감성 피드백, 시각·청각 보조), 스마트 환경 연동 기술(커튼, 조명, 가전 제어), 건강/생활 모니터링 기술(수면, 낙상, 온도도 감지) 등 5개 핵심 기술 영역을 도출하였다.

로봇 친화형 주거 공간을 위한 연구

로봇 도입을 전제로 한 주택의 공간 변화 가능성을 검토하기 위해, 본 연구에서는 로봇 친화형 건축물 인증제도에 대한 분석을 수행하였다. 현재 해당 인증제도는 로봇 활용이

활발한 일반 건축물을 중심(비주거)으로 운영되고 있으며, 주거공간을 대상으로 한 적용은 아직 초기 단계에 머물러 있다.

대표 사례로는 국내 최초이자 세계 최초의 로봇 친화형 건축물인 “네이버 제 2사옥이 있다.” 이 건물은 2022년 4월, 로봇 친화형 건축물 인증제도에서 최우수 등급을 획득하였으며, △건축·시설 설계 △네트워크·시스템 △건축 운영 관리 △로봇 지원 및 기타 서비스 등 총 4개 부문, 25개 평가 항목을 모두 충족하였다.

주요 특징으로는 로봇들의 자유로운 층간 이동을 돕는 세계 최초 로봇 전용 엘리베이터, 5G 브레인리스 로봇기술 기반의 다양한 서비스, 네이버 클라우드와 5G 네트워크 기반의 멀티로봇 인텔리전스 시스템 등이 있다. 약 100대의 ‘루키’ 배달로봇이 화재피난대응을 포함한 업무를 수행하고 있다.

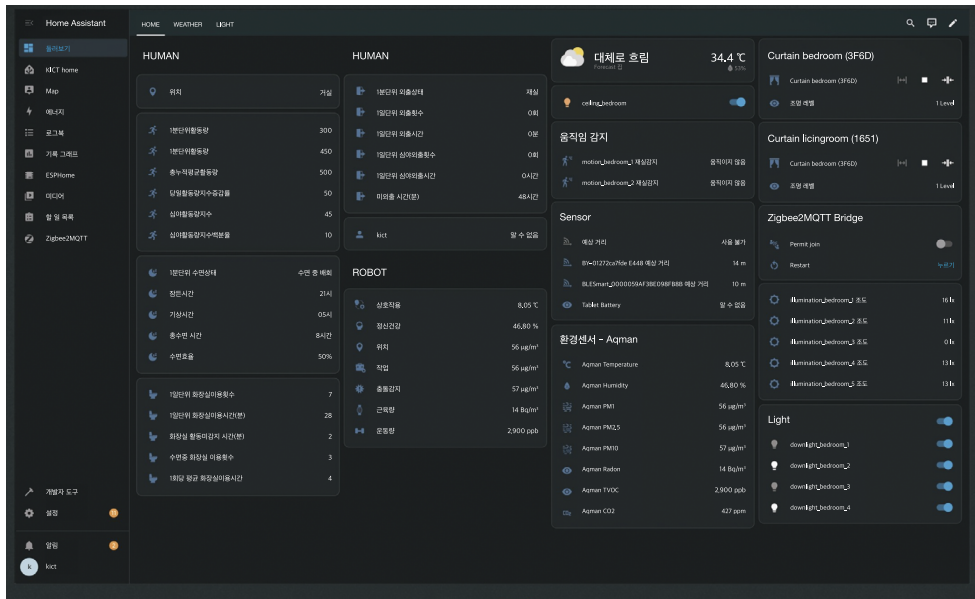
본 연구는 이러한 인증제도와 사례 분석을 바탕으로, 주거 공간에 돌봄 로봇을 적용하기 위한 필수 공간 요소들을 도출하였다. 특히 주목할 만한 항목으로는, △사용자와 이동형 서비스로봇 간 교차 통행을 고려한 최소 유효 폭 1.2m 이상의 이동 통로, △로봇 이동에 적합한 바닥 마감재(C.S.R 마찰계수 0.4 이상), △IoT 및 센서 기술 활용을 위한 통합 네트워크 구축 등이 있으며, 이는 향후 주거공간에 로봇을 도입하기 위한 핵심 기준으로 작용할 수 있을 것이다.

인터랙티브 환경 구축 및 데이터 수집 계획

한국건설기술연구원 일산본원 8동 5층에는 연면적 84㎡ 규모의 ‘인터랙티브 스마트하우징 실험실’이 구축되어 있다. 이 공간은 재실자의 행동 반응 및 생리 반응을 실시간으로 모니터링하고, 건강한 주거환경 조성을 위한 환경 자동제어형 스마트홈 기술을 개발하기 위한 통합 실험 공간으로 조성되었다.

현재 본 실험실은 기존 스마트홈 기능을 확장하여, Human-Robot-Building 간 인터랙티브한 상호작용 환경을

[그림 4] 로봇 상호작용을 위한 스마트하우징 플랫폼



로의 발전을 목표로 하고 있으며, 상호작용 기반의 기술환경 구축과 건축공간 개선을 병행하여 추진 중이다.

시스템 설계는 Human 요소(사용자 위치, 활동량, 수면 상태, 심박 수, 호흡률, 혈압, 맥박 등), Building 요소(온도, 습도, 조도, 공기질, 대기압, 소음, 가전기기 작동 상태 등), Robot 요소(로봇의 사용자와의 상호작용, 정신건강 관련 응답, 위치 추적, 충돌 감지, 작업 수행 정보, 근육 량 및 운동량 등)를 종합적으로 모니터링하고 분석할 수 있도록 [그림 4]와 같이 구성이 되어 있다.

또한, 실험실 내에 구축된 건물 내 스마트 인프라와의 연동을 통해, 실시간 데이터 분석과 각 요소 간의 양방향 상호작용이 가능하도록 시스템이 설계되어 있다. 이를 통해, 인간 중심의 맞춤형 주거환경 제공은 물론, 향후 돌봄 로봇과의 통합 운영 기술, 데이터 기반 환경 제어 알고리즘 개발 등으로의 확장이 기대된다.

맺음말

본 연구는 주택이라는 일상적 공간을 배경으로, 다양한 서비스 로봇의 도입 가능성과 이를 수용할 수 있는 건축 공간의 변화 및 상호작용 환경에 대해 본격적으로 탐구한 최초의 시도라는 데 의의가 있다. 로봇 기술 그 자체의 고도화를 목표로 한 연구는 아니지만, 로봇이 주거 공간에 실제로 적용되기 위해 필요한 물리적 조건과 상호작용 기반을 건축적으로 고찰함으로써, 향후 서비스 로봇의 실질적 활용과 가치 극대화에 기여할 수 있는 중요한 출발점을 마련하였다.

앞으로 본 연구가 제시한 공간적 대응 방향과 기술 통합 개념은, 고령화 사회 대응, 삶의 질 향상, 주거 서비스의 다양화라는 시대적 요구에 부응하는 지속 가능한 주거 모델 개발로 확장될 수 있을 것이다. 더불어 인간과 로봇의 공존을 위한 실천적 방안으로서, 건축-로봇 기술 융합의 새로운 가능성을 여는 밑거름이 되기를 기대한다. **KICT**

참고자료

- 이관용, 구한민, 이윤서, 정민승, 윤동근, & 김갑성. (2022). 로봇 친화형 건축물 인증 지표 개발: 초점집단면접 (FGI) 과 분석적 계층화 과정 (AHP) 의 활용. 지적과 국토정보, 52(2), 17-34.
- 한국전자통신연구원. (2022). 고령 사회에 대응하기 위한 실환경 휴먼케어 로봇 기술 개발(과학기술정보통신부) 보고서
- 건축공간연구원. (2024). 로봇 친화형 건축물 설계 및 리모델링 핵심기술 개발(국토교통부) 보고서
- Ivanov, Stanislav Hristov, and Craig Webster. (2017). Designing robot-friendly hospitality facilities. Proceedings of the scientific conference Tourism. Innovations. Strategies.
- Sheridan, T. B. (2016). Human-robot interaction: status and challenges. Human factors, 58(4), 525-532.
- Sartorius, Marie P., and Petra von Both(2022) "Rule-Based Design for the Integration of Humanoid Assistance Robotics into the Living Environment of Senior Citizens." Legal Depot D/2022/14982/02 : 367.