

로봇 친화형 건축물 인증 지표 개발 : 초점집단면접(FGI)과 분석적 계층화 과정(AHP)의 활용

Developing an Evaluation System for Certifying the Robot-Friendliness of Buildings through Focus Group Interviews and the Analytic Hierarchy Process

이관용* · 구한민** · 이윤서*** · 정민승**** · 윤동근***** · 김갑성*****
Lee, Kwanyong · Gu, Hanmin · Lee, Yoonseo · Jung, Minseung · Yoon, Dongkeun · Kim, Kabsung

Abstract

With rapid advancements taking place in the Fourth Industrial Revolution, human-robot interactions have been garnering increasing attention. Robots are being actively adopted in building systems and facilities. In this study, we developed robot-friendly building certification indicators. Because these indicators were being developed for the first time, we focused only on commercial buildings. We conducted exploratory research using methodologies such as focus group interviews and the analytic hierarchy process. First, the concept of the robot-friendly building was defined through focus group interviews, and the requirements were categorized by the appropriateness of operating facilities and systems and the appropriateness of architectural and robot operating systems and networks. Next, the relative importance of the evaluation items (23 items in total) was calculated using the analytic hierarchy process. Their average score of the marks was 4.4, and the minimum and maximum were 2.0 and 11.3, respectively. This study is significant because we collected the basic data necessary to develop a one-of-its-kind evaluation system for certifying the robot-friendliness of buildings using scientific methods.

Keywords: Robot-Friendly Buildings, Robot-Friendliness, Certification Indicators, Human-Robot Interactions, Focus Group Interview (FGI), Analytic Hierarchy Process (AHP)

- * 연세대학교 도시공학과 석사 / 이시스자산운용 대리 Department of Urban Engineering and Planning, Yonsei University / IGIS Asset Management (first author: kylee@igisam.com)
- ** 연세대학교 도시공학과 박사수료 Department of Urban Engineering and Planning, Yonsei University (ghm21@yonsei.ac.kr)
- *** 연세대학교 도시공학과 석사 / 칸서스자산운용 사원 Department of Urban Engineering and Planning, Yonsei University / Consus Asset Management (ys6880@yonsei.ac.kr)
- **** 연세대학교 도시공학과 석박사통합과정 Department of Urban Engineering and Planning, Yonsei University (billy0304@yonsei.ac.kr)
- ***** 연세대학교 도시공학과 교수 Department of Urban Engineering and Planning, Yonsei University (dkyoon@yonsei.ac.kr)
- ***** 연세대학교 도시공학과 교수 Department of Urban Engineering and Planning, Yonsei University (corresponding author: kabsung@yonsei.ac.kr)

1. 서 론

최근 정부는 도시에서 발생하는 교통, 에너지, 환경 등의 데이터를 활용하여 도시를 통합 관리하는 인프라를 구축하는 등 도시 성장 단계에 따른 맞춤형 스마트시티의 확산을 추진하고 있다. 이와 함께 4차 산업혁명의 진전으로 로봇과 인간의 상호작용에 대한 관심이 커지고 있으며, 건축물의 설비와 시스템에도 로봇을 적극적으로 도입하고 있다. 특히 2017년 과학기술정보통신부의 4차 산업혁명 대응 혁신성장동력 13개 분야 중 지능형 로봇이 융합 서비스 분야의 주요 기술로 선정되어(과학기술정보통신부·한국과학기술기술평가원 2020) 비약적인 발전이 기대되고 있다.

정보통신기술(information and communication technology, ICT)의 급속한 발전과 사회 전반의 디지털 트랜스포메이션(digital transformation, DX)에 따라 일반 건축물의 설비와 시스템에도 로봇이 도입되고 있다(Ivanov and Webster 2017). 나아가 회사 업무 시스템에 인공지능(artificial intelligence, AI) 기반의 융합 솔루션(solution)을 연동하여 인간과 로봇이 자연스럽게 상호작용하는 운영 시스템을 구축한 로봇 친화형 건축물이 등장하였다. 더불어 로봇 산업의 패러다임이 기존 산업용 로봇 생산 위주에서 비산업용 로봇까지 확장되고 있어, 주거, 상업, 업무 등 다양한 분야의 로봇 친화형 건축물이 등장할 것으로 전망된다(김승준·최정민 2019). 이에 로봇 및 건축물의 특징과 이용자의 특성을 반영한 로봇 친화형 건축물에 대한 표준이 필요한 상황이다.

저자들은 본 연구를 통하여 로봇 활동을 지원하는 인프라를 갖춘 로봇 친화형 건축물의 개념을 정의하고, 이를 바탕으로 로봇 친화형 건축 요건을 인증 지표의 형식으로 개발함으로써 기술과 사회의 변화에 따라 건축, 도시 환경이 인간 및 로봇의 이동과 활동에 적합한 환경을 제공하는 데 기여하고자 한다. 다만 본 연구는 세계 최초의 로봇 친화형 건축물 인증 지표를

개발하려는 시도라는 점에서 업무용 건축물로 대상을 한정하고, 과학적 방법론을 활용하여 탐색적으로 수행한다.

본 연구는 우선 로봇 친화형 건축과 관련한 유사 사례를 검토하여 로봇 친화성(robot-friendliness)과 관련한 이론적 기반을 확인한다. 다음으로 초점집단면접(focus group interview, FGI), 분석적 계층화 과정(analytic hierarchy process, AHP) 등을 통하여 인증 지표 및 인증 제도의 구성 방안을 제안한다. 구체적인 분석은 ① 로봇 친화형 건축물의 정의 및 단계 구분, ② 로봇 친화형 건축물 관련 쟁점 도출, ③ 로봇 친화형 건축 요건 분류, ④ 로봇 친화형 건축물 인증 지표의 상대적 중요도 산출 및 배점 부여의 순으로 수행된다. 결론부에서는 이러한 분석의 결과를 요약하고 이들이 갖는 시사점을 서술한다.

본 연구는 세계 최초의 로봇 친화형 건축물 인증 지표 시스템 마련에 필요한 기초자료를 구축한다는 점에서 중차대한 의의를 갖는다. 향후 이 인증 시스템은 현행 건축물 관련 인증 제도인 제로에너지(zero energy) 건축, 무장벽(barrier free) 건축, 장수명 주택 등과 보완적으로 활용될 수 있을 것이다.

2. 관련 사례 및 선행 연구 검토

2.1. 로봇 친화적 환경 관련 사례

로봇은 향후 주위 환경을 인식하고 판단하는 능력을 보유한 지능형 로봇의 형태로 진화할 것으로 예상된다. 이에 따라 수요 맞춤형 서비스 로봇이 널리 보급될 것이며, 스마트 기술에 착안한 각종 센서의 활용이 더욱 보편화될 전망이다(Loke 2019). 실제 스마트팩토리(smart factory) 등의 사례와 같이 제조업을 위주로 역동적인 환경에서의 로봇 작동이 보편화되고 있다(Bodhale et al. 2009).

저자들은 로봇이 접근하기 쉬운 로봇 친화적 환경

(robot-friendly environment)의 필요성이 대두되고 있다는 점을 고려하여 장소별 이용자의 특성과 생활 공간 내 수요 및 활용을 분석하고 로봇 친화형 건축물의 정의에 로봇과 인간의 상호 편의성이라는 키워드를 포함하고자 한다. 또한 로봇 친화형 건축 요건에 기존 인간 중심으로 설계된 건축물에서 나아가 로봇의 이동성과 효율성을 극대화할 수 있는 건축 요소를 포함함으로써, 로봇과 인간이 함께 이용할 수 있는 편리한 공간을 조성하는 데 기여할 수 있을 것이다.

2.2. 로봇 포용적 환경 관련 사례

로봇 포용적 환경(robot-inclusive environment)이란 로봇, 인간, 환경이 공생하는 개념과 방법론을 제시함과 동시에 기존 로봇 중심의 설계에서 로봇과 환경 모두를 고려하는 설계로의 패러다임 전환을 의미한다(Mohan et al. 2013). 앞선 로봇 친화형 환경은 로봇의 업무 수행 시 효율성을 제고하기 위한 설계 지침에 초점을 맞추었다면, 로봇 포용적 환경은 로봇과 환경, 특히 건축 환경 간 상호작용을 통하여 업무의 효율성, 안전성, 통합성 등을 확보하는 데 초점을 맞춘다.

본 연구는 로봇 친화형 건축물 인증 지표를 개발하기 위한 탐색적 연구이므로 로봇의 설계적 측면보다는 건축 환경 내 인간과 로봇이 서로를 인지하고 기능적으로 통합하는 상호작용 과정에 중점을 두고 있다. 따라서 이 과정에서 로봇의 자율성(autonomy)을 평가하는 분석틀/framework)과 관련한 연구(Beer et al. 2014; Gaultney et al. 1989)를 참고하되 Tan et al. (2016)의 로봇 포용적 환경에 대한 세부 지침을 바탕으로 인증 지표의 분류 및 항목을 설정한다.

2.3. 인간-로봇 협업 환경 관련 사례

초기 로봇은 인간이 수행하기에 어려운 일을 대체할 목적으로 개발되었다. 그러나 최근에는 제조업과

서비스업 분야의 작업환경을 비롯하여 인간과 로봇이 공간을 공유하며 협업, 교류 등 보완적 기능을 수행할 수 있도록 개발되고 있다. 로봇이 AI 알고리즘을 통해 작업환경 내 인간의 행동을 학습하게 함으로써 예측 불가능한 상황 속에서도 자율성에 기반하여 대응하도록 설계하여 인간과 로봇의 협업(human-robot collaboration)이 가능한 환경을 조성할 수 있다(Leonel et al. 2016).

한편 인간-로봇 혹은 로봇-로봇 간 커뮤니케이션(communication)과 관련한 연구는 주로 전자공학에서의 정적(static)-동적(dynamic), 반응적(reactive)-사전대응적(proactive) 등의 특징을 중심으로 수행되어왔다. 하지만 최근에는 AI를 활용하여 로봇의 이동성(mobility)을 향상하고 인간과 로봇 또는 로봇 간의 커뮤니케이션을 유도하는 방향으로 옮겨가고 있다(Alsamhi et al. 2020).

저자들 역시 로봇 친화형 건축물 인증 지표 개발이라는 목적상 로봇의 수동적 기능이나 제한된 커뮤니케이션 수준을 넘어 능동적이고 통합적으로 작동하고 상호작용하는 로봇과 스마트빌딩(smart building, Buckman et al. 2014)¹⁾의 시스템에 적합한 건축 환경에 초점을 맞추고자 한다. 이는 궁극적으로 로봇과 인간이 일상적인 업무 과정에서 협업할 수 있는 공간의 조성에 목적을 둔다.

2.4. 로봇 유형의 구분

앞서 살펴본 로봇 친화형 환경, 로봇 포용적 환경 그리고 로봇과 인간의 협업 환경 조성의 대상이 되는 로봇의 범주를 정하여야 한다. 이에 저자들은 유사 사례의 시사점을 바탕으로 『중소기업 기술로드맵 2018-2020』(중소기업벤처부 외 2018)의 로봇 기술 관련 부분, 『대한민국 로봇산업 기술로드맵』(산업통상자원부·한국산업기술평가관리원 2017) 등을 살펴보았다. 그 결과, 로봇 친화형 건축물에서 이용할 수 있는 주요

한 로봇의 유형을 다음의 다섯 가지로 구분할 수 있었다.

2.4.1. 물류 로봇

물류 로봇은 물류센터, 공장 등에서 사물인터넷(internet of things, IoT) 기술, AI 기술 그리고 자율주행 등 모빌리티 기술을 활용하여 물류 운반, 이동의 효율성 향상을 목적으로 하는 로봇이다. 현재 물체 인식, 즉 로봇 비전(robot vision)과 조작에 관련한 기술이 중점적으로 개발되고 있다.

2.4.2. 개인 서비스 로봇

개인 서비스 로봇은 개인이 사용하는 비상업적 목적의 서비스 로봇으로 일상생활 속에서 인간의 가사 업무 보조, 심리적 안정 지원, 여가 선용 또는 교육에 활용할 수 있는 로봇이다. 현재 인간-로봇 상호작용(human-robot interaction, HRI), 동작 지능, 머니퐁레이터(manipulator), 상황 판단 및 이동과 관련한 기술을 중심으로 개발되고 있다.

2.4.3. 로봇 소프트웨어 및 지능 로봇

로봇 소프트웨어 및 지능 로봇이란 로봇 기술 기반의 자동화 기계장치를 개발하거나 유지·보수를 지원하는 소프트웨어 로봇이다. 현재 표준 인터페이스(interface) 및 운영체제 개발, 전이학습(transfer learning)이 가능한 AI 소프트웨어, 시각화, 실시간 상호작용 대시보드(real-time interactive dashboard) 소프트웨어, 이종 기기 간 협업 기술이 주로 개발되고 있다.

2.4.4. 인간 친화형 협동 로봇

인간 친화형 협동 로봇이란 인간과 작업 공간을 공유하며 직접적인 상호작용을 위해 설계된 로봇으로, 쉽고 편리한 사용을 위한 직관적 교시(敎示, teaching)가 특징이다. 현재 안전 기술, 유연성과 확장성 요구에

맞는 소프트웨어를 중심으로 개발이 이루어지고 있다.

2.4.5. 가정 로봇

가정 로봇이란 일반적인 가정에서 가사 활동을 보조하거나 자율적으로 가정 내 환경을 판단해 정해진 가사 업무를 스스로 수행하는 로봇을 의미한다. 점차 개인 서비스 로봇과의 경계가 흐릿해지고 있다. 현재 음성인식, 영상인식, 자율주행, 장애물 회피, 하이브리드 애플리케이션(hybrid application) 기술을 중심으로 개발하고 있다.

3. 연구의 범위 및 방법

3.1. 연구의 범위

3.1.1. 건축물의 공간적 범위

저자들은 건축물 내외부의 환경 전반이 로봇에 친화적이고 포용적으로 조성되었는지 평가할 수 있는 로봇 친화형 건축물 인증 지표를 개발하고자 한다. 따라서 본 연구에서의 건축물이란 건물, 구축물 등을 포함하여 로봇을 운용할 수 있는 건물 주변의 공간 일체를 포함한다. 여기서 건축물 외부의 경우, 해당 건축물이 소속된 필지, 즉 등기부등본과 건축물대장에 대지면적으로 설정된 구역을 의미한다.

저자들이 본 연구의 모태가 되는 프로젝트를 수행할 당시²⁾ 세계적으로 로봇 친화형 건축물로 인증된 건축물이 존재하지 않았다. 이와 유사한 지능형 건축물이 존재하나 이는 에너지 소비량과 관리비용 절감 측면에 초점을 맞추고 있으므로 로봇 친화형 건축물로 보기는 어려웠다. 따라서 저자들은 세계 최초의 로봇 친화형 건축물 인증 지표를 개발하고자 하므로 탐색적으로 연구를 수행하여야 했다. 이에 로봇과 인간의 협업 가능성과 실용성을 우선하여 인증 지표의 마련이 시급한 업무용 건축물을 연구 대상으로 한정하였다.

Table 1. Scope of Robot-Friendly Building

Category	Unshared space (US)	Shared space (SS)
Stationary robot (SR)	SR-US	SR-SS
Mobile robot (MR)	MR-US	MR-SS

한편 로봇 친화형 건축 요건은 건축물 이용자 집단의 특성과 사용 행태에 따라 달라질 수 있다. 따라서 저자들은 건축물 사용 행태에 따라 한 집단이 전체 건축물을 단독으로 점유하는 공간과 여러 집단이 공동으로 점유하는 공간을 구분하였다. 먼저 본 연구에서 정의한 단독 점유공간은 법률상 법인 단독 소유 공간과 같은 의미이며, 이는 하나의 기업, 법인, 기관 등이 한 건축물을 온전히 점유하는 경우이다. 이용자의 단일성이라는 특징이 있으며 대부분 대기업 사옥의 형태로 활용된다. 다음으로 공동 점유공간은 해당 건축물을 관리하는 주체가 존재하며, 관리 주체의 운용 방식에 따라 둘 이상의 임차인이 층이나 공간별로 분리 임차하여 점유하는 경우를 말한다. 구체적으로 본 연구가 주목하는 공동 점유 업무용 건축물은 업무시설, 업무지원시설, 연구시설, 근린생활시설(업무, 판매), 주차시설, 문화시설, 식당, 로비 등이 포함된 공간으로 정의할 수 있다.

3.1.2. 로봇의 범위

로봇의 종류는 매우 다양하므로 로봇 친화형 건축 요건에서 의미하는 로봇 역시 그 범위를 특정할 필요가 있다. 이에 저자들은 앞서 살펴본 로봇의 유형 중 물류 로봇, 개인 서비스 로봇, 로봇 소프트웨어, 협동 로봇, 가정 로봇 등으로 한정하였다. 또한 로봇의 이동 가능성 측면에서 이를 정지형 로봇(stationary robot)³⁾과 이동형 로봇(mobile robot)⁴⁾으로 구분하고, 로봇 친화형 건축물에서는 정지형 로봇과 이동형 로봇을

모두 활용하는 것으로 전제하였다. 다만 이동형 로봇은 정지형 로봇보다 상위의 개념으로 파악하였다.

3.1.3. 종합: 로봇 친화형 건축물의 범위

앞서 살펴본 건축물의 공간적 범위와 여기서 활용하는 로봇의 범위, 즉 로봇 친화형 건축물의 범위를 2×2 표로 구분하여 나타내면 Table 1과 같다. 저자들은 이 중 로봇 기술의 진보성과 공간 구성의 복잡성 측면에서 가장 고차원적인 MR-SS(이동형 로봇-공동 점유공간)에 집중하였다. 위계상 MR-SS에 적용이 가능하다면 MR-US(이동형 로봇-단독 점유공간), SR-SS(정지형 로봇-공동 점유공간), SR-US(정지형 로봇-단독 점유공간)의 적용 역시 가능하기 때문이다.

3.1.4. 평가 기준 관련 가정

세부적인 로봇 친화형 건축물의 평가 항목을 논의하기 위하여 평가 기준과 관련한 규격 및 기술 수준을 가정할 필요가 있다. 먼저 로봇 규격의 경우 정지형 로봇의 크기는 따로 제한을 두지 않았고, 이동형 로봇의 경우 국내에서 생산하는 다수의 이동형 로봇 규격에 맞춰 높이 120cm, 폭 60cm 이내로 가정하였다. 다음으로 로봇 기술은 그 유형에 따라 세부적으로 가정하였다. 모빌리티 기술 수준은 최근 LiDAR(light detection and ranging) 데이터 등을 활용하여 건축물의 3D 모델링(예를 들면, 이인수 외 2022; 이재희 외 2021; 한승희·유상현 2022) 및 자율주행(예를 들면, 조해준 외 2020; 주은오 외 2021; 주은오·김민수 2022; 황종락 외 2019)에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있음을 고려하여 현 상태의 최고 수준을 가정하였다. 네트워크 기술은 통신사의 매개가 필요하지 않은 5G, Wi-Fi 6 정도의 수준을, 제어 기술은 클라우드 컴퓨팅(cloud computing, CC)을 통한 중앙제어 시스템의 수준을 가정하였다. 한편 현시점에서 적용할 수 있는 모든 수준의 IoT 및 센서 설치의 가능성을 고려하였다.

3.2. 분석방법

3.2.1. 초점집단면접(FGI)

초점집단면접은 특정한 주제에 관하여 소수의 전문가를 대상으로 발표하고 토론하게 함으로써 자료를 수집하는 탐색적 연구의 한 방법이다. 따라서 본 연구와 같이 개념적 정의조차 명확하게 이루어져 있지 않거나, 고찰할 만한 선행연구가 적을 때 유용한 방식이다(Kitzinger 1994). 초점집단면접은 주제와 관련한 전문가 및 실무자들이 다양한 관점에서 폭넓은 이해를 제공한다는 장점이 있다. 이에 국내에서는 평가지표를 개발하는 연구(예를 들면, 김수진·김정덕 2017; 박선희 2014; 이인숙·한승연 2010)에 꾸준히 활용되어왔다. 본 연구 역시 세계 최초의 로봇 친화형 건축물 인증 지표를 개발하는 것이 목적이므로 이를 분석 전 단계에 걸쳐 활용하였다.

로봇 친화형 건축 요건은 정의에 따라 로봇, 건축 환경, 인간 등 다양한 관점을 포괄하므로 여러 분야의 전문가를 활용한 학제적 융합 연구가 필요하다. 따라서 연구의 범위 설정부터 인증 지표의 타당성 검토까지 연구 전반에 걸쳐 지속적인 자문을 받을 수 있도록 초점집단면접의 전문가는 여러 분야에서 복수의 참여자, 총 16인⁵⁾으로 구성하였다(Appendix 1 참고). 면접조사는 2020년 4월부터 2020년 8월까지 총 8회에 걸쳐 진행되었다.

3.2.2. 분석적 계층화 과정(AHP)

Saaty(1977)가 창안한 분석적 계층화 과정은 다기준 의사결정 방법론의 하나로 지표 간 중요도 분석에 주로 활용되고 있다. 분석적 계층화 과정은 의사결정을 구성하고 있는 요소를 계층(hierarchy)별로 나누고 쌍대비교(pairwise comparison)함으로써 평가자의 지식, 경험, 직관을 포착할 수 있다. 구체적인 절차는 Table 2와 같다.

Table 2. Procedure for Using the AHP

Step	Description
1	Configuration of evaluation category
2	Pairwise comparison of evaluation category
3	Configuration of the pairwise comparison matrix on response data
4	Configuration of the relative importance matrix
5	Estimation of the relative importance of properties using eigenvector (EV) method
6	Examination of consistency of the judgment through consistency ratio
7	Synthesizing the judgments using the estimated each response

본 연구에서 분석적 계층화 과정의 설문에 참여한 전문가는 학계 교수 10인, 연구기관 연구원 3인, 민간 기업 관계자 1인 등 총 14인이다(Appendix 2 참고). 로봇 친화형 건축물에 관한 이론적 기반과 평가도 중요하나 실무적 적용 가능성과 유용성 등을 종합적으로 검토하여야 한다는 점에서 연구기관과 민간기업의 전문가도 포함하였다.

한편 분석적 계층화 과정은 쌍대비교에 기초하고 있으므로 항목의 수가 많아질수록 문항의 수가 급격히 상승한다는 특징이 있다. 항목의 수가 많아질수록 평가자의 피로도가 증가하고, 이는 평정의 일관성(consistency) 저하로 이어진다. 따라서 저자들은 인증 지표의 개별 항목이 아닌 이들 개별 항목 여러 개를 포함하는 상위 개념에 대한 쌍대비교를 수행하고 적용의 필수 여부에 따라 점수를 차등적으로 배분하였다.

4. 지표 개발 과정 및 결과

4.1. 로봇 친화형 건축물의 정의 및 단계 구분

4.1.1. 로봇 친화형 건축물의 정의

저자들은 앞선 사례 및 선행연구 검토 결과를 토대로 로봇 친화형 건축물을 '건물 내외부에서 이용할 로봇의 기술 수준을 지원하는 인프라를 갖추고, 일정한 규칙에 따라 모든 로봇의 임무를 관장하여 업무 환경을 쾌적하고 안전하게 관리하며, 인간과 상호작용하며 이들의 활동을 지원하는 중앙 통제 시스템을 갖춘 건축물'로 정의한다. 여기서 건축물이 로봇 기술을 지원할 인프라를 갖추고 있는지는 이용하는 로봇 기술 수준에 따라 달라질 수 있으므로 저자들은 설계적 관점, 즉 구조 및 인테리어의 인프라를 가장 기초적인 수준으로 보고, 기술 발전에 따른 로봇의 변화를 모두 수용할 수 있는지는 고차원적인 확장성과 지속가능성의 수준으로 간주한다. 또한 로봇의 이동 환경은 건물 내부에 국한하지 않으므로 건축물과 가까운 외부 공간에서 역시 원활한 활동이 이루어질 수 있는지를 고려하였다.

4.1.2. 로봇 친화형 건축물의 4단계

로봇 친화형 건축물의 단계는 4개로 구분할 수 있다. 단계가 낮을수록 로봇 친화형 건축물의 요건 중 외관 디자인 및 시스템 인프라 위주로 구성된 것이며, 단계가 높을수록 디자인, 시스템 인프라, 기능이 통합적으로 구성된 것이다(Table 3). 각 단계의 특징은 로봇 포용적 환경 설계기준과 인간-로봇 상호작용 디자인 원칙으로 구분한 것을 종합한다. 또한 상위 단계는 하위 단계의 특징을 포함한다.

1단계는 로봇 친화형 건축물의 기본적인 설계와 시스템 인프라를 갖춘 상태이다. 우선 로봇의 이동에 문제가 없도록 모든 공간에서 동일한 규칙에 기반한 설계를 적용하고, 건축물 내외부에서 모든 인간과 로봇이 네트워크에 접속할 수 있어야 한다. 또한 설계 부문

에 통일성(unity)이 있어야 하는데, 바닥, 천장, 벽, 문, 방지턱, 엘리베이터, 손잡이, 표지판, 센서 등 모든 요소가 동일한 규칙에 따라 구성되어야 한다. 또한 해당 공간을 이용하는 인간과 로봇의 대다수가 네트워크에 쉽게 접근할 수 있도록 네트워크 용량(capacity)을 충분히 갖추어야 한다.

2단계는 통일성, 충분한 용량에서 나아가, 인간과 로봇의 안전성을 확보하고, 5G, Wi-Fi 6 등 차세대 네트워크를 기반으로 한 신속한 정보 처리로 공간 이용 및 효율성을 높인 상태이다. 안전성(safety)이란 로봇 통행로 및 충전소를 별도로 배치하여 적절한 공간을 분리하고, 건축물 내부 안전과 환경을 실시간으로 감시, 조절할 수 있는 IoT 센서를 부착하는 등 통합적인 시스템을 운영하는 것을 의미한다. 또한 속도(velocity)는 고성능 네트워크 시스템을 이용해 인간과 로봇 모두 신속한 네트워크 접속 및 정보 처리가 가능해야 하며, 인간-로봇, 인간-인간, 로봇-로봇 간 실시간 정보 공유가 가능해야 한다는 것을 의미한다.

3단계는 인프라 조건 위주의 1·2단계에서 벗어나 건축물이 로봇의 기능적 특성을 고려하며 로봇 역시 건축물의 특성을 인지해 그에 맞는 기술과 시스템을 활용할 수 있는 수준에 해당한다. 다시 말해, 중앙 통제 시스템이 적용된 건축물과 로봇이 상호보완적으로 임무를 수행함으로써 인간과 로봇 양쪽 모두의 효율적인 활동을 도모한다. 따라서 행동유도성(affordance)과 기능성(functionality)이 주요한 특징으로 나타난다. 여기서 행동유도성이란 특정 환경을 제공하고 자극함으로써 인간이 무의식적으로 어떠한 행동을 하도록 유도하는 것을 의미한다(Zhang and Patel 2006). 본 연구에서는 건축 환경과 로봇이 인간과 또 다른 로봇의 업무를 지원함으로써 업무의 효율을 증대시키는 것으로 이해할 수 있다. 또한 기능성은 중앙 통제 시스템을 중심으로 제공된 데이터를 활용해 환경과 로봇이 서로의 기능적, 물리적 특성을 인지함으로써 그에 맞는 조건으로 변화하는 것을 의미한다.

Table 3. Levels of Robot-Friendliness of Building

Level (Characteristics)	Standard of robot inclusive environment	Design principles for human-robot interaction
1 Unity, Capacity	Observability, Accessibility, Manipulability	Explicitness, Priority
2 Safety, Velocity	Safety	-
3 Affordance, Functionality	Activity	Appropriateness, Reconfiguration
4 Integration, Sustainability	-	Integration, Simplicity

4단계는 기능적, 물리적으로 모든 시스템과 환경이 통합된 단계이다. 이 단계에서는 통합성(integration)이 확보되므로 클라우드 센터 혹은 브레인 센터 등 중앙 통제 시스템이 건축물 내 모든 로봇과 환경을 실시간으로 통제할 수 있다. 따라서 건물 내 모든 공간이 네트워크에 상호 연결되어 있으며, 모든 인간과 로봇이 빠른 속도로 정보를 처리할 수 있어야 한다. 또한 지속가능성(sustainability)을 위하여 모든 로봇은 빠른 속도의 기술 진보에 따른 확장성을 갖춰야 하며, 건축물 역시 새로운 로봇 기술의 실증 연구 현장인 테스트베드(testbed)로 활용될 수 있어야 한다. 건축 공간에 구조적 융통성을 부여함으로써 물리적 장벽 역시 낮추어 기능적으로도 지속가능한 건축물의 특징을 갖추어야 한다.

이상 논의한 로봇 친화형 건축물의 개념적 정의 및 4단계 특징에 기반하여 지능형 건축물(intelligent building)과 구별되는 로봇 친화형 건축물의 주요한 특징은 설계의 통일성, 로봇과 환경의 유기적 기능성, 대용량 네트워크, 네트워크 구성의 통합성, 기술 발전에 대응하는 지속가능성 등으로 요약할 수 있다.

4.2. 로봇 친화형 건축물 관련 쟁점 도출

저자들은 초점집단면접의 결과를 분석하여 로봇 친화형 건축 요건과 관련한 쟁점을 적용 범위, 평가 대상, 인증 기준, 그리고 실효성 등 크게 네 가지로 요약하였다.

4.2.1. 적용 범위

본 연구는 공동 점유 업무용 건축물에서 이동형 로봇과 정지형 로봇을 모두 활용하는 상황을 가정하였다. 초기 단계에서 도시공학, 건축공학 전문가는 범용성을 위하여 구체적인 분류보다는 모든 시설물에 공통적으로 적용할 수 있는 요건을 마련할 것을 주문하였으나, 민간기업 관계자들은 탐색적 성격을 고려하여 우선적으로 업무용 건축물을 특정한 연구가 필요하다고 주장하였다. 이에 저자들은 점유의 주체를 나누고 다양한 이용자가 사용한다고 가정함으로써 범용성을 부분적으로 고려하였다.

4.2.2. 평가 대상

평가 대상은 로봇 친화형 건축물을 정의하는 초기 단계에서부터 마무리 단계까지 지속하여 이점이 있던 참여한 쟁점이었다. 이는 로봇 친화형 건축 요건에서 건축물 자체의 특성을 제외하고 로봇의 성능 및 수준, 로봇을 제어하는 시스템의 성능 및 수준, 그리고 이를 전체적으로 관장하고 지속하여 발전시킬 조직의 여부에 대하여 평가하는 것이 타당하기에 대한 논의였다. 지능형 건축물 인증 제도, 제로 에너지 빌딩 인증 제도 등 다른 인증 제도에서는 데이터의 조회 및 수집, 관리 시스템 및 매뉴얼 등을 건축물을 지속가능하게 하는 주요 요소로 인정하여 함께 평가하고 있다. 그러나 로봇 친화형 건축 요건에서 이를 적용한다면 활용하는 로봇에 따라 다양한 전문인력과 시스템이 필요하게 되므로, 이를 모두 갖춘 관리 시스템 및 인력을 운영하는 것은 일부 IT 대기업에서만 가능하다는 결론에 이

르렀다. 따라서 관리 시스템, 운영 인력 등 건축물의 물리적 특성 이외의 사항은 로봇 친화형 건축물의 필수적 요건이 아닌 선택적 요건으로 설정하기로 하였다.

4.2.3. 인증 기준

인증 기준에 관한 주요 쟁점은 평가 대상에서의 쟁점과 유사하였다. 우선 전반적으로 건축물의 물리적 특성에 대한 평가가 핵심이라는 합의에는 이르렀으나, 개별 요건의 평가 기준에서 일부 그렇지 못한 평가 기준이 도출되는 등의 문제가 발생하여 이와 관련한 논의가 있었다. 한편 로봇 친화형 건축물 인증 지표의 기준이 이미 시행 중인 지능형 건축물 인증 제도와의 차별성을 가져야 한다는 점도 논의되었다. 그 결과, 가능한 기존 인증 제도의 평가 범위에 대하여서는 중복하여 평가하지 않기로 하였다. 또한 전체 항목이 감소하는 한이 있더라도 로봇이 건축 환경 내에서 인간과 함께 다양한 업무를 효율적으로 수행할 수 있는가를 중점적으로 평가하기로 하였다.

4.2.4. 실효성

실효성은 근본적인 쟁점이다. 일부 전문가들은 로봇 친화형 건축물이라는 개념이 아직 정립되지 않았고, 이에 관한 사례 역시 존재하지 않는다고 주장하였다. 따라서 저자들은 인증 제도를 시행한다고 하였을 때 얼마나 많은 수요가 있을지에 대하여 다각적인 논의를 진행하였다. 그 결과, 우선 신축(新築)이면서 로봇, 건축 전문가가 설계 단계에서부터 함께 참여할 수 있는 대형 건축물에 적용하는 것을 목표로 하였다. 이후 로봇 친화형 건축물에 대한 논의가 활발해지고 인증 제도를 통하여 제공할 수 있는 인센티브(incentive)가 확보되면 구축 혹은 증개축 건물에도 적용할 수 있을 것이다.

이 외에도 인증 절차가 과도하게 까다로우면 로봇 친화형 건축물을 만드는 것 자체가 어려우므로, 인증 제도 운영 초기 단계에서 다양한 건축물에 요건을 적

Table 4. Requisites of Robot-Friendly Building

Category	Requisites
Appropriateness of operating facilities and systems	Facility Support for robot activity
	Facility Support for robot mobility
	Operational plan for robot utilization
	Facilities for scalability
Appropriateness of architectural and robot operating systems and networks	Robot's architectural environment control function and interface
	Network system for controlling the robot's architectural environment
	Robot safety system

용해보며 평가 기준을 수정하고 구체화하는 작업이 필요하다는 논의도 있었다.

4.3. 로봇 친화형 건축 요건 명세화

초점집단면접을 통하여 저자들이 설정한 로봇 친화형 건축물의 요건은 Table 4와 같다. 본 연구에서는 로봇 친화형 건축 요건의 범주를 크게 운영 설비 및 체계의 적절성과 건축·로봇 운영 시스템 및 네트워크의 적절성으로 구분하였다. 운영 설비 및 체계의 적절성에서는 로봇 활동 지원시설, 로봇 통행 지원시설, 로봇 활용 운영 계획, 확장성을 위한 설비 등에 대하여 평가하고, 건축·로봇 운영 시스템 및 네트워크의 적절성에서는 로봇의 건축 환경 제어기능과 인터페이스, 로봇의 건축 환경 제어를 위한 네트워크 시스템, 로봇 안전 시스템 등을 평가한다. 이들 7개의 요건은 다시 세부적인 특성에 따라 23개의 평가 항목으로 세분화하였다.

4.3.1. 운영 설비 및 체계의 적절성

1) 로봇 활동 지원시설

로봇 활동 지원시설에서는 건축 환경 내 로봇 이동

을 위한 인식 범위, 로봇 추락 및 충돌 방지를 위한 건축 환경 내 간격 확보와 난간 설치, 로봇 동선 내 성능 방해 요소 차단, 로봇 서비스 제공을 위한 로봇의 일시적 점유공간 확보 정도를 평가한다. 구체적으로 건축 환경 내 로봇 이동을 위한 인식 범위에서는 건축물 내 위치 인식 가능 범위로 건축물 환경 내 로봇이 활동하는 공간 범위를 평가한다. 이때 공간 범위란 로봇 통행 경로 내에서 로봇이 자기 위치를 인식할 수 있는 범위를 의미한다. 로봇 추락 및 충돌 방지를 위한 건축 환경 내 간격 확보와 난간 설치에서는 건축 환경 내 로봇 이동 공간에 한정하여 로봇의 충돌을 예방할 수 있는 적정 이격의 확보와 난간 설치에 대하여 평가한다. 이때 이격 간격과 난간 설치 등에 대한 요소를 필수와 선택으로 구분하여 평가한다. 로봇 동선 내 성능 방해 요소 차단에서는 건축 환경 내 로봇 동선 전체를 대상으로 성능 방해 요소를 차단할 수 있는 방법에 대하여 평가한다. 이때 성능 방해 요소를 차단할 수 있는 대안의 구축 여부가 기준이다. 로봇 서비스 제공을 위한 로봇의 일시적 점유공간 확보는 건축 환경 내 모든 공간에 대하여 점유공간의 확보 여부와 점유 가능한 로봇의 대수를 평가한다. 이때 점유공간을 표시하는 필수 항목과 점유공간 확보 수준으로 평가한다.

2) 로봇 통행 지원시설

로봇 통행 지원시설에서는 로봇이 이동 가능한 통로의 기울기, 로봇의 능동적인 통과가 가능한 출입문, 로봇 이동이 용이한 바닥 마감, 로봇 이동 위험지역에 대한 안내, 건축 환경 진출입 로봇의 통행 편리성 확보에 대하여 평가한다. 구체적으로 로봇이 이동 가능한 통로의 기울기에서는 이동 통로의 바닥면 기울기에 대하여 기울기의 평가등급에 해당하는 평가 항목의 점수로 평가한다. 이때 이동 통로의 바닥면 기울기를 휠체어 이용자 기준에 맞추어 평가한다. 이는 현재 로봇 이동성의 수준이 휠체어 이용자의 이동성의 수준과 유사하다는 전문가 집단의 의견을 반영한 것이다.

구체적으로 로봇의 능동적인 통과가 가능한 출입문에서는 출입문의 센서 그리고 출입문 단차, 유효폭, 전후면 유효거리를 고려하였을 때 로봇이 출입문을 능동적으로 통과할 수 있는지 평가한다. 이때 센서 및 출입문의 단차, 유효폭, 전후면 유효거리 등은 무장벽 인증 기준에 준하여 평가한다. 로봇 이동이 용이한 바닥 마감에서는 건축물 내 로봇이 이동하기에 적합한 바닥으로 마감되어 있는지를 평가한다. 로봇 이동 위험지역에 대한 안내에서는 로봇 이동 위험지역의 안내 표지 및 신호에 대하여, 로봇 이동 위험지역에 안내 표지 및 경고 신호가 설치 및 운영되고 있는지를 평가한다. 건축 환경 진출입 로봇의 통행 편리성 확보에서는 건축 환경 진출입 로봇이 접근 가능한 공간 중 주차장을 비롯한 플랫폼 및 통행 램프를 평가 범위로 설정하여 주차장 및 주차 관제 시스템 그리고 자율주행 로봇의 통행 지원 수준에 대하여 평가한다. 이때 시스템 및 정밀 지도, 관제 시스템 등의 구축 요소를 고려하여 평가한다.

3) 로봇 활용 운영 계획

로봇 활용 운영 계획에서는 로봇 친화형 건축물 운영 관리 조직 및 계획, 건축물 내 로봇이 이동 가능한 전체 면적에 대하여 평가한다. 구체적으로 로봇 친화형 건축물 운영 관리 조직 및 계획에서는 건축 환경 관리 조직에 대하여 그 조직 및 구성원의 질적 수준에 대하여 평가하며, 이때 기준은 법적 선임자 수가 된다. 건축물 내 로봇이 이동 가능한 전체 면적은 건축 환경 전체를 대상으로 건축 연면적 중 로봇이 접근 가능한 수평 및 수직 면적을 산출하여 평가한다.

4) 확장성을 위한 설비

확장성을 위한 설비에서는 인간과 로봇의 교차통행을 고려한 이동 통로의 유효폭, IoT 및 센서 활용을 대비한 설비 시스템 구축, 건축 설비 및 환경 변경을 위한 사전 설비 및 계획을 평가한다. 구체적으로 인간과

로봇의 교차통행을 고려한 이동 통로 유효폭에서는 건물 전체 이동 통로 중 폭이 가장 좁은 부분의 유효폭을 측정한다. IoT 및 센서 활용을 대비한 설비 시스템 구축에서는 로봇이 통행 가능한 전체 공간을 범위로 여러 종류의 IoT 및 센서 설치를 위한 레이 및 유틸 공간 구비 여부를 평가한다. 건축 설비 및 환경 변경을 위한 사전 설비 및 계획에서는 설비 및 환경 변경이 가능한 건축물 내부를 범위로 건축물의 공간 배치 및 환경 변경의 용이성에 대하여 평가한다.

4.3.2. 건축·로봇 운영 시스템 및 네트워크의 적절성

1) 로봇의 건축 환경 제어 기능과 인터페이스

로봇의 건축 환경 제어 기능과 인터페이스에서는 로봇 충돌 방지를 위한 사각지대 탐지 기기 및 센서 설치, 로봇과 상호작용이 가능한 엘리베이터 시스템 구축에 대하여 평가한다. 구체적으로 로봇 충돌 방지를 위한 사각지대 탐지 기기 및 센서 설치에서는 로봇 친화형 건축물 내부 모든 이동형 로봇 및 건축 환경을 대상으로 건축 환경과 로봇의 탐지기기 및 센서 설치 여부를 평가한다. 이때 로봇 또는 건축 환경 양쪽 모두에 탐지 기기와 센서가 설치되었는지를 살펴본다. 로봇과 상호작용이 가능한 엘리베이터 시스템 구축에서는 건축 환경 내 존재하는 엘리베이터를 대상으로 엘리베이터 시스템이 로봇과 상호작용이 가능한지를 평가한다. 단, 규격과 이용 목적상 로봇의 탑승이 불가능한 경우는 제외한다.

2) 로봇의 건축 환경 제어를 위한 네트워크 시스템

로봇의 건축 환경 제어를 위한 네트워크 시스템에서는 로봇 통행 공간 내 무선통신 적용 및 연결의 지속성, 시설물 관리 차원의 로봇-환경 폐쇄망 구축, 실시간 대용량 정보 공유를 위한 초고속 통신망 설치에 대하여 평가한다. 구체적으로 로봇 통행 공간 내 무선통신 적용 및 연결의 지속성에서는 건축 환경 내 로봇이

접근할 수 있는 모든 공간 대비 무선통신 적용 공간의 범위로 연결 지속성을 평가한다. 이때 무선통신은 최신 통신망인 5G, Wi-Fi 6와 무선 AP(access point)의 적용 여부를 기준으로 한다. 시설물 관리 차원의 로봇-환경 폐쇄망 구축에서는 건축 환경 내 시설물을 관리하고 로봇과 상호작용이 가능한 폐쇄망에 대하여 구축 여부와 함께 보안 관련 설비 설치 여부를 기준으로 평가한다. 실시간 대용량 정보 공유를 위한 초고속 통신망 설치에서는 건축 환경 전체에 도달하는 통신망의 속도 또는 용량에 대하여 평가한다. 이는 초고속 정보통신 건물 인증 제도의 예비인증서 또는 이에 준하는 성능을 확인할 수 있는 도서로 평가할 수 있다.

3) 로봇 안전 시스템

로봇 안전 시스템에서는 공간 분리를 위한 출입 보안 시스템 구축, 건축 환경 내 각종 센서와 IoT로 인한 사생활 침해 및 추적 방지, 폐쇄망 보안 시스템 구축, 비상시 로봇의 건축 환경 통제 시스템 구축에 대하여 평가한다. 구체적으로 공간 분리를 위한 출입 보안 시스템 구축에서는 건물 내 출입 통제 장소의 개소와 단계를 파악하고 이를 기준으로 평가한다. 다만 이는 건축 환경을 사용하는 이용자에 따라 달라야 한다. 건축 환경 내 각종 센서와 IoT로 인한 사생활 침해 및 추적 방지에서는 로봇 및 건축 환경 내 모든 시스템과 네트워크 그리고 업무 매뉴얼에 대하여 한국인터넷진흥원의 IoT 취약점 점검 매뉴얼을 바탕으로 센서 설치 및 관련 교육 시스템 구축에 대하여 평가한다. 폐쇄망 보안 시스템 구축에서는 건축 환경 내 모든 네트워크에 대하여 그 보안 시스템을 평가하는데, 유무선 네트워크 및 폐쇄망 관련 장비의 네트워크 관리 시스템 구성도와 명세서를 기준으로 평가할 수 있다. 비상시 로봇의 건축 환경 통제 시스템 구축에서는 비상 시스템 및 로봇 대기 장소, 매뉴얼 등을 평가한다.

4.4. 로봇 친화형 건축물 인증 지표의 상대적 중요도 산출 및 배점 부여

앞서 마련한 로봇 친화형 건축 요건에 대하여 14인의 전문가를 대상으로 설문 조사를 수행하고 이를 분석하였다. 먼저 분석적 계층화 과정 결과의 신뢰성에 관한 지수인 일관성 지수(consistency index)는 Table 5에서 확인할 수 있다. 대부분 응답자의 일관성 지수는 0.1 이하인 것으로 나타나 통상적으로 인정되는 수준에서 설문 조사의 결과를 신뢰할 수 있을 것으로 판단되었다.

로봇 친화형 건축 요건에 대한 가중치 배점을 도출한 결과, 총합이 1.00인 각 지표별 배점은 로봇 활동 지원시설(0.18), 로봇 통행 지원시설(0.18), 로봇 활용 운영 계획(0.10), 확장성을 위한 설비(0.10), 로봇의 건축 환경 제어 기능과 인터페이스(0.17), 로봇의 건축 환경 제어를 위한 네트워크 시스템(0.14), 로봇 안전 시스템(0.13) 등으로 나타났다. 앞서 언급하였듯, 이러한 결과는 방법론상 한계로 인하여 세부 평가 지표가 아닌 요건을 쌍대비교한 결과이다. 따라서 초점집단면접을 통해 도출한 평가 항목의 필수 여부에 따라 각각 2:1의 비율로 배점을 재배분하였다. 그 결과 로봇 친화형 건축물 인증 지표에 관한 개별적인 평가 항목의 배점은 Table 6과 같이 나타났다.

분석적 계층화 과정을 통하여 로봇 친화형 건축물 인증 지표의 상대적 중요도를 산출한 결과, 배점은 평균 4.4로 나타났다. 이 중 가장 중요한 상위 3개 항목은 로봇과 상호작용이 가능한 엘리베이터 시스템 구축(11.3), 건물 내 로봇이 이동 가능한 전체 면적(7.7), 로봇 충돌 방지를 위한 사각지대 탐지기 및 센서 설치(5.7) 등이었고, 가장 중요하지 않은 하위 3개 항목은 건축 환경 진출입 로봇의 통행 편리성 확보(2.0), IoT 및 센서 활용을 대비한 설비 시스템 구축(2.0), 공간 분리를 위한 출입 보안 시스템 구축(2.6) 등으로 나타났다.

Table 5. Consistency Index and Consistency Ratio of Participants of Analytic Hierarchy Process Survey

ID	Consistency Index	Consistency Ratio
1	0.06*	0.10
2	0.09*	0.15
3	0.16	0.27
4	0.30	0.49
5	0.04*	0.06
6	0.18	0.30
7	0.04*	0.06
8	0.05*	0.09
9	0.16	0.26
10	0.06*	0.10
11	0.05*	0.08
12	0.01*	0.02
13	0.10*	0.17
14	0.03*	0.05

* < .1

5. 요약 및 시사점

본 연구는 AI와 로봇 기술의 발달로 말미암아 건축 환경 내외부에서 로봇이 인간과 공존하며 다양한 업무를 수행한다는 가까운 미래의 시나리오를 가정하여, 향후 등장할 로봇 친화형 건축물을 객관적으로 인증할 수 있는 지표를 개발하고자 수행되었다. 저자들은 본 연구가 세계 최초의 로봇 친화형 건축물 인증 지표를 개발하는 것이라는 점을 감안하여 로봇과의 협업 가능성 및 실용성 측면을 고려하여 인증 지표의 적용이 시급한 업무용 건축물을 대상으로 탐색적인 연구를 수행하였다.

저자들은 우선 로봇 친화형 환경, 로봇 포용적 환경, 인간-로봇 협업 환경 관련 사례를 검토하여 로봇 친화형 건축물과 관련한 시사점을 도출하였다. 이를 토대로 저자들은 로봇 친화형 건축물을 '내외부에서 이

Table 6. Scoring Table of Requisites and Evaluation Items for the Certifying Robot-Friendliness of Building

Category	Requisites	Evaluation Items	Required	Marks
Appropriate ness of operating facilities and systems	Facility Support for robot activity	The range of location recognition for robot mobility in an architectural environment	○	6
		Maintaining gaps and installing handrails in an architectural environment to prevent robot falls and collisions	Optional	3
		Blocking the factors that interfere with robot traffic	○	6
		Securing temporary space to support robot service	Optional	3
	Facility Support for robot mobility	Slope of the robot-accessible passageway	○	4
		Passage entrance for robot	○	4
		Floor finish for robot mobility	○	4
		Guidance for hazardous areas of robot mobility	○	4
		Securing convenience for mobile robots in an architectural environment	Optional	2
	Operational plan for robot utilization	Organization and initiative of robot-friendly building	Optional	3.3
		Total area of robot mobility	○	7.7
	Facilities for scalability	Effective width of travel path considering cross-traffic between humans and robots	○	4
		Establishing additional facilities for utilizing IoT and sensor	Optional	2
		Pre-planning and facility for construction of the facility	○	4
Appropriate ness of architectural and robot operating systems and networks	Robot's architectural environment control function and interface	Installing blind spot detectors and sensors to prevent robot collisions	Optional	5.7
		Establishing an elevator system for interacting with robots	○	11.3
	Network system for controlling the robot's architectural environment	Continuity of wireless communication application and connection in robot mobility space	○	5.6
		Establishing a closed robot environment network for facility management	Optional	2.8
		High-speed network installation for sharing real-time bulk information	○	5.6
	Robot safety system	Establishing an access security system for space separation	Optional	2.6
		Preventing infringement and tracking of personal privacy in the architectural environment	○	5.2
		Built a closed-network security system	Optional	2.6
Built an environmental control system for robots in an emergency		○	2.6	
Total				100.0

용할 로봇의 기술 수준을 지원하는 인프라를 갖추고, 일정한 규칙에 따라 모든 로봇의 임무를 관장하여 업무 환경을 쾌적하고 안전하게 관리하며, 인간과 상호 작용하며 이들의 활동을 지원하는 중앙 통제 시스템을 갖춘 건축물로 정의하였다. 또한 로봇 친화형 건축물의 단계는 특징에 따라 1단계(통일성, 대용량), 2단계(안전성, 속도), 3단계(행동유도성, 기능성), 4단계(통합성, 지속가능성) 등으로 구분하였다. 그 다음 초점집단면접으로 로봇 친화형 건축들의 요건을 설정하였다. 구체적으로 운영 설비 및 체계의 적절성에서는 로봇 활동 지원시설, 로봇 통행 지원시설, 로봇 활용 운영 계획, 확장성을 위한 설비 등에 대하여 평가하고, 건축·로봇 운영 시스템 및 네트워크의 적절성에서는 로봇의 건축 환경 제어기능과 인터페이스, 로봇의 건축 환경 제어를 위한 네트워크 시스템, 로봇 안전 시스템 등을 평가한다. 이들 7개의 요건은 다시 세부적인 특성에 따라 23개의 평가 항목으로 세분화하였다. 분석적 계층화 과정을 통하여 이들 로봇 친화형 건축물 인증 지표, 세부 항목의 상대적 중요도를 산출한 결과, 배점은 평균 4.4, 그리고 최소 2.0, 최대 11.3의 범위로 계산되었다.

본 연구의 결과를 바탕으로 우리나라에서 세계 최초의 로봇 친화형 건축물 인증 제도가 수립, 운영된다면 로봇 친화형 건축물의 건설이 활발해질 것이다. 이는 기업 입장에서 건축 환경 내 에너지 절감을 통한 ESG(environmental, social and governance) 경영 실천과 연결될 수 있다. 국가 차원에서는 로봇 연계 건축 산업 육성에 따른 경제 활성화, 일자리 창출 효과, 나아가 관련 산업의 글로벌 경쟁력 제고와 이니셔티브(initiative) 선점 등의 효과가 있을 것이다.

본 연구는 세계 최초의 로봇 친화형 인증 지표를 개발하는 데 근거 자료를 제공하였다는 의의가 있으나 한계점 역시 남는다. 무엇보다 본 연구는 업무용 건축물에 한정하여 지표를 개발하였다는 점에서 일반화된 적용의 가능성이 낮다. 따라서 향후 여러 유형의 시설

로 확대 적용할 수 있는 지표를 개발하는 등 통합된 기준을 새로이 마련할 필요가 있다. 한편 로봇의 규격에 대한 국제적 표준이 없고, 로봇 기술 및 기능 측면에서도 로봇을 제작하는 기업별로 상이한 점이 많아 평가 기준을 단일화하지 못하였다. 다만 로봇 기술의 비약적인 발전 속도로 미루어보아, 국제 규격의 표준화가 가까운 시일 내 수립될 것으로 예상되므로 후속 연구에서는 해당 규격을 기준으로 평가 기준과 항목을 더욱 구체적으로 설정할 수 있을 것이다.

- 주1. 스마트빌딩이란 사용 주체 그리고 제어 시스템, 시설물 등이 서로 호환 가능하도록 통합적으로 설계된 지능형 건축물을 의미함(Buckman et al. 2014)
- 주2. 본 논문을 작성하는 2022년 9월 현재, 네이버 제2사옥인 '1784'가 해당 프로젝트의 결과로 개발된 로봇 친화형 건축물 인증을 최초로 획득하였음
- 주3. 정지형 로봇은 키오스크, 제조 로봇 등 지정된 위치에 고정되어 이동하지 않고 통합제어 시스템 혹은 인간의 제어에 따라 주어진 임무를 수행하는 로봇을 의미함(단, 센서, CCTV, 에어컨, 공조시설 등 인프라 측면의 기기는 제외함)
- 주4. 이동형 로봇은 정지형 로봇과 상호작용하며 통합제어 시스템 혹은 인간의 제어에 따라 다양한 임무를 수행하는 로봇을 의미함
- 주5. 이들 중 4인은 조사 결과에 대한 신뢰도, 타당도를 평가하기 위한 목적으로, 대면 면접에 참여하지 않고 서면으로 조사에 응하였음

감사의 글

본 연구는 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성 사업으로 지원되었음. 교신저자 김갑성은 현재 스마트도시협회에서 부여하고 있는 로봇 친화형 건축물 인증 지표 개발 프로젝트에 연구책임자로 참여한 바 있음. 여기에 함께 참여한 서울대학교 기계항공공학부 이동준 교수, 한국과학기술원(KAIST) 건설및환경공학과 김아영 교수께 깊이 감사드립니다. 또한 초점집단면접, 분석적 계층화 과정의 설문에 참여한 전문가 그리고 두 차례에 걸친 자문회에서 고견을 들려주신 전문가들께도 사의를 표함.

참고문헌

References

- 과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원. 2020. 과학기술&ICT 정책·기술동향.
- Ministry of Science and ICT, Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning. 2020. *Science, ICT Policy and Technology Trends*.
- 김수진, 김정덕. 2017. 사이버 레질리언스 평가지표 개발에 관한 연구. *디지털융복합연구*. 15(8): 137-144.
- Kim, S., Kim, J. 2017. A Study on Developing Assessment Indicators for Cyber Resilience. *Journal of Digital Convergence*. 15(8): 137-144.
- 김승준, 최정민. 2019. 로봇 친화형 아파트 평면개발에 관한 연구. *한국주거학회 학술대회논문집*. 31(2): 431-434.
- Kim, S., Choi, J. 2019. A Study on the Development of Robot Friendly Apartment Unit Plan. *Proceedings of Autumn Annual Conference of Korean Housing Association (KHA)*. 31(2): 431-434.
- 박선희. 2014. 마을공동체 사업 성과 측정에 관한 탐색적 연구. *한국지역사회복지학*. 49: 285-306.
- Park, S. 2014. An Exploratory Study on the Measuring Outcomes of Community Participatory Projects. *Korea Association Of Community Welfare Studies*. 49: 285-306.
- 산업통상자원부, 한국산업기술평가관리원. 2017. 대한민국 로봇산업 기술로드맵.
- Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea Evaluation Institute of Industrial Technology. 2017. *Technology Roadmap of Korea*.
- 이인수, 정호현, 연성현. 2022. 기구축 공간정보를 활용한 건물객체 변화 탐지 연구: 도로명주소건물 DB 중심으로. *지적과 국토정보*. 52(1): 105-118.
- Lee, I., Jeong, H., Yeon, S. A Study on Building Object Change Detection Using Spatial Information: Building DB based on Road Name Address. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 52(1): 105-118.
- 이인숙, 한승연. 2010. U-러닝 연구학교 효과성 평가 지표 개발 연구. *교육정보미디어연구*. 16(2): 145-176.
- Lee, I., Han, S. 2010. Exploration of the Evaluation Indicators of U-Learning Initiatives. *Journal of Korean Association for Educational Information and Media*. 16(2): 145-176.
- 이재희, 이인수, 감지훈. 2021. 기구축 공간데이터를 활용한 3차원 건물모델의 위치정합 기법 연구: ICP 알고리즘 구현 중심으로. *지적과 국토정보*. 51(1): 67-77.
- Lee, J., Lee, I., Kang, J. A Study on Position Matching Technique for 3D Building Model Using Existing Spatial Data. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 51(1): 67-77.
- 조해준, 이재천, 곽성우. 2020. 자율주행자동차용 3D 라이다의 초기 장착 오차 보정. *한국지능시스템학회 논문지*. 30(6): 417-423.
- Jo, H., Lee, J., Kwak, S. 2020. Calibration of Initial Position Error of 3D LiDAR for Autonomous Vehicles. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*. 30(6): 417-423.
- 주은오, 김동연, 조병수, 김민수. 2021. 다양한 영상 데이터 수집을 위한 3차원 공간데이터 기반 자율주행 시뮬레이션 시스템 구현. *대한공간정보학회지*. 29(3): 3-12.
- Joo, E., Kim, D., Cho, B., Kim, M. 2021. Implementation of Autonomous Driving Simulation

- System Using 3D Spatial Data for Various Imagery Data Collection. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*. 29(3): 3-12.
- 주은오, 김민수. 2022. 객체 인식 모델 기반 실시간 교통 신호 정보 인식. *지적과 국토정보*. 52(1): 81-93.
- Joo, E., Kim, M. Real-Time Traffic Light Information Recognition Based on Object Detection Models. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 52(1): 81-93.
- 중소기업벤처부, 중소기업기술정보진흥원, NICE평가정보. 2018. 중소기업 기술로드맵 2018-2020. Ministry of SMEs and Startups, Korea Technology and Information Promotion Agency for SMEs, NICE Information Service. 2018. *2018-2020 Technology Roadmap for SMEs*.
- 한승희, 유상현. 2022. 건물3D모델링을 위한 드론과 스마트폰영상 조합의 3D메쉬 정확도 및 완성도 분석. *지적과 국토정보*. 52(1): 69-80.
- Han, S., Yoo, S. An Analysis of 3D Mesh Accuracy and Completeness of Combination of Drone and Smartphone Images for Building 3D Modeling. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 52(1): 69-80.
- 황종락, 안경재, 강연식. 2019. 3D 라이다 센서와 도로 환경 지도의 비교를 통한 자율주행 자동차 위치 인식 기법 검증. *제어로봇시스템학회 논문지*. 25(6): 557-564.
- Hwang, J., Ahn, K., Kang, Y. 2019. Validation of Localization Method for Autonomous Vehicles Using Road Feature Map and 3D LiDAR Sensor. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*. 5(6): 557-564.
- Alsamhi, S., Ma, O., Ansari, M. 2020. Convergence of Machine Learning and Robotics Communication in Collaborative Assembly: Mobility, Connectivity and Future Perspectives. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 98: 541-566.
- Beer, J., Fisk, A., Rogers, W. 2014. Toward a Framework for Levels of Robot Autonomy in Human-Robot Interaction. *Journal of Human-Robot Interaction*. 3(2): 74-99.
- Buckman, A., Mayfield, M., Beck, S. 2014. What is a Smart Building? *Smart and Sustainable Built Environment*. 3(2): 92-109.
- Bodhale, D., Afzulpurkar, N., Thanh, N. 2009. Path Planning for a Mobile Robot in a Dynamic Environment. *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. 2115-2120.
- Gaultney, L., Skibniewski, M., Salvendy, G. 1989. A Systematic Approach to Industrial Technology Transfer: A Conceptual Framework and a Proposed Methodology. *Journal of Information Technology*. 4: 7-16.
- Ivanov, S., Webster, C. 2017. Designing Robot-Friendly Hospitality Facilities. *Proceedings of the Scientific Conference "Tourism, Innovations, Strategies", Bourgas, Bulgaria*. 74-81.
- Kitzinger, J. 1994. The Methodology of Focus Groups: The Importance of Interaction Between Research Participants. *Sociology of Health & Illness*. 16(1): 103-121.
- Rozo, L., Silvério, J., Calinon, S., Caldwell, D. 2016. Learning Controllers for Reactive and Proactive Behaviors in Human-Robot Collaboration. *Frontiers in Robotics and AI*. 3: 30.
- Mohan, R., Rojas, N., Seah, S., Sosa, R. 2013. Design Principles for Robot Inclusive Spaces. *Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 1-6.

- dings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13), Seoul, Korea.* 4.
- Satty, T. 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology.* 15(3): 234-281.
- Loke, S. 2019. Robot-Friendly Cities[arXiv preprint]. arXiv:1019.10258.
- Tan, N., Mohan, R., Watanabe, A. 2016. Toward a Framework for Robot-Inclusive Environments. *Automation in Construction.* 69: 68-78.
- Zhang, J., Patel, V. 2006. Distributed Cognition, Representation, and Affordance. *Pragmatics & Cognition.* 14(2): 333-341.
-
- 2022년 10월 07일 원고접수(Received)
2022년 10월 17일 1차심사(1st Reviewed)
2022년 11월 22일 게재확정(Accepted)

초 록

4차 산업혁명의 진전으로 로봇과 인간의 상호작용에 대한 관심이 커지고 있다. 이에 건축물의 설비와 시스템에도 로봇이 적극적으로 도입되고 있다. 저자들은 로봇 친화형 건축물 인증 지표를 개발하고자 본 연구를 수행한다. 해당 지표는 세계 최초로 개발되는 것이므로 업무용 건축물로 대상을 한정하고, 초점집단면접(FGI), 분석적 계층화 과정(AHP) 등의 방법론을 활용하여 탐색적으로 연구를 수행한다. 먼저 초점집단면접을 통하여 로봇 친화형 건축물을 개념적으로 정의하고, 건축 요건을 운영 설비 및 체계의 적절성, 건축.로봇 운영 시스템 및 네트워크의 적절성으로 분류하였다. 그다음, 분석적 계층화 과정을 통하여 전체 23개의 평가 항목에 대한 상대적 중요도를 산출하였다. 배점은 평균 4.4 그리고 최소 2.0, 최대 11.3의 범위로 계산되었다. 본 연구는 과학적 방법론을 활용하여 세계 최초의 로봇 친화형 건축물 인증 지표를 개발하는 데 필요한 기초자료를 구축하였다는 데 의의가 있다.

주요어 : 로봇 친화형 건축물, 로봇 친화성, 인증 지표, 로봇-인간 상호작용, 초점집단면접(FGI), 분석적 계층화 과정(AHP)

부록 Appendices

Appendix 1. Participants of Focus Group Interview

Occupation / Organization Type	Division	The Number of participants
Professor / Academia	Department of urban engineering / environmental engineering	4
	Department of architecture engineering / civil engineering	2
	Department of mechanical engineering	1
	Department of artificial intelligence	1
	Subtotal	8
Office Worker / Industry	Research team	2
	Architecture team	2
	Robot team	4
	Subtotal	8
Total		16

Appendix 2. Participants of Analytic Hierarchy Process

Occupation / Organization Type	Division	The Number of participants
Professor / Academia	Department of urban engineering / environmental engineering	3
	Department of architecture engineering / civil engineering	3
	Department of mechanical engineering	2
	Department of electrical and electronic engineering	1
	Department of artificial intelligence	1
	Subtotal	10
Researcher / Institute	Korea Institute of Robotics and Technology Convergence	1
	Korea Institute for Robot Industry Advancement	2
	Subtotal	3
Office Worker / Industry	Robot team	1
	Subtotal	1
Total		14