

Space OS 관점의 주거 로봇 친화 건축 설계 원칙 제안

Proposal of Residential Robot-Friendly Architectural Design Principles from a Space OS Perspective

민동현*

홍익대학교 국제디자인대학원 스마트디자인엔지니어링전공

김수민

홍익대학교 금속조형디자인과

김예영

이화여자대학교 디자인학부, 조형예술학부 도자예술전공

이새연

국민대학교 건축학부 건축설계전공

정준수

홍익대학교 디자인컨버전스학부

박기철**

홍익대학교 기계시스템디자인공학과 조교수

Donghyun Min

Master, Dept. of SDE, IDAS, Hongik University

Soomin Kim

Dept. of Metal Art and Design, Hongik University

Yeyoung Kim

Dept. of Design, Ewha Women University

Saeyeon Lee

Dept. of Architecture, Kookmin University

Junsu Chung

Dept. of Design Convergence, Hongik University

Kicheol Pak

Professor, Dept. of MSDE, Hongik University

• Keywords: Robotized home, Space OS, Human-Robot Circulation, Calm Technology, Residential Design

1. 서론

1-1. 연구 배경

2000년대 초반 이후 가정용 서비스 로봇은 청소·배달·돌봄의 영역에서 점진적으로 확산되어 왔다(Forlizzi & DiSalvo, 2006). 그러나 이들 로봇은 대부분 인간을 위해 설계된 기존 주거 공간에 사후 도입되는 방식(retrofit)으로 정착되어 왔으며, 그 결과 로봇은 가구·문턱·계단·반려동물·예측 불가능한 거주자 행동과 같은 복합적인 환경적 제약 속에서 작동해야 했다. 이는 로봇을 전제하지 않은 주거 환경에 자동화 기기가 추가되면서 오히려 거주자에게 새로운 인지적·관리적 부담을 발생시키는 구조적 한계를 드러낸다. 즉, 가정용 로봇이 가사노동을 지원하는 기술로 도입되더라도, 이를 뒷받침할 공간적 조건이 부재할 경우 새로운 형태의 가사노동과 관리 부담을 유발할 수 있음을 시사한다(Schwartz Cowan, 1983).

반면 최근에는 로봇을 설계 단계부터 건축과 통합하려는 접근이 점차 확대되고 있으며, 주거·건축 차원의 로봇 통합 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 국내에서는 2022년 세계 최초로 로봇 친화형 건축물 인증 지표가 개발되었고(이관용 외, 2022), 이를 공동주택 단지로 확장하는 인증 모델이 제안된 바 있다(정민승 외, 2023). 더불어 한국건설기술연구원에서는 주거 공간에서 이동형 서비스 로봇의 자연스러운 작동을 지원하는 Human-Robot Interactive 건축 기술을 연구하며, 최소 통로 폭·바닥 마감·통합 네트워크 등 핵심 설계 기준을 제시하고 있다(양현정, 2025). 그러나 이러한 논의는 대체로 로봇 도입을 위한 물리적 환경 조건이나 기술 인프라 구축에 초점을 두고 있으며, 인지적 가사노동의 관점에서 가사노동 자동화의 한계를 분석하고 이를 주거 공간 OS(Space OS)의 설계 문제로 전환하려는 시도는 아직 제한적이다.

이에 본 연구는 주거를 개별 가전과 로봇이 산발적으로 배치된 공간이 아니라, 인간과 로봇의 동선·인지 부하·데이터 흐름이 조율되는 공간 OS(Space OS)로 파악하고, 로봇의 존재를 전제로 공간·서비스·데이터가 공진화하는 로보타이즈드

홈(robotized home)의 설계 원칙 도출을 목적으로 한다. 이를 위해 Daminger(2019)의 인지적 가사노동 담론, Sanders & McCormick(1993)의 산업 인간공학 동선 분리 원칙, Weiser & Brown(1996)의 Calm Technology 가시성 전략을 이론적 토대로 삼아 비주거 로봇-네이티브 사례를 비교 분석한다. 본 연구는 원칙 도출형 개념 연구로서, 도출된 설계 원칙의 사용자 시나리오 검증은 후속 연구 과제로 남긴다.

1-2. 연구 방법 및 절차

본 연구는 가사노동의 인지적 특성과 인간-기계 동선 분리, Calm Technology 가시성 논의를 통합한 이론적 틀을 바탕으로, 비주거 로봇-네이티브 사례 분석과 주거 환경 제약 조건 검토의 세 단계 절차를 통해 공간 OS(Space OS) 관점의 설계 원칙을 도출하였다.

[표 1] 공간 OS(Space OS) 관점 주거 로봇 친화 건축 설계 원칙 도출 절차

단계	내용	주요 참고 이론	산출물
1단계: 선행 연구 조사	가사노동의 인지적 특성, 산업 인간공학의 동선 분리, Calm Technology 가시성 논의를 검토하여 Space OS 관점의 개념적 틀을 설정	Daminger(2019), Sanders & McCormick(1993), Weiser & Brown(1996) 등	Space OS 관점의 이론적 프레임, 이중 가시성 개념 정의
2단계 비주거 로봇-네이티브 사례 분석	네이버 1784, 팍토리얼 성수, 플라이주 호텔, 딜로이트 디 엣지 등 비주거 공간 사례를 선택하여 이중 가시성 매트릭스를 적용해 비교 분석	로봇 네이티브 오피스/호텔/물류 등 4개 사례	인간-로봇 동선 분리, 수직 분리, 도킹 인터페이스 등 반복적으로 나타나는 패턴 도출
3단계: 주거 환경 제약 조건 검토	공동주택 구조, 사생활 보호, 거주자 동선, 통신·전력 인프라 등 주거 특유의 제약을 정리하고, 2단계에서 도출된 패턴을 주거 맥락에 맞게 재구성	국내 로봇 친화형 인증 지표, 주거 건축 기준 등	주거 로보타이즈이션에 적용 가능한 다섯 가지 Space OS 설계 원칙(외피 순환, 일방향 흐름, 수직 분리,

			표준화된 도킹 인터페이스, 이중 가시성)
--	--	--	------------------------

2. 이론적 배경

2-1. 가사노동의 인지적 재정의: 자동화 역설의 인지심리학적 근원

가사노동은 오랫동안 요리·청소·세탁과 같은 물리적 수행을 중심으로 이해되어 왔다. 그러나 Daminger(2019)는 American Sociological Review에 게재한 35쌍의 부부 심층면접 연구를 통해, 가사노동에 내재한 인지적 노동을 독립적인 차원으로 정식화하였다. Daminger가 제시한 인지적 노동의 4단계(예측, 확인, 결정, 감시)는 다음과 같다. 첫째, 예측은 다가올 필요나 문제를 사전에 인식하는 행위이며, 둘째, 확인은 예측된 필요를 충족하기 위한 선택지를 조사하고 파악하는 행위이다. 셋째, 결정은 확인된 선택지들 가운데 적절한 대안을 선택하는 과정이며, 넷째, 감시는 그 결정이 실제로 수행되는지를 감독하고 필요가 충분히 충족되었는지 점검하는 행위를 의미한다.

Daminger(2019) 통찰의 핵심은 이러한 인지적 노동이 일회적 판단이 아니라 상시적으로 지속되는 배경 작업(near-constant background job)이라는 점에 있다. 거주자의 행동 여부와 무관하게, 가정과 관련된 인지적 가사노동은 계속해서 발생한다. 이는 가사노동이 더 이상 눈에 보이는 물리적 수행에만 국한되지 않으며, 보이지 않는 계획, 조율, 점검의 부담까지 포함하는 복합적인 노동임을 보여준다.

최근 AI 기반 스마트홈 자동화 연구에서도 이러한 인지적 부담은 중요한 문제로 대두된다. 개인화의 정확도와 상호작용 방식은 사용자 경험을 결정하는 핵심 요인이며, 시스템의 예측 가능성이 높을수록 거주자의 인지 부담이 감소하는 경향이 확인된다. 이는 자동화 기술을 평가할 때는 물리적 노동을 줄였는지뿐 아니라, 사용자가 시스템을 얼마나 적은 인지적 부담으로 쉽게 이해하고 관리할 수 있는지도 함께 고려해야 함을 의미한다. 이러한 인지적 부하를 공간 차원에서 외부화하기 위해서는, 산업 환경에서 검증되어 온 인간-기계 동선 분리의 원칙을 주거로 이전하는 논의가 필요하다.

가사노동은 요리·청소·세탁 같은 개별 작업의 집합을 넘어, 집 전체의 질서를 유지하도록 조율하는 장기적인 운영 작업이라는 점에서 다른 노동과 구분된다. 수행자는 과제를 직접 수행하는 물리적 노동과 더불어, 무엇을 언제·어디서·어떤 순서로 할지 계속 판단·조정하는 인지적 노동을 동시에 수행하며, 이로 인해 가사노동은 눈에 잘 드러나지 않으면서도 일상 전반을 구속하는 배경 작업의 성격을 띤다.

이러한 가사노동의 특성은 Space OS 관점에서 지속성과 배경성, 불가시성과 파편화, 관계성과 정서성의 세 축으로 요약할 수 있다. 즉 가사노동은 집이 존재하는 한 반복·갱신되는 보이지 않는 운영 작업이며, 가족 간 역할 분담과 돌봄 책임, 공정성 인식과 밀접하게 얽혀 있다. 본 연구는 가사노동의 주거 로봇화를 개별 작업의 자동화가 아니라, 이와 같은 운영 작업이 발생·조정·감시되는 공간적 조건을 재설계하는 과정으로 전제하고, 동선 구조·접근성·가시성·데이터 흐름을

Space OS 관점에서 재구성하고자 한다.

2-2 산업 인간공학의 인간-기계 동선 분리 원칙

작업 환경 인간공학에서는 오래전부터 사람과 기계의 이동 경로를 분리하는 것이 안전과 효율을 높이는 중요한 원칙으로 여겨져 왔다. Sanders & McCormick(1993)은 작업 환경을 설계할 때 무엇을 어디에 배치할지를 판단하는 기준으로 중요도, 사용 빈도, 기능적 그룹화, 사용 순서의 네 가지를 제시한다. 또한 Salvendy(2012)의 Handbook of Human Factors and Ergonomics는 여기에 안전 통제 위계(Hierarchy of Controls)를 추가하여 제거→대체→공학적 통제(물리적 장벽)→행정적 통제→개인보호장비의 순서로 위험 완화의 효율성을 정렬한다. 이 위계에서 물리적 분리가 가장 효과적인 공학적 통제로 간주된다. 따라서 산업 인간공학에서 축적된 인간-기계 동선 분리 원칙은 주거 환경에서도 인간과 로봇의 공존을 위한 유효한 설계 논리로 재해석될 수 있다. 다만 주거 환경에서는 물리적 분리만으로는 충분하지 않으며, 로봇의 존재가 거주자의 주의 경계에서 어떻게 관리되어야 하는가에 대한 심리적 차원의 논의가 함께 요구된다.

2-3 Calm Technology와 가시성의 역설

Weiser & Brown(1996)은 Calm Technology 개념을 제시하며, 기술을 “사용자의 주의 속에서 전면과 배경을 유연하게 오가며 작동하는 상태”로 설명하였다. 여기서 주변부(periphery)란 사용자가 의식적으로 집중하지 않아도 자연스럽게 인지할 수 있는 영역을 의미하며, 필요할 때는 즉시 접근할 수 있으면서도 평상시에는 주의를 과도하게 이끌어나가지 않는 설계 전략의 핵심이 된다. 이러한 논의는 본 연구에서 제안하는 이중 가시성 원칙, 즉 로봇 인프라가 어떤 측면에서는 드러나야 하고 또 다른 측면에서는 배경으로 존재해야 한다는 원칙의 이론적 근거가 된다.

Norman(1998)은 The Invisible Computer에서 컴퓨터는 본래 조용하고 눈에 띄지 않는 인프라로 작동해야 하지만, 실제로는 지나치게 가시적이고 많은 요구를 발생시킨다고 지적한다. 이러한 관점은 가정용 로봇에도 적용될 수 있다. 가정용 로봇은 생활을 지원하기 위해 도입되지만, 실제로는 경고음, 알림, 오류 메시지, 경로 방해 등으로 끊임없이 존재를 드러내며 사용자의 개입을 요구한다. Case(2015)는 이러한 전통을 여덟 가지 원칙으로 정립하였으며, 그중 “주변부를 활용할 것”, “말하지 않고 소통할 것”, “사회적 규범을 존중할 것”의 세 원칙은 주거 로봇 인프라의 가시성 설계에 직접적인 지침을 제공한다. 따라서 Calm Technology는 주거 환경에서 로봇 등장 여부를 조율하는 설계 논리를 제공하며, 인간과 로봇이 공존하는 공간을 구상하는 데 중요한 이론적 기반이 된다.

2-4 이중 가시성과 Retrofit의 구조적 한계

본 연구는 이러한 이론적 기반을 바탕으로 이중 가시성이라는 개념을 제안한다. 이는 “동일한 로봇이 어떤 관점에서는 가시적이어야 하고, 다른 관점에서는 비가시적이어야 한다”는 설계 원칙으로, Weiser & Brown(1996)의 중심-주변부 역할

을 공간적인 관점에서 해석한 것이다. 구체적으로 로봇 인프라라는 첫째, 물리적으로는 벽·바다·천장 속에 통합되어 거주자의 시야에 보이지 않아야 하며, 둘째, 기능적으로는 필요시 즉시 접근 가능하고 상태를 확인할 수 있어야 한다. 셋째, 인지적으로는 거주자의 주의 경제에서 주변부에 머물며 지속적인 모니터링을 요구하지 않아야 한다.

[표 2] 이중 가시성의 세 축 정의

이중 가시성 축	정의	평가 기준
물리적 가시성	로봇 인프라가 벽·바다·천장 속에 통합되어 거주자의 일상적 시야를 얼마나 적게 점유하는지에 대한 정도	전용 경로/소프트유무, 로봇의 시야 노출 정도
기능적 접근성	필요시 즉시 접근·상태 확인이 가능한 정도	IoT 연동, 원격 모니터링, 패널/개폐구 유무
인지 부담	로봇 인프라가 거주자의 주의 경제에서 주변부에 머물러, 지속적인 모니터링이나 의식적 관리가 얼마나 많이 요구되는지에 대한 정도	능동적 모니터링 불필요 여부, 알림/경고 빈도, 동선 협상 필요 여부

이러한 이론적 틀을 바탕으로 HRI 분야의 가정용 로봇 연구를 분석하면, retrofit 접근의 한계는 3가지로 분석할 수 있다. 첫째, 인간과 로봇이 머무는 물리적 환경이 일치하지 않는다. 기존 주거는 로봇의 이동을 전제로 설계되지 않았기 때문에, 로봇은 가구, 문턱 등의 장애물을 마주하게 된다. 둘째, 인간과 로봇 간의 경로 충돌이 발생한다. 인간의 일상적인 이동 패턴과 로봇의 최적 경로는 일치하지 않으며, 그 결과 공간 안에서 충돌이 발생한다. 셋째, 인지적 부담이 발생한다. 앞선 두가지의 한계점은 결국 거주자의 관리 부담으로 연결되며, 로봇이 자동화한 가사노동과는 또 다른 인지적 가사노동, 즉 예측·확인·결정·감시의 부담을 다시금 생성하게 된다.

결국 이러한 한계는 공간이 로봇의 도입을 전제하지 않은 채 설계되었다는 원인에서 비롯된다. 이 점에서 retrofit 접근의 문제는 개별 로봇의 성능 부족이라기보다, 로봇과 주거의 관계를 전체적으로 고려하지 못한 공간 설계 방식 자체에 있다. 따라서 본 연구는 로봇 수준에서의 기술적 개선이 아니라 공간 OS(Space OS) 수준의 재설계를 요구하며, 이를 통해 가사노동 자동화의 역설을 반복해 온 기존 주거 모델을 공간 설계 차원에서 변화시키고자 한다.

3. 비주거 사례 비교 분석

3-1 사례 비교 분석

본 연구는 로봇이 도입된 건축물을 분석하기 위해 로봇친화 건축의 사례 4건을 선정하였다.

먼저 네이버 1784는 로보포트라는 로봇 전용 엘리베이터와 ARC 기반 제어 시스템을 통해 인간과 로봇의 수직·수평 동선을 물리적으로 분리한 사례로, 설계 단계에서부터 로봇의 이동과 운영을 건축에 통합한 모델을 보여준다. 현대 팩토리얼 성수는 자율주차 로봇과 배달 로봇을 상업 건물에 통합하면서도, 전용 엘리베이터 대신 공유 엘리베이터 내 지정 위치를 마련하는 방식을 택함으로써, 면적과 비용 제약 속에서 부분 분리가 현실적 대안이 될 수 있음을 보여준다. 알리바바 플라이주 호텔은 로봇과 투숙객이 동일한 복도를 공유하는 구

조를 취하고 있어, 인간과 로봇의 동선이 명확히 분리되지 않은 통합 방식을 보여준다. 이러한 사례는 단기 체류 공간에서는 수용될 수 있으나, 장기 거주가 이루어지는 주거 환경에 적용할 경우 가시성과 동선 조율의 측면에서 추가적인 검토가 필요함을 시사한다. 한편, 딜로이트 디 엡지는 대규모 IoT 센서를 통해 공간 사용 패턴을 실시간으로 파악하고 청소 로봇의 동선을 최적화함으로써, 로봇의 물리적 노출을 최소화하는 데이터 기반 통합 모델을 제시한다.

[표 3] 사례 비교 종합

구분	네이버 1784	팩토리얼 성수	플라이주 호텔	디 엡지
사진				
용도	업무시설	업무시설	관광숙박시설	업무시설
운영사	네이버	현대	알리바바	딜로이트
수직분리	전용로보포트	공유EV	공유EV(lot)	N/A
수평분리	색상코드	디스플레이	완전 공유	센서기반우회

3-2 이중 가시성 매트릭스 평가

[표 1]에서 정리한 이중 가시성 개념은 물리적 가시성, 기능적 접근성과 인지 부담으로 구성된다. 이 세 축을 기준으로 4개 사례를 비교하기 위해, 각 항목을 3점 척도로 단순화하여 분석하였다. 물리적 가시성과 기능적 접근성은 점수가 높을수록 양호함을 의미하며, 인지 부담은 점수가 높을수록 사용자에게 요구되는 부담이 큼을 의미한다.

[표 4] 비주거 사례의 이중 가시성 매트릭스 평가

	물리적 가시성	기능적 접근	인지 부담
네이버 1784	■■■	■■■	■■□
팩토리얼 성수	■■□	■■■	■■□
플라이주 호텔	■□□	■■□	■■■
디 엡지	■■□	■■■	■□□

[표 3]에 나타난 결과를 바탕으로 세 가지 시사점을 도출할 수 있다. 첫째, 물리적 가시성에서 사례 간 편차가 뚜렷하다. 네이버 1784는 전용 로보포트와 색상 코드 기반 동선 분리를 통해 로봇의 시각적 노출을 가장 효과적으로 억제하고 있으며(3점), 플라이주 호텔은 전용 복도 없이 로봇과 투숙객이 동일한 동선을 공유하여 로봇의 가시성이 가장 높다(1점). 한편 디 엡지는 28,000개 센서를 조명 인프라에 통합하여 설비 차원의 가시성 관리에는 성공했으나, 청소 로봇 자체는 전용 경로 없이 공유 공간을 이동하므로 부분적 수준(2점)에 머문다. 이는 설비 인프라의 가시성과 로봇 자체의 가시성이 별도로 관리되어야 함을 시사한다. 둘째, 기능적 접근은 플라이주 호텔(2점)을 제외한 세 사례에서 공통적으로 높은 수준(3점)에 수렴한다. 이는 IoT·클라우드 기반 관계 체계가 이미 보편화된 인프라 조건에 가까우며, 사례 간 차별성을 만드는 핵심 변수로 보기 어렵다는 점을 보여준다. 셋째, 인지 부담에서 사례 간 차이가 가장 뚜렷하게 나타난다. 플라이주 호텔은 인지 부담이 가장 높는데(3점), 이는 로봇과 투숙객이 동일한 복도를 공

유하면서 거주자가 로봇의 존재를 지속적으로 인지하고 동선을 조정해야 하기 때문이다. 반면 디 엣지는 인지 부담이 가장 낮으며(1점), 이는 사용자가 로봇 자체와 직접 마주하기보다는 센서·데이터 기반 서비스를 통해 간접적으로 상호작용하도록 설계되어 있기 때문으로 해석된다. 종합하면, 어떤 사례도 로봇의 가시성을 낮추면서 동시에 인지 부담까지 억제하는 데 성공하지 못했으며, 이는 비주거 환경의 설계 방식을 주거에 그대로 이전하기에는 구조적 한계가 존재함을 시사한다.

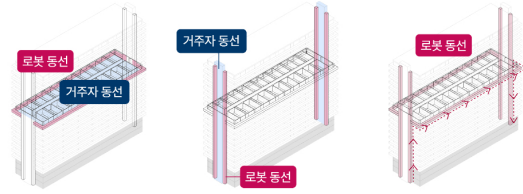
4. 주거 환경 제약 필터와 설계 원칙 도출

4-1 주거 환경 고유의 제약

비주거 사례에서 도출한 이중 가시성의 세 축을 주거 환경에 적용하기 위해서는, 가정이 갖는 특수한 맥락을 별도로 고려해야 한다. 첫째, 가정 내 활동은 일정한 패턴으로 반복되기보다는, 예상하기 어려운 변수들을 포함하는 경우가 많다. Daminger(2019)가 지적한 것처럼 가사 노동은 지속적인 확인과 판단을 요구하는 인지노동의 성격을 가지는데, 여기에 반려동물, 방문객, 낙하물 등 다양한 우발적 요소가 더해지면서 주거 환경에서 더욱 두드러진다. 이러한 낮은 예측 가능성은 로봇 동선이 거주자 동선과 충돌하지 않도록 보수적인 기준이 요구된다. 둘째, 주거 공간은 단순히 기능을 수행하는 장소라기보다, 생활의 분위기와 감정을 형성하는 환경에 가깝다. Schwartz Cowan(1983), Forlizzi & DiSalvo(2006) 논의에서 드러나듯, 가사 기술은 효율성뿐 아니라 생활하는 환경에도 영향을 준다. 따라서 로봇 인프라가 과도하게 눈에 띄거나 소음을 유발할 경우, 기능적 이점과 별개로 거주자의 정서적 안정에 영향을 줄 수 있다. 이 점에서 인지적 부담의 경감 기준이 비주거 환경보다 더 높은 수준으로 요구된다. 셋째, 주거는 호텔과 같은 단기 체류 공간과 달리 장시적 생활하는 환경인 만큼, Weiser & Brown(1996)이 말한 주변부의 부담이 장기적으로 누적되기 쉽기 때문에, 피로감으로 이어질 수 있다. 이는 이중 가시성의 설계 기준을 보다 엄격한 기준으로 설정해야 하는 이유로 해석할 수 있다.

4-2 공간 OS의 코어 규칙으로서의 다섯 가지 설계 원칙

본 연구는 주거를 개별 가전의 집합이 아닌 공간 OS(Space OS)로 파악한다. 이 관점에서 주거는 동선, 인터페이스, 데이터, 서비스가 통합된 운영체제적 구조이며, 로봇은 공간 OS(Space OS) 설계에 직접적인 제약을 주는 인프라 행위자다. 이하 제한하는 다섯 가지 설계 원칙은 이러한 공간 OS(Space OS)의 코어 규칙으로서, 이론적 기둥·비주거 사례 주거 제약 필터를 종합하여 도출되었다.



[그림 1] 거주자 동선 / 로봇 동선 표시 투상도

4-2-1 원칙 1. 외피 순환

로봇 동선을 주거 단위의 외벽 또는 공용 코어를 따라 배치하여, 거주 공간의 중심부가 아닌 주변부에 로봇이 머물게 한다. 이는 Sanders & McCormick(1993)의 기능적 그룹화 원칙과 Weiser & Brown(1996)의 주변부 개념이 건축적으로 수립하는 지점이며, 동시에 Daminger(2019)가 말한 인지적 가사노동의 감시 단계를 거주자의 시지각 영역 밖으로 외부화하는 효과를 가진다. 공간 OS의 관점에서 이 원칙은 커널 영역과 사용자 영역 분리에 해당한다.

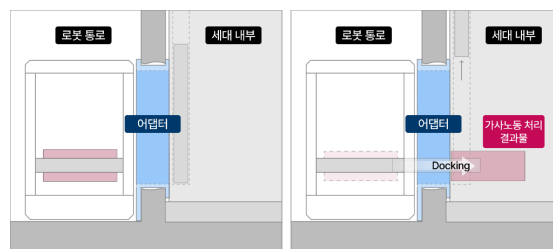
4-2-2 원칙 2. 일방향 흐름

로봇 동선을 왕복 구간 없이 일방향으로 설계한다. 양방향 교차는 ANSI B56.5-2024 표준에 명시한 충돌 위험의 주요 원인이며, 동시에 경로 길이의 낭비를 초래한다. 공간 OS(Space OS)의 관점에서 이 원칙은 교차 방지에 해당하며, 네이버 1784의 로보포트 연속 순환 방식이 원형이다.

4-2-3 수직 분리

층간 이동에서 인간 엘리베이터와 로봇 서틀을 분리한다. 주거의 경우 공용부 계획 단계에서 소형 로봇 전용 리프트 도입이나 공유 엘리베이터 내 시간 분할 알고리즘이 현실적 대안이 된다. 공간 OS(Space OS)의 관점에서 이 원칙은 프로세스 간 격리에 해당한다.

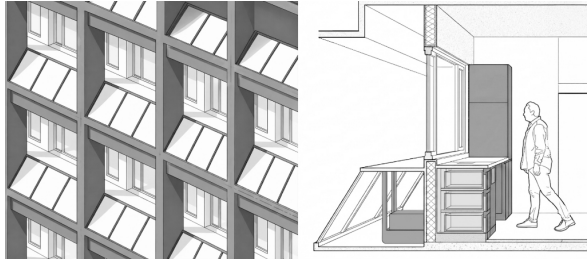
4-2-4 표준화된 도킹 인터페이스



[그림 2] 오차를 흡수하는 어댑터 레이어를 통한 도킹 인터페이스 단면도

콘크리트 벽의 센티미터 단위 오차와 로봇의 밀리미터 단위 정밀도 간 불일치를 흡수하는 어댑터 레이어를 설계 단계에서 표준화한다. 이는 건축의 시공 오차가 필연적이라는 전제를 수용하면서 로봇 운영의 정밀도를 보장하기 위한 중간 층위다. 공간 OS의 관점에서 이 원칙은 하드웨어 추상화 계층(HAL)에 해당하며, 문·엘리베이터·수납 시스템 등 로봇이 물리적으로 맞물리는 모든 지점에서 필요하다.

4-2-5. 이중 가시성



[그림 3] 로봇 통로 도입에 따른 건물 파사드 변화(좌), 로봇의 영역과 사용자의 영역이 분리된 건물의 단면도(우)

로봇과 그 인프라가 외부 공용부에서는 가시적이지만 주거 단위 내부에서는 침묵하도록 설계한다. 이는 Weiser & Brown(1996)의 중심-주변부 역학과 Norman(1998)의 가시성-비가시성 역설을 공간적으로 번역한 원칙이다. 구체적으로 (1) 물리적으로는 벽·바다·천장 속에 은폐하되, (2) 기능적으로는 필요 시 패널·개폐구를 통해 즉시 접근 가능하게 하며, (3) 인지적으로는 거주자의 주의 경계에서 주변부에 머물게 한다.

공간 OS(Space OS)의 관점에서 이 원칙은 사용자 인터페이스의 비침습적 설계(non-intrusive UI)에 해당하며, Leroy(2009)의 주의 잔여 발생을 구조적으로 차단하는 인지 부담 관리 전략이기도 하다.

4-3 설계 원칙 도출 절차 요약

본 연구에서 제안하는 다섯 가지 원칙은 선행 이론 조사, 사례 분석, 그리고 주거 환경 제약 조건을 검토하는 과정을 거쳐서 정리되었다. 이 과정은 일방향으로 진행되는 것이 아니라 앞선 단계의 결과를 뒤에서 다시 확인하고 필요하면 수정하는 식으로 반복적으로 다듬어졌다. 첫째, 선행 이론 조사 단계에서는 선행 문헌을 통해 원칙의 방향성을 설정하였다. Weiser & Brown(1996)이 제시한 컴퓨팅 개념은 기술 인프라가 사용자가 필요할 때만 나타나고 평소에는 주변에 머물러야 한다는 점을 시사한다. 또한 Sanders & McCormick(1993)의 기능적 그룹화 원칙 역시 동선과 인터페이스를 분리하는 설계 방식에 근거를 더한다. 여기에 Daminger(2019)의 인지적 가사노동 개념을 함께 고려하면서, 로봇 인프라의 위치나 작동 방식이 거주자의 인지 부담과 긴밀하게 연결된다는 점을 중심으로 볼 수 있다. 이 단계에서는 설계 원칙이 지향해야 할 개념적 틀을 설정하는 데 초점을 둔다. 둘째, 사례 분석 단계에서는 네이버 1784, 팩토리얼 성수, 플라이주 호텔, 델로이트 디 엠티의 네 비주거 사례를 비교하였다. 이중 가시성 매트릭스를 적용하여 분석한 결과, 서로 다른 조건에서도 공통적으로 나타나는 몇 가지 방식이 확인되었다. 인간과 로봇의 이동 경로를 물리적으로 나누거나, 층간 이동 체계를 분리하고, 로봇이 연결되는 지점을 일정하게 맞추며, 상황에 따라 노출 정도를 조절하는 방식이다. 이 단계에서는 설계 원칙이 실제 공간에서 어떻게 구현되고 있는지를 구체적으로 파악하는 단계에 해당한다. 셋째, 주거 환경 제약 조건 검토 단계에서는 앞서 두 단계에서 도출된 결과를 주거 환경에 적용할 수 있는지 검토하였다. 이 과정에서 주거 공간은 사용자의 행동이 일정하지 않고, 기능적인 효율만큼이나 정서적인 안정과 시각적인

만족이 중요하게 작용하며, 장시간 지속적으로 머무는 공간이라는 점에서 앞선 사례들과 차이가 있다. 그래서 사례에서 나온 방식을 그대로 가져오기보다는, 적용 가능한 부분만 남기고 나머지는 상황에 맞게 조정하는 방식으로 접근했다. 예를 들어, 네이버 1784의 전용 로보포트처럼 완전히 분리된 구조는 주거에서는 현실적으로 부담이 크기 때문에, 같은 원리를 유지하되 공유 엘리베이터 안에서 시간대를 나누는 방식처럼 보다 현실적인 형태로 바꾸어 적용했다.

이러한 과정을 통해 정리한 다섯 가지 원칙은 이론과 사례가 주거 환경 조건 속에서 다시 맞춰진 결과라고 볼 수 있다. 이론은 방향을 잡는데 기준이 되었고, 사례 분석은 이를 구체화하는데 도움을 주었으며, 주거 환경에 대한 검토는 실제 적용 가능성을 검증하는 역할을 한다.

이 다섯 원칙은 독립적이지 않으며, 상호 보완적 관계를 이룬다. 외피 순환은 수직 분리의 물리적 기반이 되고, 일방향 흐름은 도킹 인터페이스의 단순화를 가능케 하며, 이중 가시성은 나머지 네 원칙을 심리적 수용성의 차원에서 완성한다. 무엇보다 이 다섯 원칙이 함께 작동할 때, 가사노동의 인지적 부담은 더 이상 거주자가 깊어져야 할 상시적 배경 작업이 아닌 공간 OS가 흡수하는 환경적 기능으로 외부화된다.

5. 논의

5-1 로봇타이즈드 홈: 스마트홈을 넘어서

제안된 다섯 가지 설계 원칙은 로봇의 존재를 전제로 공간과 서비스 데이터가 함께 설계되는 로봇타이즈드 홈(robotized home)의 기초 규칙으로 해석될 수 있다. 이는 기존 스마트홈 연구가 주로 에너지 효율과 편의성에 초점을 두었던 것과 달리, 인지적 가사노동을 공간 OS(Space OS) 수준에서 완화하려는 시도라는 점에서 차별적이다. Kotsopoulos & Nawyn(2023)은 MIT의 주거 프로토타입들을 통해 주거 자동화의 가치를 “집이 거주자의 의도를 예측하고 반응하는 자율 시스템”이라고 상정했다. 본 연구는 그러한 자율 시스템이 작동하기 위한 공간적 전제 조건을 체계화하는 작업이라 할 수 있다.

5-2 선행연구와의 관계 정리

기존 Human-Robot Interactive 건축 연구와 로봇 친화형 주거 공간 연구가 로봇 도입을 위한 필수 공간 요소와 환경 조건(복도 폭, 바닥 재질, 네트워크 인프라 등)을 제시해 왔다. 본 연구는 이를 넘어 인간과 로봇의 동선, 인지 부담, 가시성 전략을 통합하는 공간 OS 관점의 설계 원칙을 제안한다. 특히, 본 연구는 선행 HRI 연구가 보고해 온 충돌·소음·심리적 침입 문제를, Daminger(2019)의 인지적 가사노동과 Dean 외(2022)의 멘탈 로드 논의를 통해 주거 환경과 retrofit 접근의 구조적 한계로 재구성한다는 점에서 문제를 바라보는 방식을 기존 연구에서의 방식보다 이론적으로 심화시킨다.

5-3 공간 OS 프레임의 함의와 한계

공간 OS라는 비유는 다섯 원칙 간의 관계를 설명하는 데 유용하지만, 동시에 한계도 지닌다. 컴퓨터 OS와 달리 주거 공간의 운영은 거주자의 자유의지·감정·문화적 습관이 핵심 변

수이며, 이는 소프트웨어적 예측 가능성을 근본적으로 제한한다. 따라서 공간 OS(Space OS) 프레임은 설계 의사결정을 구조화하는 휴리스틱으로 이해되어야 하며, 결정론적 시스템 설계로 오해되어서는 안 된다. 후속 연구에서는 이 프레임의 적용 범위와 한계를 실증적으로 검증할 필요가 있다.

6. 결론

6-1 연구의 요약과 기여

본 연구는 가정용 서비스 로봇의 retrofit 접근이, 전기·가전 기술의 보급에도 가사노동 시간이 기대만큼 감소하지 않았음을 지적한 Schwartz Cowan(1983), Bittman 외(2004)의 논의를 연장하며, 거주자의 인지적 가사노동의 부담을 오히려 누적시킬 위험이 있다는 문제의식에서 출발하였다. 이를 극복하기 위해, 주거를 공간 OS(Space OS)로 설정, 파악하고 로보타이즈드 홈의 핵심 설계 원칙 다섯 가지를 도출하였다. 가사노동의 인지적 차원, 산업 인간공학과 Calm Technology의 이론적 기등을 결합하고, 4개 비주거 사례를 비교 분석한 후, 주거 환경이 가지는 고유적 제약을 필터로 적용하여 외피 순환, 일 방향 흐름, 수직 분리, 표준화된 도킹 인터페이스와 이중 가시성의 다섯 가지 원칙을 제안하였다.

본 연구의 학술적 기여는 세 가지다. 첫째, 이론적 기여로서, Daminger(2019)의 인지적 가사노동 4단계 모형과 Leroy(2009)의 주의 잔여 개념을 건축 디자인 담론에 본격적으로 도입함으로써, 가사노동 자동화를 공간 OS(Space OS) 수준의 외부화 문제로 재구성할 수 있는 분석 틀을 제시했다. 둘째, 개념적 기여로서, 산업 인간공학의 동선 분리 원칙과 Calm Technology의 가시성 담론을 결합하여 이중 가시성 개념을 정립하고, 로봇의 가시성을 이분법이 아닌 조절 가능한 설계 변수로 정식화했다. 셋째, 실천적 기여로서, REEC 제도(이관용 외, 2022; 정민승 외, 2023)가 지표 수준에 머물러 있던 한계를 넘어 설계 원칙 수준으로의 번역을 시도함으로써, 신축 주거 설계의 초기 단계에서 활용 가능한 가이드라인의 기반을 제공했다.

6-2 연구의 한계와 후속 연구

본 연구는 원칙 도출형 개념 연구로서 다음의 명시적 한계를 지닌다. 첫째, 사용자 검증의 부재. 도출된 다섯 가지 원칙은 아직 실제 주거 환경에서의 시나리오 검증을 거치지 않았다. 후속 연구에서는 사용자 평가를 통해 각 원칙의 수용 여부와 효용성을 검증할 필요가 있다. 둘째, 인지 부담 감축 효과의 정량적 측정의 부재. 본 연구는 다섯 원칙이 거주자의 인지 부담을 감축한다고 논증하였으나, 이를 NASA-TLX와 같은 검증된 측정 도구로 정량화 하는 작업은 후속 과제로 남는다. 셋째, 비용·제도적 실행 가능성에 대한 분석 부재. 특히 수직 분리 원칙은 공동주택의 사업성 측면에서 추가 검토가 필요하다.

참고문헌

- 양현정. (2025). Human-Robot Interactive 건축 기술 연구. 한국건설기술연구원
- 이관용, 구한민, 이윤서, 정민승, 윤동근, 김갑성. (2022).

로봇 친화형 건축물 인증 지표 개발. 지적과 국토정보, 52(2), 17-34

- 정민승, 장설화, 구한민, 윤동근, 김갑성. (2023). 아파트 단지의 로봇 친화형 환경 인증 모델 개발. 지적과 국토정보, 53(1), 83-105
- ANSI/ITSDF B56.5-2024. Safety Standard for Driverless, Automatic Guided Industrial Vehicles and Automated Functions of Manned Industrial Vehicles. Industrial Truck Standards Development Foundation
- Bittman, M., Rice, J. M., & Wajcman, J. (2004). Appliances and their impact: The ownership of domestic technology and time spent on household work. *The British Journal of Sociology*, 55(3), 401-423
- Case, A. (2015). *Calm Technology: Principles and Patterns for Non-Intrusive Design*. O'Reilly Media
- Daminger, A. (2019). The cognitive dimension of household labor. *American Sociological Review*, 84(4), 609-633
- Dean, L., Churchill, B., & Ruppanner, L. (2022). The mental load: Building a deeper theoretical understanding of how cognitive and emotional labor overload women and mothers. *Community, Work & Family*, 25(1), 13-29
- Forlizzi, J., & DiSalvo, C. (2006). Service robots in the domestic environment: A study of the Roomba vacuum in the home. *Proceedings of HRI '06*, 258-265
- Kotsopoulos, S. D., & Nawyn, S. J. (2023). Autonomous and robotic systems in the domestic environment: Values, design criteria, and approaches. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1176339
- Leroy, S. (2009). Why is it so hard to do my work? The challenge of attention residue when switching between work tasks. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 109(2), 168-181
- Norman, D. A. (1998). *The Invisible Computer*. MIT Press
- Salvendy, G. (Ed.) (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (4th ed.). Wiley
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). *Human Factors in Engineering and Design* (7th ed.). McGraw-Hill
- Schwartz Cowan, R. (1983). *More Work for Mother*. Basic Books
- Weiser, M., & Brown, J. S. (1996). *The Coming Age of Calm Technology*. Xerox PARC