

## 실내공간 구성에 따른 인가의 생체정보 및 활동 분석을 위한 Human Sensored Architecture 제안



**이경태** 한양대학교 건축공학과 CB&PM 연구실 연구원, ktlee0422@naver.com  
**김주형** 한양대학교 건축공학과 정교수, kcr97jhk@hanyang.ac.kr

### 1. 서론

코로나 19로 인해 실내공간의 환기, 온도, 습도 등 실내 환경에 대한 관심이 늘어나게 되었다. 이를 통해 최적의 온도 및 습도를 파악하고 구축한 실내 환경은 사용자의 쾌적성, 만족도를 높이는 일부 요인이 되었다. 이 과정에서 사용자의 쾌적성 및 만족도를 파악하기 위해 설문, 인터뷰 등을 진행한 경우가 다수였다. 그러나 이제는 사용자의 감정적 만족 뿐만 아니라 신체적 만족도 파악하기 위해 다양한 생체정보를 토대로 공간을 평가하는 상황이 늘어나고 있다. 특히 사용자의 생리학적 반응(Physiological Reaction)을 파악하기 위해 뇌파, 심장박동변이, 심전도 등을 활용하여 측정한다. 이전에는 기기를 활용함에 어려움이 있고, 값비싼 비용으로 인해 활용함에 있어 한계가 있었지만, 학문 사이의 경계가 무너지고 기기에 대한 접근 및 활용이 용이해짐에 따라 다양한 연구들에 적용이 되고 있는 현황이다.

이를 적용하여 대부분 실내환경 즉 온도, 습도 등의 변이 등 환경적 변화에 따른 사용자의 상태 혹은 만족도를 파악할 뿐, 실내 공간 구성과 관련하여서는 연구가 부족한 실정이다. 왜냐하면 실내 공간 디자인을 지속적으로 바꿀 수 있는 기술의 한계 및 디자인의 현실성, 몰입감 등에 있어서 어려움이 있기 때문이다. 그러나 기술의 발전으로 인해 가상현실, 혼합 현실 등 다양한 시각적 환경의 제공을 통해서 사용자들도 쉽게 공간 디자인의 변화를 인식하게 된 만큼 이제 다양한 분야 및 학술적 방향성을 제공할 수 있는 계기가 되었다. 다각도로 인간의 생체적 상태와 공간 디자인의 관계성에 대한 이해를 발전시킴으로 공간에서의 사용자의 상태를 파악하여, 사용자의 상황에 맞는 공간을 제공할 수 있어

야한다.

이에 따라 본 특집을 통해 실내공간의 변화를 주기 위한 확장현실 환경에 대한 소개와 대표적으로 활용되는 생체 정보인 뇌파에 대한 데이터 수집 및 전처리 과정 그리고 활동의 일부인 업무 효율성과 관련된 연구 동향을 파악함으로써 실험 계획의 큰 틀을 제공하였다. 또한 큰 방향성인 인간의 생체 정보, 활동 그리고 시각적 인식과 관련된 분야를 통합하여 인간 중심의 실내 공간을 구현하기 위한 방향성인 Human Sensored Architecture을 제안하고자 한다.

### 2. 실내공간, 뇌파 그리고 업무 효율성 연구 현황

#### 2.1. 공간 변화의 시각화 방법

공간에 따른 인간의 반응 및 상태를 보기 위해서는 일차적으로 공간을 시각적으로 계속 변화시켜 줄 수 있어야 한다. 특히 공간 구성요인을 시각화하는 기술은 물리적 현실세계와 가상세계의 연결 시켜주는 디지털 트윈(Digital Twin)을 적용하여 객체를 시각화 한다(Lee et al. 2022). 시각은 인간의 커뮤니케이션에 가장 영향을 크게 미치는만큼 의사소통의 한계를 극복할 수 있는 도구로 활용이 가능하며 데이터를 인식하는 인간 역량의 불확실성을 통해 데이터 자체에 대한 이해를 원활하게 돕는다.

공간의 시각화를 위해 진행하는 도구로 이전에는 종이, 도면 등을 활용하였으며, 3D 모델링과 BIM의 확대로 기존의 실제 모델을 구현하고 물리적 재료와 자원을 아낄 수 있었으나, 이들은 모두 디자인을 상상해야하는만큼 이를 통해 공간을 이해하는데에는 어려움이 있었다. 이를 극복하기 위해 현실성과 몰입감이 높은 확장현실(Extended Reality)을 적용

	Extended Reality (XR)		
	Virtual Reality (VR)	Augmented Reality (AR)	Mixed Reality (MR)
Virtual Content	High	Low	Middle
Real Content	Low	High	High
Interactivity	Low	Middle	High
Type	Desktop/Mobile/Standalone	Desktop/Standalone	Standalone

그림 1-1. 가상현실, 증강현실, 혼합현실의 비교



그림 1-2. 확장현실 체험 도구

하는 경우가 늘어났다. 이는 가상현실과 혼합현실, 증강현실로 구성되어있으며, <그림 1-1>과 같은 특징을 보인다. 현실성이 낮음에도 몰입감이 높은 가상현실과 현실성과 상호호환성(interactivity)이 높은 혼합현실을 통해 공간 시각 디자인 선정, 음향 및 실내 환경과 관련되어 다양한 실험이 진행되었으며, 가상의 공간임에도 실제 결과와는 크게 차이가 없음을 파악한 만큼 <그림 1-2>의 도구들을 활용하여 이 환경들을 기반으로 연구를 진행하는 것이 인간의 상태를 이해하는데 도움이 될 것이다.

## 2.2. 뇌파 수집 및 전처리

뇌파의 수집은 다양한 기기를 활용하여 대뇌피질(celebrel cortex)에서 나오는 전기 신호와 피드백을 기록하는 것이다. 이는 뉴런에서 나오는 신호(voltage)의 변화를 전위(electrode)가 받아드려져서 나오는 측정 값을 받아드려 뇌 활동의 실시간 관찰과 높은 일시적인 해상도를 가능하게 한다. 국제 10-20 시스템에 맞추어 전두엽, 측두엽, 후두엽, 두정엽에서 나타나는 파형을 측정하고 해당 값을 통해 참여자들의 감정, 스트레스 상태를 파악할 수 있도록 한다(그림 2).

그러나 기기 자체가 심리적, 감각적 자극, 호흡, 감정 그리고 사지 운동과 같은 거의 모든 자극에 매우 민감하다. 또한 눈 깜빡임과 근육 움직임과 같은 원치 않는 인공물(artefacts)들은 뇌파를 오염시켜 획득한 데이터를 정확하게 분석하는데 장애가 될 수 있기에 분석 초기에는 신호 전처리를 통해 오염 신호 및 노이즈를 효과적으로 제거하는 것이 중요한 만큼 전처리를 진행하는 것이 필요하다.

전처리는 그림 3과 같이 총 3가지 단계로 진행된다. 첫째, 특정 주파수 범위 (2-39Hz)의 원시 EEG 신호를 유한 임펄스

응답필터를 활용하여 1차 전처리를 진행한 이후, Blackman, Hamming, Hanning 등의 Window를 활용하여 정규화하였다. 이후, 독립 성분 분석을 진행하여 잔여 유물을 제거하고 노이즈를 제거하였다. 마지막으로 EEG 신호 세기 별로 구분하여 고주파 푸리에 변환을 통해 세타(4-8Hz), 알파(8-13Hz), 베타(13-30Hz) 그리고 감마(30-39Hz)로 분류하여 분석하였다. 세타파는 잠을 잘 때 주로 나오는 것으로 알려져있다. 알파파는 휴식을 취할 때, 주로 나오며, 베타파는 작업 및 활성, 각성 중에 나타난다. 마지막으로 감마는 극도로 흥분하거나 집중하였을 때 나온다. 하지만 인간에 따라서 절대 강도(absolute intensity)에 차이가 있는 만큼, 이를 상대적 신호 세기(relative band power)로 변환한 값으로 분석을 진행한 후, 여러 값들 중 하나인 정신적 작업부하(Mental

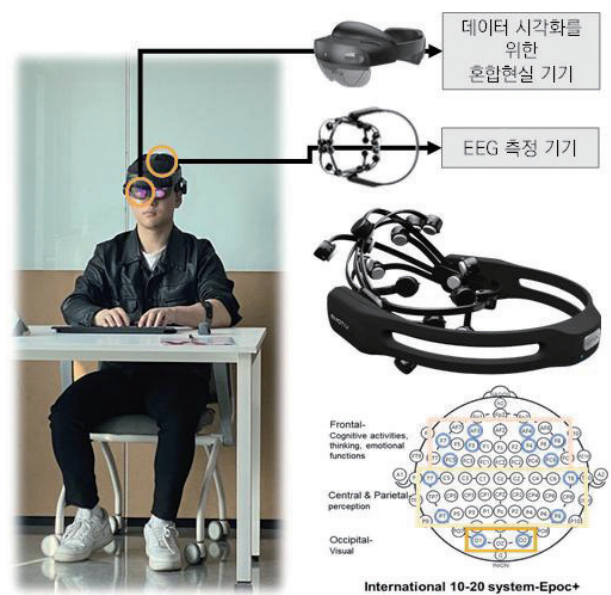


그림 2. 혼합현실 기기 기반 EEG 측정 예시

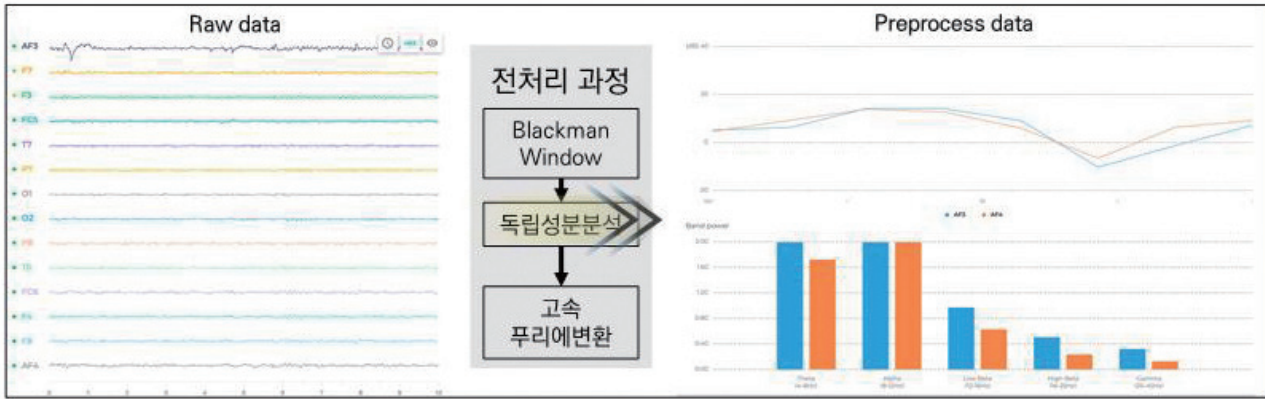


그림 3. 뇌파 전처리 과정

Workload)와 정신적 스트레스(Mental stress) 값을 구하여 비교하는 것이 필요하다(Kamzanova et al. 2014).

### 2.3. 업무 효율성 데이터 수집

실내공간에서 업무 효율성을 직접적으로 파악하기엔 한계가 있다. 따라서 이를 대체하는 다양한 인식 실험(Cognitive test)를 진행한다. 인식 실험을 통해 사람들이 가지고 있는 집중력(Attention), 실행력(Execution), 작업 메모리(Working Memory), 공간 기억(Spatial Memory) 등을 대체하여 평가할 수 있으며, 이를 통해 실내공간 디자인에 따른 뇌파와 업무효율성을 파악할 수 있다.

인식테스트를 통해 업무를 얼마나 효율적으로 진행하는지 그리고 공간 디자인의 변화라는 시각적 자극에 따라 뇌-행동이 어떻게 변화되고 반응이 보여지는지를 통해 파악할 수 있으며, 참여자들에게 해당 하는 업무에 집중을 가능하게 하여 몰입감과 현실감을 높여 줄 수 있다. 대표적으로 활용되는 인식 테스트는 그림 4와 같으며 각각 상황에 맞는 판단 능력을 측정할 수 있다. 이전의 연구에서도, 시각적 활동과

테스트, 예를 들어 장문을 읽고 이해력 테스트, 스트루프 테스트, 작업 메모리 등을 기반으로 각자의 판단능력을 파악하였으며, 실내공간 및 환경에서의 공간을 평가함에 있어 활용되었다(AI-Ayash et al., 2016; Lee et al. 2023).

### 3. Human Sensored Architecture 제안

실내 공간의 변화는 늘어나는 재택근무나 개인 공간에 대한 요구 등으로 인해 디자인이 지속적으로 변화되고 있다. 이를 위해서는 공간 디자인의 구성이나 관련 요인들을 변화시키고 이를 사용자들이 충분히 이해하고, 설계나 시공 분야 전문가들과 의사소통이 명확히 될 수 있어야 한다. 그리고 공간의 변화를 충분히 인식하고 실내공간에 대한 이해가 높아진다면, 인간의 상태를 파악하기 위해 다양한 인간의 생체지표를 측정한다. 인간의 생체지표를 측정하기 위해서는 뇌파, 심장박동변이 등을 측정하고 다양한 데이터를 수집하고 이를 기반으로 인간의 스트레스나 업무 부하, 상태 등을 파악한다. 공간에 따라 개인의 생체적 반응을 파악한 이후, 인간

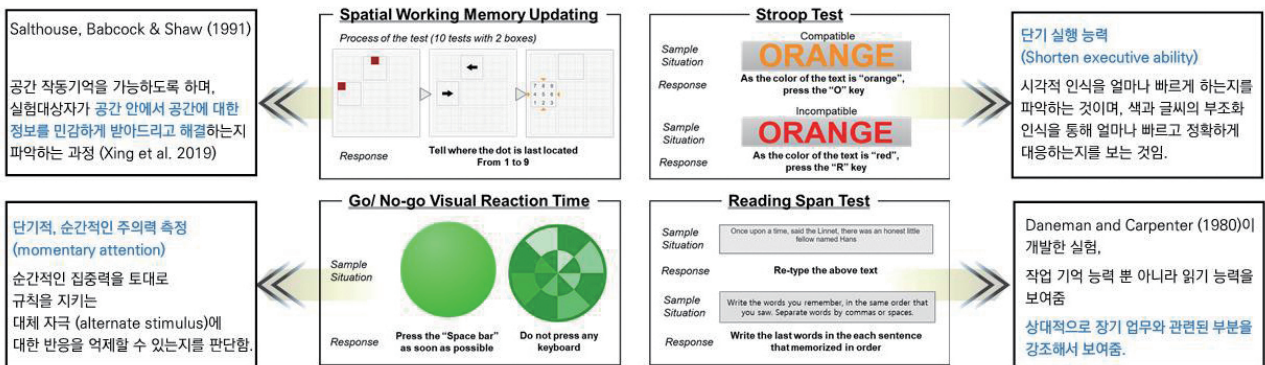


그림 4. 업무효율성 판단을 위해 활용되는 대표적인 인식 테스트의 예시

의 공간에 대한 평가를 진행한다. 공간의 평가로는 업무 성과, 효율성들을 구하거나, 공간에서의 활동 혹은 수면 등을 측정 할 수 있도록 한다.

이 관점들을 통합하여 하나의 건축 디자인 관련 방향성을 제안하면 다음과 같다. 이전에는 단순히 언어로 혹은 인간의 주관적 판단으로 실내공간 디자인이 제안되고, 주로 기존 전문가들의 경험에 맞추어 공간을 제안하는 형태가 대다수였다. 하지만 이제는 인간의 공간에서의 인지(perception)를 기반으로 나타나는 생체적 상태를 파악하고, 이 부분이 인간의 활동에 영향을 끼침을 파악함으로 최적의 공간을 제공할 수 있어야 한다. 결과적으로는 인간이 진행할 활동에 맞추어 환경을 구성함에 있어서 인간에 대한 폭넓은 이해는 필수적이다.

이는 인간이 하나의 센서로서 활용되어야 함을 보여주는 것이며, 인간이 공간 구성을 어떻게 받아드리는지 그리고 인간이 공간에서 반응하는지를 직접 사용자가 나타내어 보여줄 수 있어야 한다. 또한 추가적으로 인간의 공간에 대한 인지에 영향을 끼칠 수 있는 인간의 기질과 경험 등 인간 자체가 가진 선천, 후천적인 공간 판단력 또한 공간에서의 활동에 영향을 끼칠 수 있는만큼 이 부분에 대한 파악도 필수적으로 진행되어야 한다. 이들을 종합하여 <그림 5>와 같이 제안하는 Human Sensored Architecture의 큰 축은 인간의 인지, 생리학적 반응 그리고 활동을 파악함으로 공간을 제시하는 것이며, 이는 인간의 공간에 대한 의사결정을 돕는 것 뿐 아니라 개인 맞춤형 디자인 그리고 공간 구성의 다변화에 있어서 활용도가 높을 것으로 판단된다.

해당 요인 및 분야의 관계를 명확하게 풀어 묘사하고 결과를 종합함에 있어서 한계가 있지만 결국 인간 중심의 공간 및 건설 관리를 진행하기 위해 2장에서 제안한 데이터 시각화, 수집 및 전처리 그리고 데이터 측정을 통해 나타난 결과를 기반으로 정량, 정성적 분석이 수반되어야 한다. 또한 데이터 리포지토리, 클라우드 등을 통해 Human sensed architecture의 연구 결과들을 수집한다면 이는 인체의 신체 및 생리학적 반응을 통해 사용자 중심의 공간을 새롭게 제안할 수 있는 하나의 학문적 방향이며 연구 결과는 현업 전문가들에게도 충분히 활용될 수 있을 것이다.

#### 4. 맺음말

인간이 살아가는 실내공간은 해가 지나면 지날수록 더욱 다양하게 구성되며, 코로나 이후 동일 공간 내에서 단순히 쉬는 공간 뿐 아니라 업무, 회의 등 여러 용도로 활용되고 있다. 시간이 지남에 따라 사용자 중심의 공간을 구성하기 위해서 다양한 접근이 활용되는 가운데, 이번 특집을 통해서 인간의 공간에서의 생리학적 반응에 대해서 제안하고 업무 효율성을 파악할 수 있는 방안을 제안하였다. 클라이언트 및 사용자들이 공간 구성요인에 대하여 더 직관적이고 현실적으로 파악할 수 있도록 하기 위해 다양한 3D기술 및 확장현실 기술을 제안하였으며, 생리학적 정보로는 대표적으로 활용될 수 있는 뇌파의 데이터 수집과 전처리 과정 그리고 다양하게 진행될 수 있는 활동 중 업무 효율성 수집과 관련된 정보를 제안하였다. 이 정보들을 복합적으로 활용하고 결과들을 통합한다

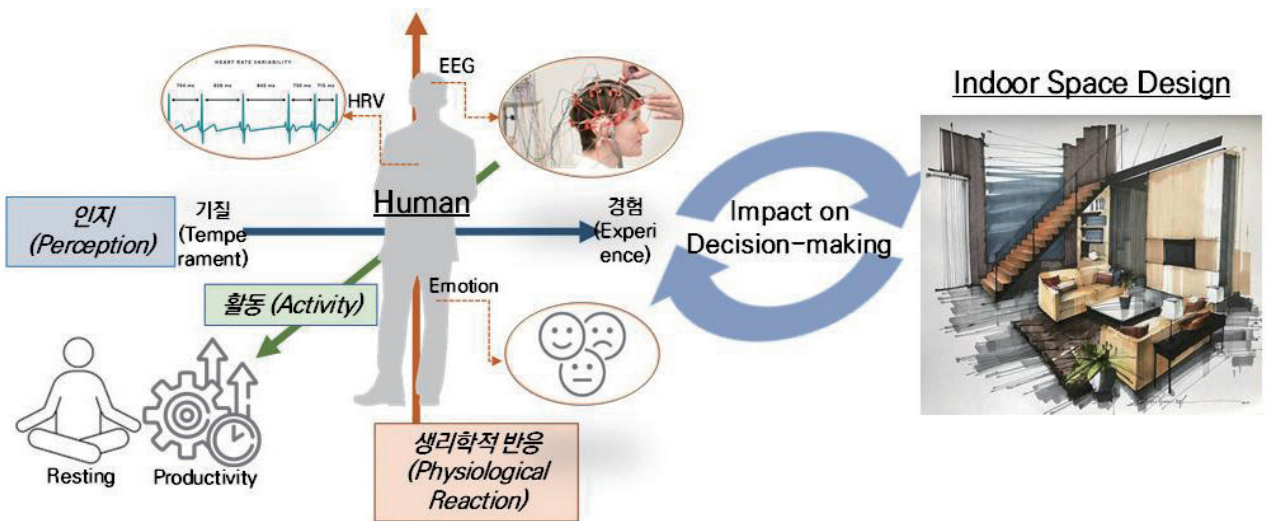


그림 5. Human Sensored Architecture 제안



면 이는 사람이 하나의 센서로서의 역할을 감당하면서 공간을 구성하는 Human sensed architecture를 구축할 수 있을 것이다. 그리고 이와 관련된 다양한 연구 결과들을 종합한다면, 인간 중심의 공간을 구성하는 하나의 방향이 제안될 수 있을 것이다.

학문의 방향성에 차이가 존재하기에 생체학적 부분 뿐 아니라 시각화 환경, 심리학적 분석 등 다양한 학문의 융·복합적인 분석이 필수적으로 수반되어야한다. 또한 공간에 따른 인간의 생체학적 분석만 진행하더라도, 단순히 시각적 자극의 변화가 인간의 생체학적 상태에 영향을 끼치고, 업무 효율성에 영향을 끼쳤다고 보기엔 논리적 비약이 있을 수 있는 것이 사실이다. 그럼에도 불구하고 새로운 학문적 틀(Framework)을 제안하고, 연구 결과를 인간의 상태를 기준으로 분석한다면 더욱 활용도가 높을 것이다. 또한 인간의 기질과 경험, 인간의 감정, 활용할 수 있는 생리학적 데이터의 확장 뿐 아니라 웹, 협업 등의 다양한 활동들과의 관계성을 파악함으로써 인간 중심의 공간을 구성함에 있어 새로운 기회를 창출 할 수 있을 것이다. 이와 같은 정보의 반영을 통해 되는 공간의 변화는 미래 건설 관리 및 디자인과 관련하여 패러다임을 변화시키고 앞서가는 미래 투자 전략을 통해 글로벌 경쟁력을 확보해나갈 것이며, 새로운 사업 분야로의 확장을 통해 부가가치 또한 높일 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Lee, K. T., Im, J. B., Park, S. J., & Kim, J. H. (2022). Conceptual Framework to Support Personalized Indoor Space Design Decision-Making: A Systematic Literature Review. *Buildings*, 12(6), 716.
2. Lee, K. T., Park, C. H., & Kim, J. H. (2023). Examination of User Emotions and Task Performance in Indoor Space Design Using Mixed-Reality. *Buildings*, 13(6), 1483.
3. AL-Ayash, A., Kane, R. T., Smith, D., & Green-Armytage, P. (2016). The influence of color on student emotion, heart rate, and performance in learning environments. *Color Research & Application*, 41(2), 196-205.
4. Kamzanova, A. T., Kustubayeva, A. M., & Matthews, G. (2014). Use of EEG workload indices for diagnostic monitoring of vigilance decrement. *Human factors*, 56(6), 1136-1149.