

## 건축 및 건설 분야 이용 가능 정량적 생체 신호 측정 방법



**배진호** 한양대학교 의과대학 생리학교실 연구원, jinho6979@hanyang.ac.kr  
**이경태** 한양대학교 공과대학 건축공학부 연구원, ktleee0422@hanyang.ac.kr  
**하서영** 한양대학교 의과대학 생리학교실 연구원, hsy.wannabe@gmail.com  
**조항준** 한양대학교 의과대학 생리학교실 교수, hangjoonjo@hanyang.ac.kr

### 1. 배경과 목적

현대 사회에서 사람들은 건물 내에서 보내는 시간이 점점 더 길어지고 있다[1]. 이로 인해 건축 공간의 특성과 사용자의 건강 상태와의 관계가 더욱 중요해지고 있다. 건축 공간은 사람에게 생리적, 정신적인 영향을 미치며[2], 이는 호흡, 맥박, 스트레스 수준, 인지 능력 및 기억력 등의 변화로 나타날 수 있다[3]. 그러나 현재, 대부분의 건축 공간 디자인은 주로 물리적 기능성이나 공간적 효율성에 초점을 맞추고 있다. 또한, 현재의 건축 공간 평가는 주로 사람의 심리, 감정 등 상당히 주관적인 평가 방법에 의존하고 있어 건축 공간이 사람에게 미치는 영향을 정량적으로 측정하고 평가할 수 있는 객관적인 방법의 필요성이 제기되고 있다[4]. 최근에는 생체 신호 측정을 활용하여 사용자의 생리적, 정신적 영향을 측정하는 연구가 늘고 있다[5]. 생체 신호는 신체의 생리적 반응을 측정하고 분석하는 도구로서, 건축 환경에서 사용자의 상태를 파악하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 특히, 건축 공간에서 사용자의 경험과 행동을 이해하기 위해 생체 신호를 활용하는 것은 인간 중심의 건축 공간 디자인을 제안하는 데 도움이 된다. 생체 신호 측정은 신뢰할 수 있는 결과를 제공하며, 건축 공간 디자인의 평가 및 개선을 위한 객관적인 지표로 활용될 수 있다. 따라서 생체 신호 측정을 통해 사용자 중심의 건축 공간 디자인을 제안하는 데에 큰 잠재력이 있으며, 보다 객관적인 평가와 개선을 위해서는 더

많은 연구와 노력이 필요하다. 본 종설에서는 다양한 생체 신호 중에서도 피부전도, 근전도, 심전도, 뇌파, 시선추적 등 비교적 쉽게 획득할 수 있고 비침습적인 측정 방법들을 중심으로 다루었으며, 이러한 정보를 통해 사용자의 편안함, 집중력, 스트레스 수준 등을 평가하고 건축 공간 디자인을 사용자 중심으로 최적화하는 데 기여할 수 있는 가능성에 대해 논의하고자 한다.

### 2. 생체 신호 측정 방법

생체 신호 측정을 통해 사용자의 생리적인 반응을 정량적으로 측정하고 분석할 수 있는 다양한 방법들이 연구되고 있다[6]. ‘생체신호’는 산소포화도(peripheral oxygen saturation;  $SpO_2$ ), 피부전도(galvanic skin response; GSR), 근전도(electromyogram; EMG), 심전도(electrocardiogram; ECG 또는 EKG), 뇌파(electroencephalogram; EEG), 시선추적(eye-tracking) 등 사용자의 신체 활동과 생리적 반응을 측정하고 분석하는 것을 의미한다. 생체 신호 측정에 대한 개괄적인 개념은 <그림 1>과 같다.

#### 2.1. 맥박 및 산소포화도(peripheral oxygen saturation; $SpO_2$ )

맥박은 심박수를 나타내며, 1분 동안 심장이 수축, 이완하는 횟수를 셈으로써 측정된다. 일반적으로 분당 심박수로 표현

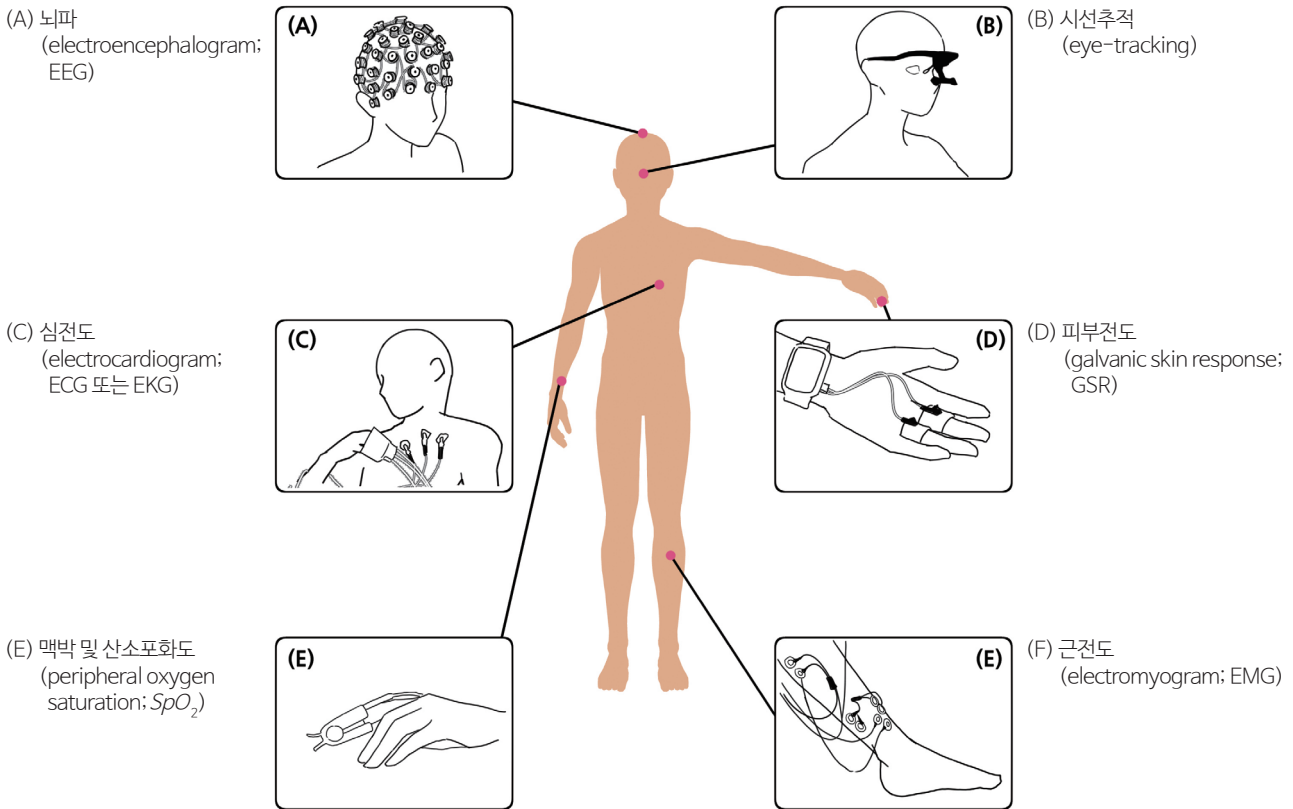
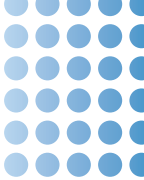


그림1. 생체 신호의 종류

되는데, 건강한 성인의 평균 심박수는 60-100회 정도이며, 운동이나 감정 변화, 물리적 활동에 따라 심박수가 변동할 수 있다. 산소포화도는 혈액 내의 산소와 헤모글로빈이 얼마나 잘 결합되어 있는지를 백분율로 표현한 것이며, 일반적으로 손가락에 부착된 산소포화도 측정기를 사용하여 이루어진다. 산소포화도는 손가락에 부착된 센서를 통해 빛을 혈액으로 전달하고, 흡수된 빛의 양을 측정하여 계산할 수 있다. 산소포화도는 주로 산소 공급 상태를 파악하고 호흡 기능을 평가하는 중요한 지표로 활용된다. 건강한 사람의 산소포화도는 일반적으로 95% 이상이며, 이 값이 낮아질수록 혈액 내의 산소 함량이 감소하여 조직에 충분한 산소가 공급되지 않을 수 있음을 나타낸다.

## 2.2. 피부전도(galvanic skin response; GSR)

피부전도는 주로 손목이나 손바닥, 손가락 등의 부위에 부착된 전극을 통해 땀 배출량과 체온 변화를 측정하고 그에 따른 피부 긴장도를 통해 신체 활동의 생리적 반응을 파악한다. 또한, 피부의 전기적 활동으로 인해 발생하는 피부의 전도도 변화를 측정함으로써 건강 상태, 스트레스 수준, 신체

적인 활동 등에 대한 정보를 파악할 수 있다. 일례로, 스트레스가 가해지는 상황에서 피부에 존재하는 땀샘의 활동, 피부 내의 수분 함량, 혈관의 확장 등의 생리적인 변화가 수반되며, 이러한 반응은 피부의 방전 및 발한, 그리고 피부의 전도도를 통해 관측할 수 있다. GSR은 일반적으로 스트레스, 피로, 불안 등과 같은 상황에서 증가하며 휴식 상태나 안정된 상황에서는 감소한다.

## 2.3. 근전도(electromyogram; EMG)

근전도는 근육의 표면에 부착된 전극을 통해 근육에서 생성되는 전기 신호를 측정하여 근육의 수축과 이완을 제어하는 신경 활동을 감지하고 근육의 활동과 관련된 정보를 제공한다. 근육의 활성화 수준, 수축 강도, 수축 패턴 등을 평가하고 분석함으로써 근육의 기능, 운동 제어, 신경학적 질환, 근골격 장애 등을 진단하고 평가하는 데 사용된다.

## 2.4. 심전도(electrocardiogram; ECG 또는 EKG)

심전도는 근전도와 마찬가지로, 전극을 피부에 부착하여 심

장의 전기적인 활동을 측정한다. 전극은 주로 가슴, 팔, 다리에 부착되며, 심장 근육의 수축과 이완 과정에서 발생하는 전기 활동을 기록하고 분석함으로써 심장의 기능과 상태를 평가하는 데 사용된다. 심전도는 심장의 심박수, 심박 간격과 패턴 등 심장의 전기 활동과 관련된 다양한 정보를 제공하며, 이러한 정보를 통해 심장의 정상적인 기능을 평가하고, 심장 기능 이상이나 부정맥 등 심장 질환을 진단하고 관리하는 데 도움을 준다.

### 2.5. 뇌파(electroencephalogram; EEG)

뇌는 수많은 뉴런들로 이루어진 복잡한 신경 네트워크로 구성되어 있다. 이러한 뉴런들은 전기적 신호를 생성하고 신호가 전달되면서 뇌의 다양한 영역들 사이에서 소통을 한다. 뇌파는 뇌 활동에서 발생하는 이러한 전기적 신호를 두피 표면 상에 부착된 전극을 통해 측정하고 기록하여 뇌의 활동 상태를 연구하고 분석하는 데 사용된다. 뇌파는 패턴에 따라 다양한 범위로 구분된다. 이를 통해 인지, 기억, 집중력 등의 뇌 기능, 휴식 및 명상, 수면 패턴, 각성 상태 등을 평가하고 분석할 수 있다.

### 2.6. 시선추적(eye-tracking)

시선추적은 사용자의 시선 위치와 동공 크기를 측정하고 분석하여 시선이 어디에 집중되는지 추적한다. 시선 위치는 눈동자의 움직임을 기록하여 분석하며, 이를 통해 어떤 시각적 자극에 사용자의 시선이 집중되는지, 특정 지점이나 개체에 얼마나 오랫동안 시선이 머물렀는지 등을 파악할 수 있다. 이는 사용자의 시각적 관심사와 주의력 분배, 시각적 탐색 패턴 등과 관련된 정보를 제공한다. 또한, 시선추적은 동공의 크기 변화를 측정하고 분석하는데, 이는 인지적, 생리적 반응에 의해 조절되며, 자동 심박 및 심박 주기와 관련이 있다. 따라서 동공 크기는 사용자의 인지적 및 생리적 상태, 노출된 자극에 대한 반응 등에 대한 정보를 제공한다.

## 3. 측정된 생체 신호의 응용

이러한 생체 신호들은 주로 건강 모니터링, 피로도 평가, 스트레스 평가, 뇌 기능 연구 등 다양한 영역에서 응용되고 있다. 본 종설에서는 생체 신호 측정이 어느 영역에서, 어떻게 활용되고 있는지에 대한 인식을 높이고자 한다.

### 3.1. 건강 모니터링

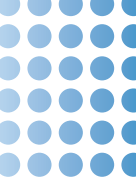
건강 모니터링은 개인의 건강 상태를 지속적으로 추적하고 평가하는 과정으로, 생체 신호를 활용하여 신체의 생리적 상태를 측정하고 분석한다. 이를 통해 개인의 건강 상태를 파악하고 필요에 따라 조치를 취하여 건강을 유지하거나 개선할 수 있다. 건강 모니터링에 사용되는 주요 생체 신호에는 대표적으로 심박수와 산소포화도가 있다. 심박수의 변화를 통해 심혈관 건강 상태를 평가하고 스트레스 수준 등을 파악할 수 있다. 산소포화도 측정은 호흡 기능 평가와 함께 산소 공급 상태를 파악하는 데 사용된다. 이를 통해 건강 모니터링은 개인의 건강 상태를 지속적으로 파악하여 건강한 생활 습관을 유지하고, 만성 질환의 조기 발견과 예방에 큰 도움을 주는 중요한 도구로 활용된다. 또한, 의료진과 환자 간의 원격 모니터링을 통해 건강 상태를 실시간으로 공유하고 의료 서비스를 개선하는 데에도 활용되고 있다.

### 3.2. 스트레스 평가

스트레스 평가는 개인이 경험하는 신체적, 정신적 스트레스 수준을 측정하고 평가하는 것을 의미한다. 생체 신호를 활용하여 스트레스를 평가하는 것은 스트레스 레벨을 파악하고 스트레스 관리를 위한 대처 방안을 모색하는 데 도움이 된다. 스트레스 평가에 사용되는 주요 생체 신호에는 심박수, 피부전도, 호흡수, 근전도, 뇌파가 있다. 스트레스의 증가는 심박수, 피부전도도, 호흡수, 근육 활동의 증가, 뇌파 패턴 등의 변화를 야기한다. 이러한 변화는 스트레스 수준을 추정하거나 스트레스로 인해 발생하는 문제들을 조기에 발견, 대응할 수 있다. 이를 통해 빠르게 대처하여 건강하고 안정적인 생활과 업무 환경을 구축할 수 있다.

### 3.3. 뇌 기능 연구

뇌 기능 연구는 생체 신호를 활용하여 개인의 뇌 활동을 측정하고 이해하며, 인지, 감정, 학습, 기억 등 다양한 뇌 기능과 관련된 과정을 의미한다. 이는 인간의 뇌 활동과 관련된 질병, 장애, 학습 및 기억 능력, 뇌 기능의 발달과 노화 등을 이해하고 개선하는 데 중요한 역할을 한다. 뇌 기능 연구에 사용되는 주요 생체 신호로는 뇌파, 근전도, 심전도 등이 있다. 뇌파를 통해 뇌 활동의 주파수와 진폭을 분석하여 뇌의 상태와 인지 과정, 수면 패턴, 감정 반응 등을 평가할 수 있다. 더불어, 근전도를 통해 뇌의 명령에 따른 근육의 반응을 분석하여 운동 제어, 운동 장애, 근육 피로 등 뇌의 운동 기



능을 평가할 수 있다. 또한, 심전도를 통해 심박 패턴과 심박 수를 분석하여 심혈관 기능과 뇌 활동과의 상호작용을 이해하는 데에도 활용된다. 이를 통해 인간의 뇌 활동과 기능을 이해하고 질병 진단 및 치료, 학습, 기억 증진, 인지 개선 등 다양한 분야에 응용할 수 있다.

#### 4. 건축 공간에서의 생체 신호 활용

건축 공간 디자인에 생체 신호를 활용하는 방법은 다양한 영역에 응용될 수 있다. 이때, 생체 신호 측정은 사용자의 편의성, 편안함, 건강을 개선하고 사용자에게 최적의 경험을 제공하기 위한 건축 공간을 설계하는 데 도움을 준다. 본 종설은 생체 신호를 활용한 건축 공간의 디자인 및 기능성의 개선안을 제시하고자 한다. 건축 공간에서 생체 신호를 활용하는 방법으로 건축 공간 디자인 평가를 제시할 수 있다. 이는 건축 공간이 사용자에게 미치는 영향과 효과를 평가하고 개선하는 데 활용될 수 있다. 이에 따른 사용자 중심의 건축 공간 디자인을 구현하고, 건축물이 사용자의 편안함, 집중력, 건강 등에 긍정적인 영향을 제공할 수 있다. 일례로 심박 수, 피부전도, 근전도 등을 활용하여 사용자의 스트레스 수준, 피로도, 긴장 상태 등을 측정하고 건축 공간의 디자인이 사용자의 생리적인 측면에 어떤 영향을 미치는 지 파악할 수 있다. 또한, 뇌파를 통해 건축 공간이 사용자의 인지 능력에 어떤 영향을 미치는 지를 분석하여 집중력과 창의성을 촉진하는 건축 요소를 도출할 수 있다. 더불어, 시선추적을 통해 사용자가 건축 공간 내에서 어떤 요소에 주목하고 어떤 경로로 움직이는 지를 파악하여 디자인의 시각적 효과와 편의성을 평가할 수도 있다. 이러한 방법들은 주관적인 설문 조사나 인터뷰 등의 평가와는 달리, 객관적인 데이터를 얻을 수 있다. 이를 통해 건축 공간의 효율성과 사용자의 만족도를 높이며, 보다 쾌적하고 편리한 환경을 제공하는 데 기여할 수 있다. 더욱 발전된 기술과 연구를 통해 생체 신호를 활용한 건축 공간 디자인이 더욱 확대되고 발전될 것으로 기대된다.

#### 5. 결론

생체 신호 측정 방법을 활용한 건축 공간의 디자인은 아직 초기 단계에 머무르고 있다. 추가적인 연구와 기술 발전이 필요하며, 측정 장비의 비용과 제한된 공간적 활용 가능성

등에 대한 고려도 필요하다. 이러한 한계를 극복하기 위해 더 많은 노력이 필요하며, 현재의 기술 발전과 연구 노력을 토대로 생체 신호 측정 방법을 활용한 건축 공간 디자인의 평가 및 개선은 사용자 중심의 건축 공간 디자인을 위한 중요한 도구로서 활용될 수 있다. 이러한 접근 방식이 건축 분야에서 더욱 더 많은 관심과 발전을 이끌어내기 위해서는 지속적인 연구와 혁신, 산업과 학계의 협력이 필요하며, 사용자의 생리적인 요구를 반영하는 차원에서 지속적으로 발전해 나가야 할 것이다. 이에 필요한 연구와 그 응용은 건축 공간의 디자인과 사용자의 편안함, 건강, 생산성을 조화롭게 결합하는 더욱 발전된 건축 공간을 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. Höpfe, P. 2002. 'Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort.' *Energy Build.* 34 (6): 661-665. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00017-8).
2. Eberhard, J. P. 2009. *Brain landscape: The coexistence of neuroscience and architecture.* New York: Oxford University Press.
3. Sallis, J. F., Cervero, R. B., Ascher, W., Henderson, K. A., Kraft, M. K., & Kerr, J. (2006). An ecological approach to creating active living communities. *Annu. Rev. Public Health*, 27, 297-322.
4. Bower, I., Tucker, R., & Enticott, P. G. (2019). Impact of built environment design on emotion measured via neurophysiological correlates and subjective indicators: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, 66, 101344.
5. Ma, K. W., Wong, H. M., & Mak, C. M. (2018). A systematic review of human perceptual dimensions of sound: Meta-analysis of semantic differential method applications to indoor and outdoor sounds. *Building and Environment*, 133, 123-150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.021>.
6. Parkinson, T., & De Dear, R. (2016). Thermal pleasure in built environments: Spatial alliesthesia from contact heating. *Building Research & Information*, 44(3), 248-262. <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.1082334>.