

## 감성 건축을 위한 EEG 데이터 셋 분석

- 공간과 감정의 상호작용 이해 -

### Analyzing EEG datasets to construct a sensing architecture dataset

- Understanding the interaction between space and sensing -

○조 주 은\*      홍 이 연\*      조 경 진\*      전 한 종\*\*  
Cho, Ju-Eun      Hong, Yi-Yeon      Cho, Gyeong-Jin      Jun, Han-Jong

#### Abstract

This study examines the factors necessary to construct an EEG dataset suitable for architecture. The purpose is to establish a foundation for sensing architecture, which seeks to reflect human physiological and psychological responses to create personalized built environments. A reliable emotion classification data set was chosen to achieve this objective. Based on a review of the experimental environment, participant characteristics, analysis methodology, analysis software, and key variables and metrics, this paper presents directions for optimizing the impact of EEG technology on architectural design and considerations prior to dataset construction. The paper emphasizes the importance of data accuracy and reliability, focusing on the user experience, and integrating technological advances in designing user-centered built environments. It presents a process for building EEG datasets and helps to plan experimental studies that aim to experiment with human emotions through physiological data analysis. Future research should focus on the development of data sets applicable to architecture, which will create new possibilities for architectural design and contribute to the improvement of the quality of life of users.

키워드 : 뇌파, 데이터 셋, 감정 분류, 사용자 중심 설계, 감성 건축

Keywords : EEG, Dataset, Emotion classification, User-centered design, Sensing Architecture

#### 1. 서론

##### 1.1 연구의 배경 및 목적

현대 건축학은 사용자 중심의 설계 접근 방식을 중요시 하며, 사용자의 경험과 감정을 바탕으로 공간 디자인이 인간의 감정과 행동에 미치는 영향을 최적화하는 데 초점을 맞춘다. (Bullinger et al., 2010) 최근 기술의 발전으로 사용자의 감정 상태를 정량적으로 평가할 수 있게 되고, 이러한 평가는 인간의 감정을 생체 데이터를 통해 수집하고 해석하는 과정을 거쳐 건축에 반영할 수 있는 새로운 방법을 제시한다. (Kanjo et al., 2015)

특히, 뇌전도(EEG) 기술은 특정 감정 상태의 뇌파 패턴을 식별하고 건축 환경이 사용자의 감정에 미치는 영향에 대한 이해가 가능하게 하며, 사용자 감성 맞춤형 공간 설계까지 할 수 있게 한다. (Merlin Praveena et al., 2022) 예를 들어, 특정 조도, 색상, 형태에 따른 스트레스 수준, 안정감 등을 측정하여 사용자에게 적합한 환경을 설계할 수 있는 방안을 제공한다. 본 연구는 기존의 EEG 데이터

셋을 분석함으로써 건축학 분야에서 활용할 수 있는 데이터 셋 구축에 있어 어떤 고려가 필요한지에 대해 탐구하는 것을 목적으로 한다. (Kang et al., 2023) EEG 데이터의 구축 및 활용은 인간의 생리적, 심리적 반응을 통해 사용자 맞춤형 건축 환경을 목표로 하는 감성 건축을 이루기 위한 토대를 마련한다. 따라서 본 연구는 EEG 데이터를 효율적으로 활용하기 위한 전략을 제시하고, 사용자 중심 설계가 실제로 어떻게 구현될 수 있는지에 대한 근본적인 질문에 답하는 것을 목표로 한다.

##### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 현재까지 구축된 다양한 분야 및 환경에서의 EEG 데이터 셋 중 건축, 공간, 환경 변수와 관련된 감정 분류 데이터 셋을 분석하고, 건축 분야에서의 발전 방향에 대해 모색한다. 특히 EEG 데이터 셋이 건축학에서 감정과 공간의 상호작용을 이해하는데 어떻게 기여해왔는지, 이 분야에서 데이터 셋을 어떻게 발전시킬 수 있는지에 초점을 맞춘다. EEG 데이터 셋의 선별 적용 기준은 데이터의 신뢰성, 적합성, 건축 분야의 응용 가능성을 고려하여 정립되었다. 이는 향후 진행될 건축 분야의 EEG 데이터 셋 구축 연구의 선행 연구로서 연구 목적에 가장 적합한 데이터 셋을 확보하고자 한다. 이러한 방식은 건축 분야에서 EEG 데이터셋의 활용성을 확장하고 감정적 요소와 환경적 조건이 건축 설계에 어떻게 통합될 수 있는지에 대해 접근할 수 있다.

\* 한양대 대학원 석사과정

\*\* 한양대 건축학과 교수, 공학박사

(Corresponding author: Department of Architectural Engineering, Hanyang University, hanjong@hanyang.ac.kr)

이 연구는 2022년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호:2022R1A2C3011796

## 2. 이론적 배경

### 2.1 EEG와 건축

EEG(뇌파)는 사용자의 뇌파 패턴 분석, 특정 감정 상태 및 인지 반응 식별 정보를 통해 건축 공간이 사용자에게 미치는 감정, 기분 등의 영향을 이해하고 평가하는데 사용된다. 최근 건축학에서는 공간이 사용자의 감정, 기분 등의 미치는 영향을 이해하고 평가하는데 사용된다. (Cho & Kim, 2017) EEG는 사용자 경험 중심의 공간 설계 방안을 제시하는 데에 중요한 데이터를 제공하고, 사용자의 심리 및 감정 반응을 고려하여 의미 있는 공간을 형성하는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. (Merlin Praveena et al., 2022) 건축가들은 공간이 사용자에게 미치는 직접적인 영향을 과학적으로 이해하고 이를 바탕으로 공간 디자인을 할 수 있게 된다.

### 2.2 기존 연구 및 EEG 데이터 활용 사례

건축 분야에서의 데이터 셋 발전 방향을 탐구하기 위해 해당 분야에서 EEG 데이터 셋을 활용한 사례들을 조사했다. 표 1은 이와 관련된 주요 연구 사례 중 일부를 정리한 것으로, 연구 목적, 주요 발견 및 결과를 포함한다. 이는 건축의 요소가 사용자의 심리에 미치는 영향을 이해하고, 경험을 개선하기 위한 설계 대안을 모색하는 데 있어 EEG 데이터 셋이 중요한 역할을 할 수 있음을 나타낸다.

표 1. 기존 연구 및 EEG 데이터 활용 사례

저자명 (기간)	목적	주요 발견/결과
Chang et al. (2020)	사용자 선호도 파악을 위한 건축 디자인 이미지 LSTM 네트워크 모델 구현	LSTM 모델로 사용자 건축 디자인 선호도 효과적 분류
Chang & Jun (2019)	사용자의 건축 디자인 대안에 대한 감정 반응 정량적 평가	GANs를 통한 데이터 증강 및 모델의 정확도 개선 건축 디자인에 대한 사용자 감정 반응 통합 가능성 제시
Shemesh et al. (2021)	건축 공간 기하학적 특성별 사용자 감정 반응 영향 평가	극단적인 비율을 가진 좁은 공간으로 인한 사용자의 스트레스 증가

## 3. 연구 방법론

### 3.1 데이터 셋 선별 프로세스

본 연구는 사용자의 감정과 건축 공간 및 환경 변수 간의 상호작용을 탐구하기 위해 EEG 데이터 셋을 분석한다. 따라서 데이터 선별을 통해 연구의 목적과 질문에 부합하는 데이터 셋을 선정하고자 한다.

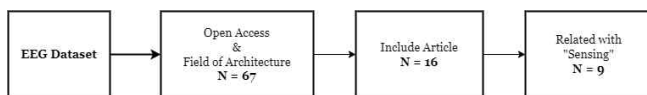


그림 1. 데이터 셋 선별 프로세스

그림 1에 따라 순차적으로 데이터 선별을 진행했다. 먼저 데이터 셋이 개방형인 경우와 건축학적 요소를 포함하는 데이터 셋을 우선으로 선별하고 이후 논문의 유무를 기준으로 데이터 셋 필터링을 진행했다. 이는 데이터 셋 구축에 관한 논문이 실험 설계에 대한 자세한 정보를 포함하고 있으므로 연구의 목적에 맞는 데이터 셋 분석에

중요한 역할을 한다. 마지막으로 감정(sensing)과 관련된 데이터 셋을 선별하여 총 67개의 데이터 셋 중 9개가 선정됐다. 해당 데이터 선별 프로세스를 통해 얻은 데이터 셋은 표 3에서 볼 수 있듯 건축학 분야에서 사용자의 감정적 반응과 공간 설계의 상호작용을 이해하고, 이를 바탕으로 사용자 중심의 설계 방향을 제시한다. 따라서 EEG 데이터 셋 활용으로 연구는 실질적인 설계 개선을 위한 근거 기반의 정보를 제공할 수 있을 것이다.

## 4. 데이터 셋 분석

본 장에서는 기존에 구축된 EEG 데이터 셋의 실험 환경, 참가자 특성, 분석 방법론, 사용된 분석 소프트웨어, 그리고 주요 변수 및 측정 지표 등에 대해 검토를 진행한다.

### 4.1 참가자 특성 및 실험 조건

EEG 데이터 셋 분석에서 참가자 특성과 실험 조건은 연구의 타당성, 신뢰성, 일반화 가능성에 결정적인 역할을 한다. 특히, 참가자의 수와 다양성은 연구의 통계적 유의성과 일반화 가능성에 중요하다. 각 실험의 목적에 맞게 설정한 실험 변수, 참가자 특성, 조건 및 환경이 정리된 표 2는 해당 데이터 셋 구축에 있어 가장 먼저 고려되어야 할 부분이다. 큰 표본 크기를 가진 연구는 높은 일반화 가능성을 제공하고, 다양한 인구 통계학적 배경을 반영하여 연구 결과의 범용성을 증가시킨다. 반면, 작은 표본 크기의 연구들은 특정 조건을 가진 집단에 초점을 맞추며, 다양한 생체신호로 더 세밀한 행동이나 신경학적 반응 관찰을 가능하게 한다. 또한 작은 표본의 한계 극복을 위해 자가 진단 설문지 작성 등 여러 대안을 통해 정확도를 높이고자 한다. 그러나 대다수의 데이터 셋 참가자는 건강한 젊은 성인으로 편향되어 있고 다양한 참가자 데이터를 얻을 수 없다는 한계를 지니고 있다.

표 2. 변수에 따른 참가자 특성 및 실험 조건

실험 변수	참가자 특성	실험 조건 및 환경
사전 녹음된 음성 지시에 따른 참가자의 감정 종류	<b>다양성:</b> 남성 13명, 여성 19명 연령 범위 18-38세 <b>선발 기준:</b> 명상에 숙련되지 않은 사람들	어두운 방에서 눈을 감고 앉은 상태, 사전 녹음된 음성 지시를 듣는 실험 환경
다양한 시각적 자극 (다양한 영화 클립)	<b>다양성:</b> x <b>선발 기준:</b> 정상적인 청력과 시력, 오른손잡이, 안정된 정신 상태를 가진 학생들	실험실 환경에서 감정 유발을 위한 영화 클립 시청
화면에 나타나는 다양한 점을 주시하여 시선 이동 유발	<b>다양성:</b> 18-80세, 여성 190명, 남성 166명 <b>선발 기준:</b> 건강한 성인	EEG와 Eye-tracking 기기를 동시에 사용
이미지의 조건(16,740개 이미지), 시행 횟수 (참가자별 82,160회)	<b>다양성:</b> 여성 8명, 남성 2명/평균 연령 28.5세 <b>선발 기준:</b> 건강한 성인	RSVP(rapid serial visual presentation) 패러다임을 사용한 자연 배경 상의 객체 이미지에 대한 EEG 반응
1분 동안 하얀 벽을 응시하고 미술 전시회 관람	<b>다양성:</b> 6세 이상의 미술관 방문객 <b>선발 기준:</b> x	미술관 내 모바일 EEG 기록

### 4.2 측정 지표

EEG 데이터 분석에 사용되는 측정 지표는 해당 연구의 목표와 깊이 연결되어 있으며, 이는 뇌의 전기적 활동을 통해 인간의 인지적 및 감정적 상태를 이해하는 데 도움을 준다. 표 4는 연구에서 사용한 측정 지표를 정리한 것이다. 측정 지표 선정에 따라 뇌 활동의 특정 패턴을 식별할 수 있고 인간의 인지 및 감정 상태에 대한 새로운 이해를 도출할 수 있다.

표 3. 선정된 데이터 셋 분석

데이터셋 (연도)	생체 신호	실험 방법론	참가자 수	분석 방법 (프로그램)
Imagined Emotion (2009)	EEG	감정 상상 및 반응 실험 : 참가자들은 감정 유발 음성 녹음을 듣고, 감정을 상상하여 손가락 압력 센서로 표현함.	31명	독립 성분 분석(ICA), 로그 스펙트럼 분해
SEED (2013) SEED-IV (2019) SEED-V (2021)	EEG, Eye-tracking	영화 클립을 통한 감정 반응 실험 : 참가자들은 감정을 유발하는 영화 클립을 시청하고, 시청 후 감정 상태를 설문지로 기록함. 정서 자극 물질 시청 : 통제된 환경에서 특정 정서 자극 물질에 대한 참가자의 반응을 여러 세션에 걸쳐 수집함.	15명 15명 20명	Differential Entropy (DE), SVM, kNN (MATLAB, Python, Jupyter Notebook)
HCI-Tagging (2012)	EEG, ECG, 호흡 진폭, 피부 온도	멀티모달 정서 반응 수집 : 비디오 시청 등의 다양한 정서 자극에 대한 참가자의 반응을 멀티모달 데이터로 수집함.	30명	Hidden Markov Models(HMM), Adaboost, SVM (Tobii Studio)
Regulation of Brain Cognitive States through Auditory, Gustatory, and Olfactory Stimulation with Wearable Monitoring (2023)	EEG, EDA, HR, BVP, Skin Temperature, PPG, 3-Axis Accelerometer Data	다감각 자극 N-back 작업 : 청각, 미각, 후각 자극을 받은 참가자들이 N-back 작업을 수행하며, 인지 반응을 측정함.	15명 13명	cxvEDA, 베이지안 필터링, 상태 공간 모델
PhyMER (2023)	EEG, EDA, HR, BVP, Skin Temperature	감정 인식 및 성격 정보 수집 : 감정 인식 작업 중에 수집된 생리적 신호와 성격 정보를 통해 감정 반응을 분석함.	30명	XGBoost, 다중 모달 데이터 분석 (MNE Python, EEGLab)
A large and rich EEG dataset for modeling human visual object recognition (2022)	EEG	고해상도 EEG 데이터 수집 : 자연 배경에 대한 반응으로 나타난 고해상도 EEG 데이터를 시각 인식 연구에 활용함.	10명	선형화 인코딩 모델, 제로샷 식별 (MATLAB)
Mobile EEG Recordings in an Art Museum Setting (2019)	EEG	미술관에서의 행동 및 인지 반응 연구 : 메릴 컬렉션 전시 관람 중의 참가자 뇌 반응을 통해 인지 및 운동 제어 연구를 진행함.	134명	PSD 분석, 데이터 기반 클러스터링

표 4. EEG 데이터 측정 지표 및 활용

측정 지표	활용
뇌파 주파수 대역	- 특정 인지적 또는 감정적 상태와 관련 - 알파파, 베타파, 세타파, 감마파 등으로 구분 - 인간의 뇌 활동과 관련된 다양한 상태 해석
이벤트 관련 전위(ERP)	- 특정 감각적, 인지적, 운동적 사건에 대한 뇌의 전기적 반응 - 특정 자극에 반응하는 뇌 반응을 ms 단위로 파악
각성도(Arousal)	- 감정 상태 평가 시 사용
정서적 가치(Valence)	- 경험의 긍정성 또는 부정성 제시 - 감정 반응을 정량화하여 뇌파 데이터와의 상관관계 분석
인지적 부하 (Cognitive Load)	- 과제 수행 중 뇌 활동의 정도 - 난이도나 요구 사항에 따른 변화 - 인지적 요구 수준을 평가하는 데 사용
뇌 반응 동기화 (Brain Synchronization)	- 특정 인지적, 감정적 과제 수행 시 뇌 영역 간의 연결성과 정보 교환 반영 - 뇌 영역 간의 동기화 패턴을 분석하여 집중, 기억력과 같은 뇌 기능의 다양한 측면을 탐구 정리

4.3 분석 방법 및 프로그램

알고리즘의 선정은 건축학 분야에서 사용자 감정 상태의 정확도를 높이기 위해 중요한 역할을 한다. 특히, 건축 환경과 사용자 감정과의 상호작용을 정량화하려는 연구 목적에 부합하는 알고리즘을 선정하는 것이 필수적이다. 데이터 셋의 주요 알고리즘 및 라이브러리를 정리한 표 5는 각 연구의 목적에 따라 정확도를 높이기 위해 선정됐다. 이는 각기 다른 기능과 역할을 수행하며, 측정 목적, 기기 등에 의해 결정된다. 이 외에 추가적 알고리즘을 통해 부족한 점을 보완하며 해당 데이터 셋의 정확도를 높이고 있다. 표 6과 같이 분석 단계에 따른 프로그램 선정은 단계별로 필요한 기능 및 역할에 의해 선정된다. 각 실험 과정에서 노이즈와 같은 여러 한계점이 측정 결과값에 영향을 미치고, 분석 단계에서 순차적으로 극복하고자 하는 시도가 진행된다. 이는 연구의 효율성과 정확성을 극대화하는 데 주요한 역할을 한다.

이러한 알고리즘과 프로그램의 선택은 정교한 데이터 분석을 위해 진행된다. 정확도의 향상은 건축 설계 과정에서 사용자의 감정 반응을 더 잘 이해하고 예측하는 데 기여할 것이다.

표 5. 데이터 셋 분석에 사용된 주요 알고리즘

기능	알고리즘 / 라이브러리	선정 이유	장점
감정 상태 및 신호 인식	Differential Entropy (DE) (2013)	전통적인 ES보다 감정 인식에 더 효과적	높은 분류 정확도 (감마 주파수 대역)
	cxvEDA (2023)	신경 생리학적 프로세스의 깊은 분석	정교한 신호 분석 후 상세한 인사이트 제공
분류 및 패턴 식별	SVM (Support Vector Machine) (2012)	복잡한 데이터의 패턴 식별에 효과적	정교한 신호 분석 후 상세한 인사이트 제공
	Adaboost (2012)	약한 학습기 여러 개 결합하여 강력한 학습기 생성	시선 패턴과 감정 상태의 연관성 파악
시계열 데이터 및 신호 분석	HMM (Hidden Markov Models) (2012)	감정의 변화 시계열 데이터로 포착	시간에 따른 표현 변화 모델링
	PSD (Power Spectral Density) (2013/2019)	뇌 활동과 관련 주파수 패턴 파악	뇌의 다양한 상태 구별 유용
	독립 성분 분석(ICA) (2009)	데이터의 신호와 노이즈 구분	데이터 분석 정확성 향상
모델링 및 예측	인코딩 모델, 제로샷 식별 (2022)	미지의 상황에 대한 인식 능력 평가	미지의 데이터 정확히 인식
	XGBoost (2023)	높은 정확도와 효율성을 위한 알고리즘	빠른 실행 속도, 확장성, 과적합 방지

표 6. 분석 단계에 따른 사용 프로그램

분석 단계	사용된 프로그램	기능 및 역할
데이터 전처리	Python, MATLAB	노이즈 제거, 데이터 정규화, 필터링
특성 추출	EEGLAB, Python	뇌파 신호에서 유의미한 특성 추출
분류 알고리즘	TensorFlow, PyTorch	뇌파 데이터를 바탕으로 감정 상태 분류
결과 해석	MATLAB, Jupyter Notebook	데이터 시각화, 통계적 분석, 결과 해석

5. 결론

본 연구는 건축학 분야에 적합한 EEG 데이터 셋 구축의 체계적인 프로세스를 제시하여, 사용자 중심의 감성 건축 설계를 위한 과학적 기반을 마련하는데 그 의의가 있다. 기존 데이터 셋 구축 과정에 대한 분석을 통해 EEG 데이터 셋 구축을 위해서는 연구 목적의 명확화, 실험 환경과 변수 설정, 참가자 선정, 데이터 정확도 향상, 그리고 적절한 알고리즘 및

소프트웨어 선택이 핵심 요소로 확인되었다.

그림 2에서 볼 수 있듯이, 데이터 셋 구축은 명확한 목표 설정으로 시작하여, 실험 환경을 조성하고 변수를 세밀하게 설정한다. 건축학의 특성에 맞춰 내부 및 외부 환경 요소부터 개폐성, 파사드, 환경 등의 변수 선정 후 일관된 실험 조건을 마련한다. 해당 변수 외의 것이 일관성을 유지하고 집중할 수 있는 환경을 조성하면 데이터 셋을 구축이 가능하다. 참가자는 연구의 목표와 기간에 따라 선정된다.

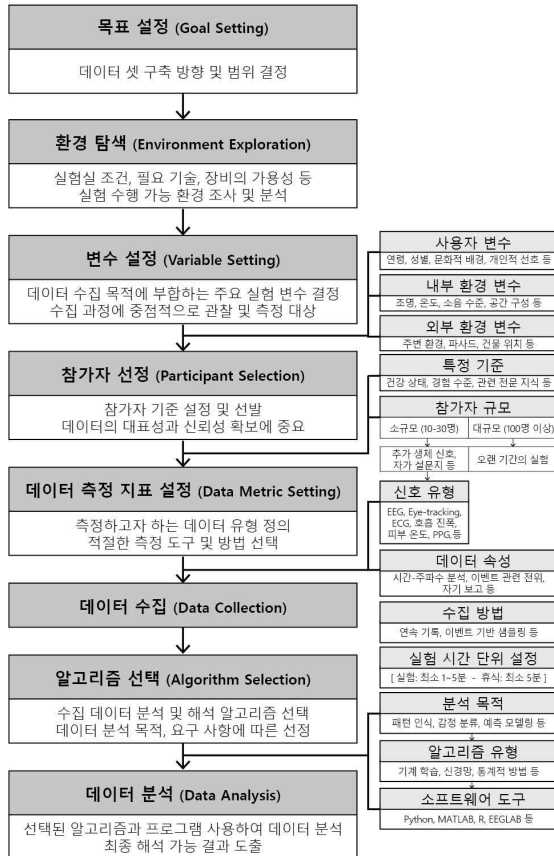


그림 2 . EEG 데이터 셋 구축을 위한 프로세스

해당 연구의 신뢰성과 대표성을 확보하기 위해 제한된 참가자 수는 추가적인 생체 신호 데이터나 자가 설문지로 보완하여 데이터의 정확성을 향상시킨다. 데이터 수집 후, 연구자는 수집된 데이터의 유형과 분석 목표에 따라 최적의 알고리즘과 분석 도구를 선정한다. 기술의 발전은 알고리즘의 선택에 범위를 넓히며 분석의 정확성을 결정짓는다. 프로그램의 경우 분석 단계별 기능과 역할이 상이하기 때문에 각 상황에 맞춰 선정하여 사용하는 것도 중요하다. 구축된 프로세스는 생체 데이터 분석을 통해 인간의 감정을 해석하고자 하는 실험 연구를 계획하고 진행하는데 기여할 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Bullinger, H.-J., Bauer, W., Wenzel, G., & Blach, R. (2010). Towards user centred design (UCD) in architecture based on immersive virtual environments. *Computers in Industry*, 61(4), 372-379.

2. Chang, S., Dong, W., & Jun, H. (2020). Use of electroencephalogram and long short-term memory networks to recognize design preferences of users toward architectural design alternatives. *Journal of Computational Design and Engineering*, 7(5), 551-562.

3. Chang, S., & Jun, H. (2019). Hybrid deep-learning model to recognise emotional responses of users towards architectural design alternatives. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 18(5), 381-391.

4. Cho, M. E., & Kim, M. J. (2017). Measurement of User Emotion and Experience in Interaction with Space. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 16(1), 99-106.

5. Cruz-Garza, J. G., Brantley, J. A., Nakagome, S., Kontson, K., Meghani, M., Robledo, D., & Contreras-Vidal, J. L. (2017). Deployment of Mobile EEG Technology in an Art Museum Setting: Evaluation of Signal Quality and Usability. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11.

6. Kang, S., Yeul, J. S., & Jun, H. (2023). EEG-Based Emotional Lighting Control for Improving User Concentration in Spatial Design. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 39(3), 13-22.

7. Kanjo, E., Al-Husain, L., & Chamberlain, A. (2015). Emotions in context: Examining pervasive affective sensing systems, applications, and analyses. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(7), 1197-1212.

8. Liu, W., Qiu, J.-L., Zheng, W.-L., & Lu, B.-L. (2022). Comparing Recognition Performance and Robustness of Multimodal Deep Learning Models for Multimodal Emotion Recognition. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 14(2), 715-729.

9. Onton, J., & Makeig, S. (2009). High-frequency Broadband Modulations of Electroencephalographic Spectra. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 61

10. Pant, S., Yang, H.-J., Lim, E., Kim, S.-H., & Yoo, S.-B. (n.d.). PhyMER: Physiological Dataset for Multimodal Emotion Recognition With Personality as a Context | *IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore*. Retrieved March 4, 2024

11. Shemesh, A., Leisman, G., Bar, M., & Grobman, Y. J. (2021). A neurocognitive study of the emotional impact of geometrical criteria of architectural space. *Architectural Science Review*, 64(4), 394-407.

12. Soleymani, M., Lichtenauer, J., Pun, T., & Pantic, M. (n.d.). A Multimodal Database for Affect Recognition and Implicit Tagging | *IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore*. Retrieved March 4, 2024