

몰입형 VR 환경의 조도 및 색온도 수준에 따른 생리적 반응 연구

구 나 언¹ · 박 수 진^{2*}¹인제대학교 U디자인학과 석사 과정²인제대학교 멀티미디어학부 교수

Physiological Responses to Levels of Illuminance and Color Temperature in Immersive Virtual Reality Environment

Na-Eon Koo¹ · Soo-Jin Park^{2*}¹Master's Course, Department of U-Design, Inje University, Gimhae 50834, Korea²Professor, Division of Multimedia Design, Inje University, Gimhae 50834, Korea

[요 약]

VR 기술이 정신건강 관련 분야에서 그 효과를 지속적으로 입증하고 있으며, 몰입형 VR 콘텐츠의 활용은 정신질환 치료와 관리에 혁신적인 도구로 부상하고 있다. 이러한 목적의 몰입형 VR 콘텐츠 개발 시에는 사용자에게 긍정적인 영향을 주는 환경 설계가 필수적이며, 이를 위해서는 VR에 생성된 환경이 사용자의 생리적 반응에 미치는 영향에 대해서 살펴볼 필요가 있다. 이에 본 연구는 VR의 시각적 환경 자극 중에서 조도와 색온도 조건을 중심으로, 몰입형 VR 공간을 경험하는 연구 대상자의 심박변이도를 측정하는 실험을 수행하고 그 결과를 통계 분석하였다. 분석 결과, 조도 조건에 따라서는 조도가 높을수록 비교적 안정 상태를 보였으며, 색온도 조건 간의 비교에서는 중간 색온도(5500 K) 환경에서 가장 안정 상태를, 낮은 색온도(2200 K) 환경에서 가장 불안정한 상태를 나타냈다. 이러한 결과는 몰입형 VR 환경에서 조명 조건에 따라 사용자의 생리적 반응에 유의한 차이가 있음을 의미하며, 몰입형 VR 콘텐츠 개발 시 고려해야 할 요소임을 시사한다.

[Abstract]

Virtual reality (VR) technology continues to demonstrate its effectiveness in mental health, moreover, the use of immersive VR content is emerging as an innovative tool for the treatment and management of mental illnesses. Designing an environment that positively impacts users is crucial when developing such content, requiring an examination of how VR environments affect physiological responses. This study measured heart rate variability in participants within an immersive VR space, focusing on different levels of illuminance and color temperature. Statistical analysis revealed that higher illuminance levels were associated with more stable physiological states. Among color temperatures, the medium (5500 K) condition yielded the most stable state, while the low (2200 K) condition resulted in the most unstable state. These results indicate significant differences in physiological responses based on lighting conditions in immersive VR, underscoring the need to consider these factors in developing immersive VR content.

색인어 : 몰입형 가상현실 콘텐츠, 헤드 마운티드 디스플레이, 조도, 색온도, 심박변이도**Keyword** : Immersive VR Content, Head-Mounted Display, Illuminance, Color Temperature, Heart Rate Variability<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.9.2411>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 06 August 2024; Revised 06 September 2024

Accepted 11 September 2024

*Corresponding Author, Soo-Jin Park

Tel: 
E-mail: desjpark@inje.ac.kr

1. 서론

가상현실(VR; Virtual Reality) 기술은 현대 사회의 다양한 분야에 깊숙이 침투하여 우리의 일상생활과 경험의 방식을 혁신적으로 변화시키고 있다. VR 기술의 발전과 더불어 흔히 VR 헤드셋으로 불리는 헤드 마운티드 디스플레이(HMD; Head-Mounted Display)의 대중화로 몰입형 VR 콘텐츠가 양산되고 있으며, 특히 정신건강 관련 분야에서 몰입형 VR 콘텐츠의 활용이 큰 주목을 받고 있다[1]. VR 기반의 치료는 가상의 공간에 몰입하는 경험을 활용한 혁신적인 정신건강 관리 방법으로 자리 잡아가고 있으며, 실질적인 효능에 대해서 꾸준히 증명해 나가고 있다.

정신건강 관련 전문가들은 VR 기술을 상담이나 치료에 접목하였을 때 다양한 정신질환 문제 해결에 긍정적인 효과를 발휘한다고 평가한다[2]. 그러나 동시에, 현재까지는 주로 개인의 주관적 평가에 의존하고 있어, VR의 객관적인 영향에 대한 명확한 인과 관계를 규명하는 데이터가 부족하다는 점을 지적하고 있다[2].

현실의 환경 자극은 인간의 심리적, 행동적, 생리적 반응에 영향을 미치고, 안정과 이완 또는 불안과 긴장 등의 상태를 나타낸다는 것을 많은 연구를 통해 밝혀 왔다. 인간의 주요 감각 대부분을 활용하여 경험하는 몰입형 VR의 환경 자극 또한 인간에게 유의한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이에 정신질환 치료, 스트레스 완화 등을 목적으로 하는 몰입형 VR 콘텐츠 개발 시에는 사용자에게 안전한 환경을 제공하기 위해 VR의 환경 자극에 대한 객관적인 데이터가 필요하다. 하지만, 몰입형 VR 콘텐츠 개발을 위해서 가상현실의 환경 자극에 초점을 맞춘 연구는 충분히 이루어지지 않고 있다.

국내 정신건강 개선 및 치료와 관련된 몰입형 VR 콘텐츠 관련 최근 연구를 살펴본 결과, 정신건강 개선 및 관리 [3]-[5], 재활[6], 훈련[7] 등 다양한 주제로 연구가 이루어지고 있었지만, 주로 문제 개선 및 치료를 위한 과제 수행이나 인터랙션 효과 검증 중심의 연구였으며, VR에 생성된 환경에 관한 연구는 거의 부재하였다.

따라서 VR의 환경 자극에 초점을 둔 연구를 수행하여 VR의 환경 자극이 사용자에게 심리적, 행동적, 생리적으로 어떠한 영향을 주는지, 그렇다면 현실에서 검증된 내용과 동일하게 적용되는지, 차이가 있는지를 검증할 필요가 있다. 이를 살펴보는 것은 몰입형 VR 콘텐츠의 활용 목적에 따른 효과적인 환경 설계를 위한 기초자료로써 기여하는 바가 있을 것이다.

이에 본 연구는 다양한 VR 환경 자극 중 특정 요인을 선정하고, 그 요인에 따른 생리적 반응을 파악하여, 향후 사용자의 안정감에 기여하는 몰입형 VR 콘텐츠 개발에 실무적 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

많은 요소를 한 번에 탐구하기에는 현실적인 제약이 있어, 연구의 범위와 측정 도구를 다음과 같이 설정하였다. 우선, VR 장비를 통해 경험할 수 있는 시각, 청각, 촉각 등의 감각

중에서 가장 지배적인 ‘시각적 환경 자극’으로 범위를 좁혔다. 다음으로, VR에서 고려할 수 있는 밝기, 색온도, 배경 및 물체의 색상, 질감 등의 시각적 환경 자극 요소 중에서 ‘조명 환경’을 중심으로 범위를 한층 더 좁혔다. 현실에서 조명 조건은 인간의 집중도와 이완도[8], 학습 효과[9], 감성 반응[10] 등에 영향을 미치는 것으로 파악되는 주요 환경 자극 중 하나이기 때문에 VR에서 그 영향을 확인해 보는 것에 의의가 있다고 사료된다. 마지막으로, 조명 환경 자극에 대한 선행 연구 고찰을 통해 본 연구에서 집중적으로 확인하고자 하는 요인을 조도와 색온도로 선정하였다.

VR의 공간적 범위는 실내 공간으로 한정하고, 경험의 실제감과 안정감을 도모하기 위해 현실의 익숙하고, 보편적인 심리 상담 공간 사례를 선정하여 가상현실에 재현하였다.

VR 경험 시에 사용자에게 미치는 영향, 즉 안정, 이완 또는 불안, 긴장의 상태를 파악하기 위한 평가 방법에는 생리적 평가를 채택하였다. 주관적 평가는 개인의 의견이나 감정에 의존하는 반면, 생리적 평가는 신체의 직접적인 반응을 측정하기 때문에 자극과 반응 간의 관계를 객관적으로 파악할 수 있다. 생리적 평가에 활용되는 생체 신호는 뇌파, 심전도, 심박변이도, 근전도 등이 있으며, 본 연구의 생리적 반응 평가에는 심박변이도 측정을 채택하였다. 심박변이도 자료를 통해 자율신경계의 기능을 평가하여 긴장과 이완 상태를 확인할 수 있으며, 스트레스 수준과 건강 상태를 파악할 수 있다[11].

연구 범위와 측정 도구에 따라, 본 연구에서는 HMD를 착용하고 VR 환경을 경험하는 연구 대상자의 심박변이도를 측정하는 실험을 수행하고, 그 결과를 통계 분석하였다. 이를 통해, VR 환경에서 조도와 색온도가 사용자의 생리적 반응에 미치는 영향을 객관적으로 파악하고자 하였다.

본 고의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ‘몰입형 VR 콘텐츠’와 ‘조명 환경’ 그리고 ‘심박변이도’에 대해 고찰한다. 3장은 본 연구의 실험 설계에 대한 내용으로, 피험자 구성과 실험 자극물 제작 방법, 실험 장비, 실험 환경, 실험 절차를 상세히 기술한다. 4장은 3장에서 설계한 실험을 통해 도출된 심박변이도 자료의 통계 처리 결과를 제시하고, 몰입형 VR 경험 시 조도 및 색온도의 수준에 따라 생리적 반응에 유의한 차이가 있는지 분석하여 5장에서 결론을 맺는다. 연구의 전체적인 흐름은 그림 1과 같다.

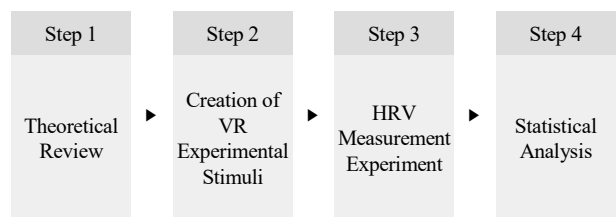


그림 1. 연구 흐름도
Fig. 1. Research process diagram

II. 이론적 배경

2-1 몰입형 VR 콘텐츠

1) 가상현실(VR; Virtual Reality)

가상현실은 현실 세계와의 분리를 통해 완전한 디지털 환경을 조성하는 기술로, 현실과 유사한 환경이나 상황을 가상으로 구현하여 사용자가 마치 현실에서 경험하는 것처럼 인간의 다양한 감각을 감지하고 상호작용을 할 수 있다[12]. 보통 이를 위해 머리에 착용하는 HMD를 활용한다.

2) 헤드 마운트 디스플레이(HMD; Head-Mounted Display)

HMD는 디스플레이에 입체화면을 제공하며 동시에 사용자의 시선을 빠르게 감지하여 실시간으로 가상현실에 반영하는 장치이다[13]. HMD는 몰입형 VR 콘텐츠 경험을 위한 핵심 장비 중 하나로, 사용자의 시야 전체를 가상 화면으로 채운 360도 시각적 경험을 제공하여 가상현실에 완전히 몰입할 수 있도록 지원한다.

국내 HMD 관련 연구 경향에 대해 살펴본 연구[14]에 따르면, HMD의 기술적 요소에 대한 연구, HMD 사용 효과와 영향에 관한 연구, HMD 활용 콘텐츠 개발 및 적용과 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있다. HMD를 활용한 몰입형 콘텐츠 개발에 관한 연구 내용들을 살펴보면, 치료, 교육, 훈련 등을 목적으로 한 연구가 주를 이뤘으며, 이 중 치료와 관련된 연구에서는 우울, 불안 등 심리적 문제와 비전 테라피, 신체 문제와 관련된 연구들이 골고루 수행되고 있는 것이 특징이었다.

3) 몰입형 VR 콘텐츠 활용 현황

Oculus, HTC Vive, PlayStation VR 등 대중적인 VR 장비를 활용해 경험할 수 있는 몰입형 VR 환경은 VR 헤드셋의 디스플레이를 통해 현실감 있는 시각적 경험을 할 수 있고, 360도 시야로 사용자가 모든 방향을 볼 수 있다. 그 외 3D 오디오 방식으로 사용자가 소리의 방향과 거리를 인식할 수 있으며, 컨트롤러를 통해 가상현실에서 상호작용을 할 수 있다. 또한, 가상 공간 내에서 자유롭게 이동도 가능하다. 이처럼 몰입형 VR은 사용자와 사용 목적에 최적화된 환경을 쉽게 조절할 수 있는 장점을 가지고 있어 맞춤형 콘텐츠 제작에 특히 유리하다. 이를 활용하는 대표적인 분야와 관련 콘텐츠 예시를 표 1과 같이 정리하였다.

표 1. VR 콘텐츠 적용 분야와 종류

Table 1. Applications and types of VR content

| Field | Types of VR Content |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Education & Training | Pilot training simulator, Medical education, Virtual tours of historical site |
| Healthcare | Mental health therapy, Rehabilitation program |
| Entertainment | Game, Virtual theme park, Movie |
| Architecture & Design | Building simulation, Interior design |
| Social Interaction | Virtual meeting, Social VR platform |

최근 가상현실치료(VRT; Virtual Reality Therapy)가 정신건강 관리에서 점점 더 인기를 얻고 있으며, 적절한 콘텐츠를 적용하면 다양한 정신건강 문제에 대해 효과적인 치료를 제공할 수 있다고 평가받고 있다[1]. 몰입형 VR 콘텐츠를 활용한 상담 및 치료의 일반적인 메커니즘은 내담자가 VR 헤드셋을 착용하고 VR에 몰입하면 치료사가 환경을 제어하는 형태, 또는 오디오와 컨트롤러를 통해 가상 아바타 또는 다른 VR 접속자와 상호작용을 하는 형태로 상담 또는 치료가 이뤄진다[2]. 가상공간 속 환경과 자극 요소를 큰 제약 없이 자유롭게 조정할 수 있다는 점이 기존의 전통적 치료법과는 또 다른 치료적 이점을 제공한다고 볼 수 있다[15]. 반면에, 일부 전문가들은 VR 기반 치료에 올바른 콘텐츠를 적용할 때는 그 효과가 매우 강력하지만, 콘텐츠 자체가 부적절하면 부작용이나 실망스러운 결과를 초래할 수 있다고 말하며, VR을 치료에 적용하려면 전통적인 방식의 치료와 마찬가지로 엄격한 테스트를 거치는 것이 중요하다고 강조한다[16]. 이는 사용자에게 영향을 줄 수 있는 VR의 다양한 감각의 환경 자극을 충분히 고려할 필요가 있음을 시사한다.

2-2 조명 환경

조명 환경에 대한 이론적 고찰에서는 현실에서 검증된 결과가 VR 환경에서도 동일하게 적용되는지 검증하기 위해, 현실에서 이루어진 조명 환경 관련 선행 연구를 위주로 고찰하였다.

1) 조도와 색온도

기존의 조명 환경 연구에서는 조도와 색온도를 함께 다루는 연구가 주를 이루었는데, 각각 개별적으로 고려하는 것만으로는 조명의 효과를 완전히 이해할 수 없고, 함께 분석해야만 조명의 다각적 영향을 충분히 평가할 수 있기 때문인 것으로 보인다.

조도(Illumination)란 어떤 표면이 받는 빛의 양을 의미하는 물리적 개념이다. 즉, 조도는 특정 표면이 얼마나 밝은지를 나타내는 측정값으로, 조도의 단위는 렉스(lux, lx)를 사용한다.

색온도(Color Temperature)는 광원에서 발산되는 빛의 색상을 측정하는 기준으로 사용되는 개념이다. 색온도의 단위는 켈빈(Kelvin, K)이며, 색온도 값이 낮을수록 따뜻한 색을 띠고, 높을수록 차가운 색을 띤다.

2) 조명 환경에 대한 선행 연구

조도와 색온도에 따른 인간의 심리 반응에 대하여 실험을 통해 살펴본 기존 연구에서는 심리적으로 편안하고 안정감이 드는 최소 조도는 40 lx 이상이며, 100 lx 이상의 조도에서 매우 편안하고 안정감을 나타내고, 20 lx 이하의 저조도에서 불안감과 긴장감이 고조되는 것을 확인하였다[17].

스트레스 정도에 따라 색온도와 조도 제어가 인체에 미치

는 영향을 살펴본 연구에서는 색온도 3000 K와 조도 300 lx의 조명 환경은 모든 스트레스 집단이 가장 이완, 안정할 수 있는 조명 환경임을 확인하였으며, 색온도 6000 K는 저 스트레스 집단이 이완, 안정 상태를 보였고, 조도가 100 lx일 때 가장 이완, 안정함을 확인하였다. 반면, 색온도가 높은 환경일수록 고 스트레스 집단이 긴장, 각성함을 확인하였다[18].

폐쇄적 공간에서의 네 가지 수준의 색온도에 따른 영향을 탐구한 선행 연구에서는 3000 K의 색온도를 제시하였을 때 심전도 반응과 주관적 평가에서 가장 안정을 유발하는 것을 확인하였고, 높은 색온도인 12000 K가 가장 긴장감을 유발하는 것을 확인하였다[19].

조도 분포, 색온도 및 조도 수준이 긍정적 및 부정적 분위기에 미치는 영향에 관한 연구에서는 색온도 2700 K의 환경에서 피험자들이 압박감과 스트레스가 완화됨을 피험자들의 주관적 평가로 검증하였다[20].

조명의 조건에 따른 EEG 반응을 실험한 선행 연구에서는 색온도 6000 K의 조명이 3000 K의 조명보다 흥분, 스트레스, 관심과 집중에 높은 평가를 나타냄에 따라, 치유환경을 위해서는 3000 K 조명이 더 적절함을 확인하였다[21].

LED 조명의 조도와 색온도가 사용자의 인지 및 HRV에 미치는 영향을 확인한 선행 연구에서는 세 가지 조도 수준(50 lx, 150 lx, 300 lx)과 세 가지 색온도(2000 K, 3800 K, 5600 K)를 활용한 평가를 통해, 휴식을 목적으로 설계된 실내 조명 환경은 사용자의 심리적 안정감과 HRV 안정성을 높이기 위해 최소 150 lx의 조도 수준과 3800 K의 색온도를 권장하였다[22].

VR 환경에서 조도 수준별 길 찾기 과제 수행에 미치는 영향을 탐구한 연구에서는 저조도일수록 가상환경에 대한 공간적 평가가 부정적이고, 고조도일수록 긍정적임을 확인하였다[23].

조명 환경에 대한 선행 연구 고찰 결과, 실제 환경에서 조도와 색온도를 비롯한 조명의 조건에 따라 사용자의 정서적 또는 생리적 반응에 유의한 영향이 있음을 확인하였다. 또한, 스트레스 상태나 긴장, 불안 상태에는 이완, 안정을 위해 실내 공간에 적절한 조명 연출이 도움이 됨을 확인할 수 있었다. 이로써 VR 환경에도 조도와 색온도의 여러 가지 수준을 적용해 보고 사용자의 생리적 반응을 살펴볼 필요성을 확인하였다.

2-3 심박변이도(HRV: Heart Rate Variability)

1) 심박변이도에 대한 고찰

생리적 반응을 평가하는 것은 주관적 경험과는 달리 심박수, 혈압, 뇌파, 피부 전도도와 같이 측정할 수 있는 객관적인 데이터를 제공하기 때문에 실험 결과의 신뢰성을 높일 수 있다. 본 연구에서 활용하는 심박변이도 분석은 비침습적인 방법으로, 사용자에게 불편함이나 위험을 주지 않고 자율신경계 기능을 평가할 수 있다. 자율신경계 활동을 평가하는 데 있어 미세한 변화도 감지할 수 있는 민감한 측정 방법의 하나이다. 심박변이도는 교감신경과 부교감신경 사이의 상호작용을 받

영하므로, 자율신경계 활동에 대한 정보를 제공한다[24].

일반적으로 교감신경계는 공격, 방어적인 스트레스 상황에서 주로 활성도가 높아지며, 부교감신경계는 편안하고 이완된 상태에서 활성도가 높아진다[11]. 초기 스트레스 상태에는 교감신경 활성이 우선 높아지게 되며, 높은 교감신경의 활성이 심박박동 증가, 혈류량 증가, 땀 분비 등을 유발한다. 반면에 편안한 신체 이완 상태에는 부교감신경 활성도가 증가하여 심박동 수 및 혈압 감소 등이 유발된다[24].

2) 심박변이도 분석 방법

심박변이도 분석 시에는 심박수 변동의 다양한 특성과 패턴을 포착할 수 있는 ‘시간 영역 분석(Time domain analysis)’ 방법과 ‘주파수 영역 분석(Frequency domain analysis)’ 방법을 활용한다[25]. 분석 방법에 따라 활용하는 지표의 종류는 표 2와 같다.

표 2. 심박변이도 분석 방법

Table 2. HRV analysis methods

| Method | Time Domain Analysis | Frequency Domain Analysis |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Concept | Statistical processing of the variability of R-R intervals during the recording period | Analyzing the variability of R-R intervals by separating it into frequency bands and analyzing each waveform |
| Analysis Indicator | Mean HRT, SDNN, RMSSD | TP, VLF, LF, HF, norm HF, norm LF, LF/HF ratio |

본 연구에는 심박변이도 분석 시 5분 내외의 단기 측정에 권장되는 주파수 영역 분석 방법[25],[26]을 활용하여 결과값을 해석하였다. 주파수 영역 분석 방법의 분석 지표 종류와 개념은 표 3과 같다.

표 3. 심박변이도 주파수 영역 분석 지표

Table 3. Indicators of frequency domain analysis for HRV

| Analysis Indicator | Concept | Frequency Band |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| LF | Sympathetic nervous system activity | Low frequency band (0.04-0.15 Hz) |
| HF | Parasympathetic nervous system activity | High frequency band (0.15-0.4 Hz) |
| LF/HF | Ratio of sympathetic to parasympathetic nervous system activity | - |

주파수 영역 분석 지표 중 LF(Low Frequency)는 교감신경의 활성도를 나타내고, 신체적, 정신적 긴장을 의미한다. HF(High Frequency)는 부교감 신경의 활성도를 나타내며, 부교감신경의 활성도의 증가는 곧 신체적, 정신적으로 이완을 의미한다. LF/HF ratio는 교감신경과 부교감신경의 비율을 나타내며, 측정값이 낮을수록 상태의 이완을 의미한다[25].

III. 연구 방법

본 연구에서는 몰입형 VR 공간의 조명 환경에 따른 심박변이도 반응을 탐구하기 위한 연구 방법으로 연구 대상이 VR 헤드셋을 착용하고 공간을 경험하는 동안 맥파계를 통해 심박변이도를 측정하는 실험을 수행하고 그 결과를 통계 분석하였다.

3-1 실험 설계

1) 연구 대상자

피험자 구성은 만 19~39세의 성인 남녀 30명(남자 13명, 여자 17명)으로, 평균 연령은 26.7세이다. 해당 연령층은 비교적 기기 활용 능력이 높고, 가상현실에 대한 이해도가 높은 편이므로 본 실험에 참여하기에 가장 적합한 대상이라고 판단하여 청년층을 대상으로 선정하고 실험을 수행하였다.

연구자는 손가락에 착용하는 비침습적 방식의 심박변이도 측정 장비와 수집하는 데이터의 특성을 고려하여 사전에 피험자의 손가락 부상 및 네일아트 유무와 자율신경계 이상 질환의 유무, 색각 이상 여부를 확인하였다. 피험자는 모두 자발적으로 실험에 참여하였으며, VR 헤드셋 착용 경험이 1회 이상(평균 1.4회)으로 대부분 일회성 체험이었으나 장비 착용에 대한 거부감이 없었다.

실험은 피험자 1인을 대상으로 1회씩 수행되었다. 실험 참가 전에 피험자에게 평소와 같은 컨디션 유지를 당부하였으며, 실험 목적과 과정을 숙지할 수 있도록 안내문을 전달하였다. 실험 당일에는 피험자에게 측정 중 말하기, 하품, 심호흡 등 자율신경에 영향을 줄 수 있는 움직임이나 신체 반응에 대한 유의 사항을 재차 안내한 후 실험을 시작하였다.

2) 실험 자극물

• 실험 자극물 제작 방법

본 연구의 실험 자극물로 활용된 VR 공간은 'Unity' 게임 엔진과 'Sketch up' 3D 모델링 프로그램을 활용하여 제작하였다. 먼저, 'Sketch up' 3D 모델링 프로그램을 활용하여 구조를 제작한 후, 'Unity' 게임 엔진으로 불러와 재질 및 조명 환경을 적용하였다. 본 연구에서 확인하고자 하는 조도와 색온도 조건은 'Unity' 게임 엔진의 렌더 파이프라인을 활용하여 실험을 위해 선정된 물리적 광원 단위 그대로의 값을 Lighting 환경 설정에 적용하였다. 환경 설정이 완료된 실험 자극물을 VR 헤드셋에 연동시켜 피험자가 일인칭 시점으로 가상공간을 경험할 수 있도록 하였다.

• 실험 자극물 연출

실험 자극물은 본 연구의 궁극적인 목표에 부합하는 '심리상담 공간'을 연출하였으며, 구체적이고 실재감 있게 구현하

기 위해 2023년에 서울시에서 개발하여 운영 중인 서울형 상담공간 '마음정원'의 실내 계획을 참고하였다. '마음정원'은 서울시에서 수행하는 '스트레스 해소 디자인' 사업의 일환으로 개발된 상담공간 가이드이다[27]. 상담공간에 대한 가이드가 부재한 국내 여건을 고려하여 국내외 관련 선행 연구 및 해외 우수 사례를 바탕으로 사용자가 생리적·심리적으로 이완되고 개방될 수 있는 물리적 환경 조건에 대해 상세히 제안한다. 그림2는 '마음정원' 가이드에 따라 실제 운영 중인 '서울청년센터 강서오랑'의 상담실 내부 모습이다.



그림 2. '마음정원' 가이드가 적용된 상담실
Fig. 2. Counseling room with the 'Mind Garden' guide applied

실험 자극물의 공간 크기는 '마음정원' 가이드북에 제안된 5평형 상담실을 참고하여 4,800×3,600×2,700 mm로 제작하였으며, 이는 HMD 착용 시에 일인칭 시점으로 실제 공간 크기와 거의 동일한 경험이 가능하다.




확인하고자 하는 요인 외에 공간을 구성하는 벽, 바닥, 천장 그리고 가구와 소품의 색상은 모두 무채색 계열 또는 우드 톤의 재질을 적용하였다.

VR 경험의 실재감을 높이기 위해 모든 실험 자극물에 그림자를 적용하고, 전반 조명과 국부 조명을 함께 연출하였다. 국부 조명은 모든 실험 자극물에 동일한 광속값(300 lm)을 적용하였으며, 실험 자극물 각각의 색온도 조건과 같은 값으로 설정하였다. 피험자의 시각 피로도와 시력 보호를 고려하여 모든 조명은 현실에서 권장되는 적정 범위의 값을 적용하였다.

조도 조건은 'Unity' 공식 홈페이지에서 제공하는 조명 설정 매뉴얼[28]과 건물 내 권장 조명 수준[29]을 참고하여 실험에 사용할 조도값을 선정하였다. 고조도 수준의 경우, 작업을 위한 공간에 권장되는 수치로 500~750 lx가 권장되었으며, 일반적인 활동 공간은 200~300 lx, 가장 어렵게 유지되는 공간은 50 lx 이하가 권장되었다. 이에 본 실험에서는 조도 조건을 30 lx, 300 lx, 500 lx 세 가지 수준으로 선정하였으며, 본 연구에서는 각각 저조도, 중조도, 고조도 환경으로 명명한다. 조도 수준에 따른 실험 자극물의 구성은 표 4와 같다.

표 4. 조도에 따른 VR 실험 자극물




Table 4. VR experimental stimuli by illuminance

| Classification | Low Illuminance | Medium Illuminance | High Illuminance |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Level | 30 lx | 300 lx | 500 lx |
| Scene |  |  |  |
| Control Variable | - Materials: Grayscale, Wood - Neutral Color Temperature(5500 K) | | |

색온도 조건은 Warm, Neutral, Cool 색상을 대표하는 세 가지 수준의 색온도 값 2200 K, 5500 K, 9000 K로 선정하였다. 색온도 값을 적용한 다른 실험 자극물의 구성은 표 5와 같다.

표 5. 색온도에 따른 VR 실험 자극물

Table 5. VR experimental stimuli by color temperature

| Classification | Low Color Temperature (Warm Color Temperature) | Medium Color Temperature (Neutral Color Temperature) | High Color Temperature (Cool Color Temperature) |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Level | 2200 K | 5500 K | 9000 K |
| Scene |  |  |  |
| Control Variable | - Materials: Grayscale, Wood - Medium Illuminance(300 lx) | | |

실험 자극물은 총 다섯 가지이며, 구성은 표 6과 같다.

표 6. 실험 자극물 구성

Table 6. Experimental stimuli composition

| No. | VR Scene Name | Independent Variable | |
|-----|-----------------------------------------------|----------------------|-------------|
| | | Color Temperature | Illuminance |
| 1 | Neutral Color Temperature /Low Illuminance | 5500 K | 30 lx |
| 2 | Warm Color Temperature /Medium Illuminance | 2200 K | 300 lx |
| 3 | Neutral Color Temperature /Medium Illuminance | 5500 K | 300 lx |
| 4 | Cool Color Temperature /Medium Illuminance | 9000 K | 300 lx |
| 5 | Neutral Color Temperature /High Illuminance | 5500 K | 500 lx |



3) 실험 장비

실험 장비로 VR 헤드셋은 ‘META’ 사의 ‘Meta Quest 3’, 심박변이도 측정에는 ‘BioSense Creative’ 사의 맥파계 ‘uBioMacpa’를 활용하였다. 본 연구에서는 시각적 자극만 확인하기 때문에 VR 장비에서 컨트롤러를 제외하고 헤드셋

만 피험자에게 착용시켰다. 피험자의 심박변이도 측정에 활용한 맥파계는 손가락 끝 모세혈관의 헤모글로빈 빛 반사 변화를 통해 심장박동을 측정하는 원리로 손가락에 클립 형태의 기기를 끼워 비침습적 방식으로 심박변이도를 측정할 수 있는 장비이다. 실험 장비의 주요 사양과 특징은 표 7과 같다.

표 7. 실험 장비 사양

Table 7. Experimental equipment specifications

| | VR Headset | Pulse Wave Meter |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classification |  |  |
| Product Name | Meta Quest 3 | uBioMacpa |
| Manufacturer | META | BioSense Creative |
| Specifications | - Weight: 515 g - Resolution: 2064×2208 pixels - Components: Headset, Controllers | - Dimensions: 58 mm (W) × 27 mm (H) × 32 mm (D) - Power Consumption: 0.25W |
| Characteristics | - Operates independently without a PC or external hardware - Adjustable head straps - Balanced weight distribution | - Non-invasive measurement - Measures heart rate by changing the light reflection of hemoglobin in fingertip capillaries - Connects to a USB port on a PC, laptop, mobile device, etc. |

4) 실험 환경

VR 헤드셋 착용 시 얼굴과 장비의 틈 사이로 보이는 외부의 빛이 시야에 방해되지 않도록 실험실 내 자연 채광 유입을 차단하고, 조도는 30 lx 이하로 유지하였다.

5) 실험 절차

피험자가 실험 공간에 착석하면 왼쪽 검지에 맥파계를 착용시키고 편안한 자세를 유지하도록 한 후, 심박변이도를 5분간 측정하였다. 측정 결과가 정상 범위에 포함되면, 피험자에게 VR 헤드셋을 착용시키고, 5개의 VR 실험 자극물을 무작위로 제공하였다. 실험 자극물 사이에는 피험자가 직전에 주시한 실험 자극물의 잔상 방지와 시각적 피로를 고려하여 1분간의 휴식 시간 동안 화면을 제공하지 않았다. 연구자는 실험 자극물마다 2분 30초씩 피험자의 심박변이도를 측정하고, 피험자가 주시하고 있는 화면과 심박변이도 그래프를 실시간으로 모니터링하였다. 실험 절차를 도식화하면 그림 3과 같다.

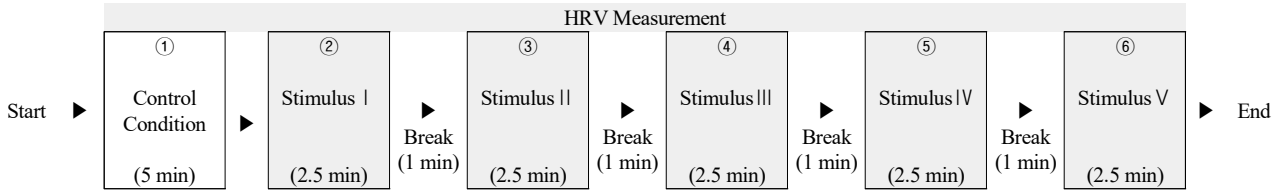


그림 3. 실험 절차도
 Fig. 3. Experimental procedure flowchart

3-2 연구 조작적 정의

연구의 범위와 내용을 명확히 하고, 생리적 반응 분석 시 주관적인 해석을 최소화하기 위해 본 연구를 위한 조작적 정의를 내렸다. 그 내용은 표 8과 같다.

표 8. 변수에 대한 조작적 정의
 Table 8. Operational definition for variables

| Variable | | Definition |
|----------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Independent Variable | Illuminance | 30 lx Low Illuminance |
| | | 300 lx Medium Illuminance |
| | | 500 lx High Illuminance |
| | Color Temperature | 2200 K Low Color Temperature (Warm Color Temperature) |
| | | 5500 K Medium Color Temperature (Neutral Color Temperature) |
| | | 9000 K High Color Temperature (Cool Color Temperature) |
| Dependent Variable | LF | Sympathetic Nervous System Activity (Higher values indicate a state of tension, and arousal) |
| | HF | Parasympathetic Nervous System Activity (Higher values indicate a state of relaxation and stability) |
| | LF/HF | Ratio of LF to HF, Autonomic Nervous System Balance (Higher values indicate a state of tension) |

IV. 연구 결과

맥파계를 통해 수집한 심박변이도 자료는 통계 프로그램 ‘SPSS Statistics 27’로 분석하였으며, 분석 방법은 5분 내외의 단기 측정 결과 분석에 권장되는 주파수 영역 분석을 채택하였다. 실험에 사용한 맥파계를 통해 수집할 수 있는 주파수 영역 분석 지표 LF, HF, LF/HF에 대한 평균과 유의차를 확인한 통계 처리 결과는 다음과 같다.

4-1 조도

1) LF 및 HF 평균 - 조도

조도 수준에 따라 도출된 LF 지표와 HF 지표의 평균값을 그래프로 나타내면 그림 4와 같다.

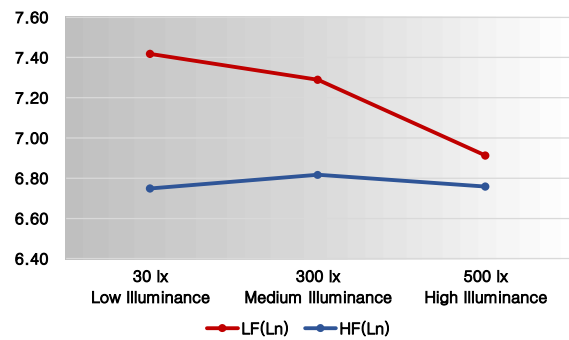


그림 4. 조도별 LF 및 HF 평균
 Fig. 4. LF and HF average on illuminance

교감신경계 활성도를 의미하는 LF 지표의 평균은 그래프상 조도가 낮을수록 증가하는 경향을 보인다. 본 연구의 조작적 정의에 의하면, 조도가 낮은 환경에서 비교적 긴장 또는 각성 상태를 보인다고 해석할 수 있다. HF 지표는 부교감신경계 활성도를 의미하며, 그래프상 LF 지표에 비해 조도 수준에 따라 큰 변화량을 보이지 않는다.

2) LF/HF 평균 - 조도

조도 수준에 따른 LF/HF 지표의 변화량을 그래프로 나타내면 그림 5와 같다.

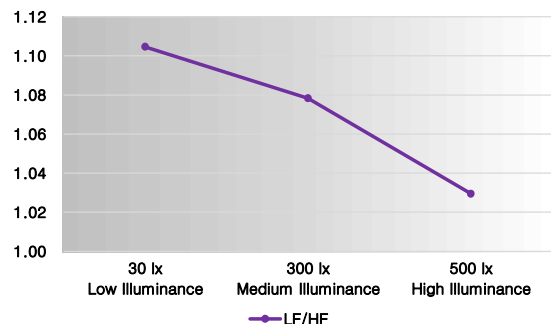


그림 5. 조도별 LF/HF 평균
 Fig. 5. LF/HF average on illuminance

교감신경계와 부교감신경계 활성화 비율을 나타내는 LF/HF 지표는 LF 지표의 변화량이 반영되어, 조도가 낮을수록 증가하는 경향을 보인다.

그래프를 통해 확인한 변화량에 대해, 조도 수준에 따라 심박변이도 주파수 영역 분석 지표의 평균이 유의한 차이를 보이는지 검증하고자 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 결과표는 표 9와 같다.

표 9. 일원배치 분산분석 결과 - 조도
Table 9. Results of One-way ANOVA analysis on illuminance

| Classification | Group | N | Mean | Std. Deviation | F | p | Scheffe |
|----------------|------------|----|------|----------------|--------|------|---------|
| LF(Ln) | 30 lx (a) | 30 | 6.91 | 0.78 | 3.383* | .038 | a<c |
| | 300 lx (b) | 30 | 7.29 | 0.67 | | | |
| | 500 lx (c) | 30 | 7.42 | 0.88 | | | |
| HF(Ln) | 30 lx (a) | 30 | 6.76 | 0.84 | .056 | .946 | - |
| | 300 lx (b) | 30 | 6.82 | 0.87 | | | |
| | 500 lx (c) | 30 | 6.75 | 0.85 | | | |
| LF/HF | 30 lx (a) | 30 | 1.03 | 0.10 | 4.098* | .020 | a<c |
| | 300 lx (b) | 30 | 1.08 | 0.11 | | | |
| | 500 lx (c) | 30 | 1.10 | 0.11 | | | |

*p<.05

그 결과, 조도 수준에 따라서 LF 지표(F=3.383, p<.05), LF/HF 지표(F=4.098, p<.05)에서 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 반면에 HF 지표는 조도 수준에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

유의한 차이를 보이는 변수에 대해서는 세페의 사후분석(Scheffe's post-hoc analysis)을 실시한 결과, LF와 LF/HF 지표가 '고조도(500 lx)' 대비 '저조도(30 lx)'가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 '저조도(30 lx)' 환경에서 LF가 유의한 차이로 증가하여, LF/HF 지표도 함께 유의한 차이를 내며 증가한 것으로 보인다.

4-2 색온도

1) LF 및 HF 평균 - 색온도

색온도 수준에 따라 도출된 LF 지표와 HF 지표의 평균값을 그래프로 나타내면 그림 6과 같다.

LF 지표의 평균은 그래프상 색온도 수준에 따라 큰 변화량을 보이지 않는다. 반면, HF 지표의 평균은 낮은 색온도(2200 K)에서 가장 낮고, 중간 색온도(5500 K)에서 가장 높

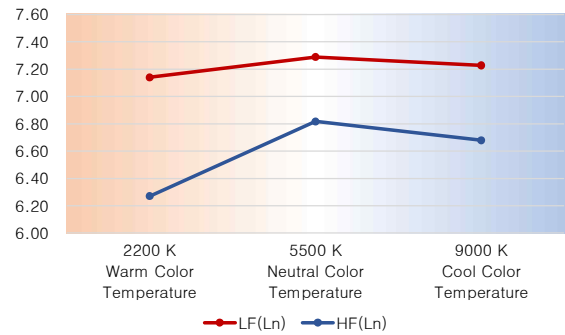


그림 6. 색온도별 LF 및 HF 평균
Fig. 6. LF and HF average on color temperature

다. 낮은 색온도(2200 K)일 때 부교감신경 활성화도가 비교적 낮기 때문에 본 연구의 조작적 정의에 따라 가장 불안정한 상태를 반영한다고 해석할 수 있다.

2) LF/HF 평균 - 색온도

색온도 수준에 따른 LF/HF 지표의 변화량을 그래프로 나타내면 그림 7과 같다.

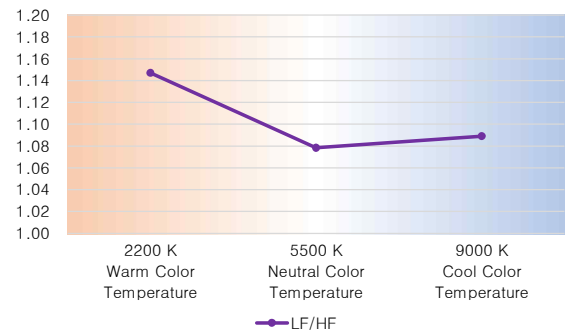


그림 7. 색온도별 LF/HF 평균
Fig. 7. LF/HF average by color temperature

색온도 수준에 따른 LF/HF 지표 평균에서는 HF 지표의 변화량이 반영되어, 낮은 색온도(2200 K)에서 가장 높은 수치를 보인다.

조도 평가와 마찬가지로, 색온도 수준에 따라 심박변이도 주파수 영역 분석 지표의 평균이 유의한 차이를 보이는지 검증하고자 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 결과표는 표 10과 같다.

그 결과, 색온도 수준에 따라서 HF 지표(F=3.391, p<.05), LF/HF 지표(F=3.350, p<.05)에서 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 반면에 LF 지표는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

유의한 차이를 보이는 변수에 대해 사후분석을 실시한 결과, HF 지표는 '중간 색온도(5500 K)'보다 '낮은 색온도(2200 K)'가 낮은 것으로 나타났고, LF/HF 지표는 중간 색온도(5500 K)보다 '낮은 색온도(2200 K)'에서 높은 것으로

표 10. 일원배치 분산분석 결과 - 색온도
Table 10. Results of One-way ANOVA analysis on color temperature

| Classification | Group | N | Mean | Std. Deviation | F | p | Scheffe |
|----------------|------------|----|------|----------------|--------|------|---------|
| LF(Ln) | 2200 K (a) | 30 | 7.14 | 0.80 | .261 | .771 | - |
| | 5500 K (b) | 30 | 7.29 | 0.67 | | | |
| | 9000 K (c) | 30 | 7.23 | 0.93 | | | |
| HF(Ln) | 2200 K (a) | 30 | 6.27 | 0.78 | 3.391* | .038 | a<b |
| | 5500 K (b) | 30 | 6.82 | 0.87 | | | |
| | 9000 K (c) | 30 | 6.68 | 0.88 | | | |
| LF/HF | 2200 K (a) | 30 | 1.15 | 0.12 | 3.350* | .040 | b<a |
| | 5500 K (b) | 30 | 1.08 | 0.11 | | | |
| | 9000 K (c) | 30 | 1.09 | 0.10 | | | |

*p<.05

나타났다. 이는 ‘낮은 색온도(2200 K)’ 환경에서 HF 지표가 유의한 차이로 감소함에 따라, LF/HF 지표도 함께 유의한 차이로 증가한 것으로 보인다.

4-3 연구 결과 종합

주요 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 분석에 포함된 연구 대상자의 심박변이도 분석 지표별 측정 수치는 모두 정상 범위에 속했다.

2) 조도 수준에 따른 심박변이도 분석 지표를 비교했을 때, 교감신경계 활성도를 의미하는 LF 지표는 저조도(30 lx)에서 가장 낮고, 고조도(500 lx)에서 가장 높았으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 부교감신경계 활성도를 반영하는 HF 지표는 조도 수준 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 자율신경계 균형을 나타내는 LF/HF 지표는 저조도(30 lx)에서 가장 낮고, 고조도(500 lx)에서 가장 높았으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 이는 조도가 높을수록 비교적 안정 상태를 보인다고 해석할 수 있다. 이는 저조도 환경이 사용자의 스트레스와 불안을 유발할 수 있으며, 조도가 높을수록 비교적 안정된 생리적 상태를 유지할 수 있는 것으로 파악된다. 즉, VR 환경에서 충분한 조도를 제공하면 사용자의 불안감과 긴장감을 줄이는 데 효과적일 수 있음을 시사한다.

조도가 낮을수록 불안정한 상태를 나타내는 것은 실제 환경에서 20 lx 이하의 저조도에서 불안감과 긴장감이 높아짐을 확인한 선행 연구[17] 결과, 그리고, VR 환경에서 저조도

일수록 공간적 평가가 부정적이었다는 선행 연구[23] 결과와 일치하는 부분이 있다. 조도에 대한 연구 결과와 선행 연구의 맥락이 일치하는 것으로 보아 VR 환경에 최소 100~150 lx 이상의 조도 수준[17],[18],[22]을 적용하는 것이 사용자의 안정감에 도움이 될 것으로 추측된다.

3) 색온도 수준에 따라서는, LF 지표의 평균이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면, HF 지표의 평균은 낮은 색온도(2200 K)에서 가장 낮고, 중간 색온도(5500 K)에서 가장 높은 수치를 보였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다. LF/HF 지표의 평균에서는 낮은 색온도(2200 K)에서 가장 높고, 중간 색온도(5500 K)에서 가장 낮았으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이는 낮은 색온도의 환경에서 가장 불안정한 상태를 보이고, 중간 색온도의 환경에서 가장 안정 또는 이완 상태를 보인다고 해석할 수 있다. 이는 비교적 낮은 색온도 환경이 사용자의 긴장감을 유발하고, 불안정한 상태를 초래할 수 있음을 의미하며, 중간 색온도에서는 상대적으로 안정된 생리적 상태를 유지하는 데 기여할 수 있음을 보여준다.

낮은 색온도 환경에서 가장 불안정한 상태를 나타내고, 중간 색온도 환경에서 가장 안정된 상태를 보였다는 점에서, 2700 K, 3000 K 등의 비교적 낮은 색온도를 제시하였을 때 생리적, 심리적 평가에서 가장 안정됨을 확인한 선행 연구의 결과[19]-[21]와는 상반된 결과를 보였다. 일치하지 않는 결과를 보인 이유는 선행 연구와의 생리적·심리적 평가 방식 차이, 연구에 사용된 색온도의 범위 차이, 그리고 현실과 가상 현실 환경의 자극 차이에서 기인했을 가능성이 있다. 특히, 평가 방식의 차이가 각 연구에서 얻은 지표의 차이에 영향을 미쳤을 수 있으며, 사용된 색온도의 범위가 생리적 반응을 달리 유도했을 가능성도 있다. 또한, 가상현실 환경에서의 몰입감과 현실 환경에서의 자극이 생리적 반응에 차이를 만들었을 가능성도 배제할 수 없다. 따라서, 향후 연구에서는 평가 방식의 통합적인 분석을 시도하고, 색온도 범위를 세분화하여 범위별 영향을 면밀히 검토할 필요가 있다. 또한, 현실과 가상현실 환경을 비교 분석하는 추가 연구를 통해 두 환경에서의 반응 차이를 더욱 명확히 규명해야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 몰입형 VR 공간에 연출된 조명의 조도와 색온도 조건에 따라 사용자의 생리적 반응에 유의한 차이를 보이는지 알아보고자 하였다. 이를 위해 VR 헤드셋을 착용하고 VR 공간을 경험하는 연구 대상자의 심박변이도 측정하고, 심박변이도의 주파수 영역 분석 지표 평균값을 통계 처리하였다. 결과의 해석은 본 3장에 제시된 조작적 정의를 반영하여 최대한 객관적으로 기술하고자 하였다.

그 결과, 조도와 색온도 모두 일부 심박변이도 분석 지표에

서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 즉, 조도와 색온도 조건에 따라서 사용자의 생리적 반응 간에 유의미한 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 실제 환경과 VR 환경에서 반응이 다르게 나타날 수 있음을 파악할 수 있었다. 이러한 결과는 곧 몰입형 VR 콘텐츠 제작 시 조명 환경 설계에 유념할 필요가 있음을 시사한다.

5-1 연구 함의 및 제언

본 연구는 기존의 몰입형 VR 콘텐츠 개발 연구가 과제 수행 및 인터랙션 위주의 연구였던 것과 달리 몰입형 VR 공간을 구성하는 시각적 환경 자극에 초점을 맞추어 사용자의 생리적 반응을 평가했다는 점과 기존에 측정 도구로써 주로 이용해 왔던 언어적 피드백에 국한되지 않고 생리적 반응 측정을 통해 객관적인 결과를 도출하였다는 점에서 선행 연구와 차별점이 있다고 사료된다. 또한, 몰입형 VR 콘텐츠 제작 시 고려할 구체적인 요소와 객관적인 근거를 제공했다. 이는 사용자와 목적에 부합하는 효과적인 VR 환경 설계를 위한 실무적 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

연구 결과를 바탕으로, 정신질환 치료와 스트레스 완화를 목적으로 하는 VR 환경 설계 시, 조도가 지나치게 낮지 않도록 주의하며 최소 100~150 lx 이상의 조도를 유지하고, 색온도는 기본적으로 중간 범위인 5500 K를 기준으로 하되, 세부적인 목적에 따라 유연하게 조정할 수 있도록 하여 사용자 경험을 최적화하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 더 나아가, 사용자 또는 전문가가 직접 조명 조건을 조절하거나, 실시간으로 사용자의 생리적 반응을 측정하여 자동으로 조명 조건을 조절하는 시스템을 적용하는 방법도 있을 것이다. VR 환경에서의 조명 조건을 철저히 관리함으로써 사용자의 생리적 안정성을 높이고, 몰입형 VR 콘텐츠 경험을 더욱 쾌적하게 만들 수 있을 것이다.

5-2 연구의 한계점 및 향후 연구 과제

본 연구는 다음과 같은 한계점이 있다.

실제 환경에 대한 선행 연구를 살펴보았을 때, 가상공간에서도 조명 환경을 구성하는 요소 간에 상호작용이 예상되나, 본 연구에서는 조도와 색온도 간의 상호작용 효과를 살펴볼 수 없었다. 또한, 조명 환경을 구성하는 요소 중 조명 방식, 조명 배치, 광원의 분포 등은 추가로 고려되지 않았다는 연구 범위의 한계가 있다. 이에 향후 연구에서 조명의 물리적 특성에 대한 다양한 변수를 포함하고 상호작용 효과까지 검토한다면 더욱 실효성 있는 결과를 도출할 수 있을 것이다.

다음으로, VR 실험 자극물의 공간적 범위가 실내에 한정되었다는 점이 있다. 일부 피험자는 제공된 VR 공간이 답답하게 느껴졌다고 의견을 제시했는데, 이는 실내 공간을 연출할 때 공간의 크기나 개구부 유무에 따른 영향도 고려해야 할 사항임을 시사한다. 따라서 후속 연구에서는 다양한 환경적 요

소를 추가로 고려하여, 실내 공간에 개구부를 적용하거나 개방된 공간으로 공간적 범위를 확장할 필요가 있을 것으로 보인다.

본 연구는 몰입형 VR 콘텐츠가 사용자의 안정감과 정신건강 개선에 유용한 도구로 자리매김하는 데 기여하고, 더욱 안전하고 효과적인 몰입형 VR 콘텐츠를 개발하기 위한 시도로써 VR 환경 자극 관련 연구의 발판 역할을 할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2023학년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Forbes Health. Virtual Reality Therapy: Everything You Need To Know [Internet]. Available: https://www.forbes.com/health/mind/virtual-reality-therapy/#footnote_4.
- [2] I. H. Bell, R. Pot-Kolder, A. Rizzo, M. Rus-Calafell, V. Cardi, M. Cella, ... and L. Valmaggia, "Advances in the Use of Virtual Reality to Treat Mental Health Conditions," *Nature Reviews Psychology*, No. 3, pp. 552-567, August 2024. <https://doi.org/10.1038/s44159-024-00334-9>
- [3] J. Jeong, K.-W. Lee, B. Bak, S.-R. Lee, M. Kim, and J.-H. Cha, "Submarine Crew Stress Relief System Using Digital Therapy Concept and VR," *Journal of the KNST*, Vol. 6, No. 2, pp. 195-200, June 2023. <https://doi.org/10.31818/JKNST.2023.06.6.2.195>
- [4] S. Lim, and H.-S. Tae, "Study on Development of Remote Mental Health Care Program with VR for Seafarers," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 26, No. 12, pp. 195-200, December 2021. <https://doi.org/10.9708/jksoci.2021.26.12.195>
- [5] W. Choi, "Verification of Healing Effect by VR Pet in VR Space," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 23, No. 9, pp. 1795-1801, September 2022. <https://doi.org/10.9728/dcs.2022.23.9.1795>
- [6] E. Noh and J. Han, "A Study on the Characteristics of Rehabilitation Contents Utilized as Digital Therapeutics (DTx) -Focus on Representative Cases of Occupational Therapy Contents-," *Journal of the Korea Institute of Spatial Design*, Vol. 18, No. 4, pp. 439-448, June 2023. <https://doi.org/10.35216/kisd.2023.18.4.439>
- [7] J. Kim and Y. Lee, "Practical Approach to Bridging the Digital Divide: Developing and Implementing a VR-Based Physical Activity Program for Individuals with

- Developmental Disabilities,” *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 25, No. 4, pp. 843-853, April 2024. <https://doi.org/10.9728/dcs.2024.25.4.843>
- [8] J.-Y. Shin, S.-Y. Chun, and C.-S. Lee, “Analysis of the Effect on Attention and Relaxation Level by Correlated Color Temperature and Illuminance of LED Lighting using EEG Signal,” *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 27, No. 5, pp. 9-17, May 2013. <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2013.27.5.009>
- [9] B.-J. Lee, “Basic Research on Lighting Design for Learning Effect,” *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 21, No. 4, pp. 518-524, April 2020. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.518>
- [10] E. Lee and H.-J. Suk, “The Emotional Response to Lighting Hue Focusing on Relaxation and Attention,” *Journal of Korean Society of Design Science*, Vol. 25, No. 2, pp. 27-39, May 2012.
- [11] J.-S. Lee, J.-Y. Park, S.-J. Park, and C.-U. Jung, “Study on Heart Rate Variability (HRV) depending on Sight of Evaluation upon Light Stimulation Using Large Area Lighting,” *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 30, No. 6, pp. 1-10, June 2016. <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2016.30.6.001>
- [12] Y. I. Kim and S. G. Lim, *Metaverse Textbook Using Unity*, Seoul: Gilbut Campus, 2023.
- [13] S. Y. Nam, M. G. Kang, J. W. Seo, N. I. Kim, H. S. Kim, D. H. Ko, ... and D. Y. Jeong, *Digital Therapeutics*, Seoul: Sanghaktang, 2021.
- [14] T. Byun and J. Park, “Domestic Literature Research on HMD (Head Mounted Display),” *New Physics: Sae Mulli*, Vol. 74, No. 1, pp. 69-83, January 2024. <http://dx.doi.org/10.3938/NPSM.74.69>
- [15] D. Lee, J. Han, and H. Lee, “A Study on the Characteristics of Each Type of Virtual Realty Therapy (VRT) Based on Digital Therapeutics (DTx) -Focus on Representative Cases of VR Contents-,” *Journal of the Korea Institute of Spatial Design*, Vol. 17, No. 4, pp. 183-194, June 2022. <http://dx.doi.org/10.35216/kisd.2022.17.4.183>
- [16] Nature. How Virtual Reality Therapy Is Shaping Mental Health [Internet]. Available: <https://www.nature.com/immersive/d41591-024-00032-2/index.html>.
- [17] J. Y. Park, H. Lee, K. H. Choi, and J. S. Lee, “A Study on Psychological Reaction and Visibility Consequent on Illuminance and Color Temperature,” *Journal of Korea Society of Color Studies*, Vol. 31, No. 2, pp. 129-136, May 2017. <http://dx.doi.org/10.17289/jkses.31.2.201705.129>
- [18] J. S. Lee and H. W. Lee, “A Study on Influence of the Stress in a Color Temperature and Controllable Illuminance Environment on Human Body,” *Journal of Korea Society of Color Studies*, Vol. 29, No. 2, pp. 125-134, May 2015. <http://dx.doi.org/10.17289/jkses.29.2.201505.125>
- [19] H. Kim, A Study on the Derivation of Color Temperature for Stabilization in the Case of an Elevator Trapped Accident, Master’s Thesis, Hanbat National University, Daejeon, February 2021.
- [20] M. Hsieh, “Effects of Illuminance Distribution, Color Temperature and Illuminance Level on Positive and Negative Moods,” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp. 709-716, 2015. <https://doi.org/10.3130/jaabe.14.709>
- [21] B. Shong, “An EEG Experimental Study for Setting Personal Healing Space Planning Standards,” *Journal of the Korean Institute of Interior Design*, Vol. 30, No. 2, pp. 94-101, April 2021. <https://doi.org/10.14774/JKIID.2021.30.2.094>
- [22] H. S. Seo and J. T. Kim, “The Effect of Illuminance and Color Temperature of LED Lighting on Occupants’ Perception and HRV,” *KIEAE Journal*, Vol. 15, No. 2, pp. 37-43, April 2015. <https://doi.org/10.12813/kieae.2015.15.2.037>
- [23] X. M. Gu and Y. N. Li, “Effects of Color Temperature and Illuminance on Environmental Maps and Navigation in a VR Environment,” *Design Research*, Vol. 7, No. 4, pp. 37-48, December 2022. <https://doi.org/10.46248/kidrs.2022.4.37>
- [24] Human Anti-Aging Standards Research Institute. Heart Rate Variability-Based Autonomic Nervous System Function Assessment Method [Internet]. Available: <https://hasri.co.kr/28>.
- [25] H. Jeong and K.-J. Park, “Clinical Applications of Heart Rate Variability in Neurological Disorders,” *Journal of the Korean Neurological Association*, Vol. 35, No. 1, pp. 1-7, February 2017. <https://doi.org/10.17340/jkna.2017.1.1>
- [26] W.-J. Choi, B.-C. Lee, K.-S. Jeong, and Y.-J. Lee, “Minimum Measurement Time Affecting the Reliability of the Heart Rate Variability Analysis,” *Korean Journal of Health Promotion*, Vol. 17, No. 4, pp. 269-274, December 2017. <https://doi.org/10.15384/kjhp.2017.17.4.269>
- [27] Seoul Metropolitan Government, *Seoul-Type Counseling Space Mind Garden Guidebook*, Seoul: Author, March 2023.
- [28] Unity. Physical Light Units [Internet]. Available: <https://docs.unity3d.com/kr/Packages/com.unity.render-pipelines.hig>

h-definition@10.5/manual/Physical-Light-Units.html.

[29] Archtoolbox. Recommended Lighting Levels in Buildings [Internet]. Available: <https://www.archtoolbox.com/recommended-lighting-levels/>.



구나연 (Na-Eon Koo)

2023년~현 재: 인제대학교 U디자인학과 석사 과정

※ 관심분야: 디지털콘텐츠디자인(Digital Content Design), 가상현실(Virtual Reality)



박수진 (Soo-Jin Park)

1993년 : 홍익대학교(시각디자인학과, 예술학 석사)

1996년 : Pratt Institute(Visual Communication, 이학 석사)

2011년 : 경북대학교(시각디자인학과, 디자인학 박사)

2001년~현 재: 인제대학교 멀티미디어학부 교수

※ 관심분야: 시각정보디자인(Visual Information Design), 디지털콘텐츠디자인(Digital Content Design)