

RESEARCH ARTICLE

Differences in fNIRS Brain Activity in Response to Background Types in the Metaverse for Ecosystem Education

Seohee Park¹ · Jeong-Hwa Lee² · Su-Min Lee² · Da-Kyong Jung² · Yong-Ju Kwon^{2*}¹Korea Advanced Institute of Science and Technology²Korea National University of Education

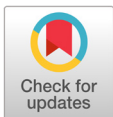
생태계 교육을 위한 메타버스의 배경 유형에 따른 fNIRS 두뇌 활성 차이 연구

박서희¹ · 이정화² · 이수민² · 정다경² · 권용주^{2*}¹KAIST · ²한국교육대학교

*Corresponding Author : kwonyj@knue.ac.kr

ABSTRACT

This study was conducted to compare the difference in User brain activity in response to the background types when constructing a metaverse for ecosystem education and proposes an effective method of implementing a metaverse for learning. The metaverse ecosystem was developed into three background types: [Type 1] realistic illustration, [Type 2] pixel graphic, and [Type 3] 2.5D graphic on the metaverse platform zep, modeled after Duung Wetland in Taean-gun, Chungcheongnam-do. fNIRS was used to neuroscientifically identify the difference in background types for middle and high school students, and one subject experienced the learning effect according to the pre-experienced background type in three types, and the background type was randomly presented to reduce the learning effect according to the order. After preprocessing the collected data, it was analyzed using 21 datasets that can fully present the measured values of all areas, and the results are as follows. First, in each background type, there was a decrease in activity in DLPFC and an increase in activity in OFC. Second, the activity of BA47 was shown in [Type 1] and [Type 2]. Third, there was a decrease in activity in the FP region in [Type 3]. Fourth, [Type 1] has higher activity in the right DLPFC region than [Type 2]. Fifth, [Type 1] has higher activity in the left DLPFC region and both FP regions than [Type 3]. Based on these results, we intend to present effective metaverse design guidelines based on brain activity.

Key words: Metaverse, ecosystem education, background type, fNIRS, brain activity

OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2023, Vol. 13, No. 1, 117-130.<https://doi.org/10.31216/BDL.20230007>**Received:** February 23, 2023**Revised:** March 13, 2023**Accepted:** March 14, 2023© 2023. Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

인터넷과 같은 정보통신 기술의 발전으로 컴퓨터는 의사소통 및 정보 공유 도구로 사용이 확대되었고 이를 위해 다양한 협업 가상 환경(Collaborative virtual environments)을 구축하기 시작했다(Snowdon et al., 2001). 이러한 발전은 인간이 아바타를 통해서 사회적 상호작용하는 환경인 메타버스(Metaverse)의 등장으로 이어졌다. 메타버스란 가상, 초월을 뜻하는 메타(Meta)와 세계, 우주를 의미하는 유니버스(Universe)의 합성어로 현실과 같은 사회, 경제, 문화, 학습, 연구 등의 비현실 활동과 공존하는 가상 세계를 의미한다(Gadekallu et al., 2022; Mystakidis, 2022). 메타버스는 다중사용자 플랫폼(Multiuser platform)에서 상호작용을 가능하게 하는 기술의 융합을 기반으로 하여, 사회적으로 연결되어 있으면서 개인화된 몰입형 환경을 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 특히 원격교육, 교육연구, 학습환경과 같은 교육 분야에서는 메타버스에 대한 관심이 증가하고 있는데(Contreras et al., 2022), 메타버스는 사용자 간의 실시간 의사소통과 능동적인 학습 참여의 기회를 제공하며 학습 태도, 참여 그리고 만족도와 같은 정서적 영역에 대해서도 긍정적인 학습 도구로 인식되고 있다(Mustafa, 2022).

에듀메타버스(edu-metaverse)는 메타버스를 활용한 새로운 온라인 원격교육 모델로, 시공간적인 제약을 극복하면서 전 세계 모든 사람이 연결될 수 있고, 아바타의 몸짓과 표정 등을 통해 사회적 연결감을 높일 수 있는 긍정적인 효과를 줄 수 있다(Mystakidis, 2022; Shu et al., 2023). 메타버스를 활용한 교육을 통해 누구에게나 평등한 교육의 기회를 제공할 수 있고(Inceoglu et al., 2022), VR과 같은 첨단기술을 적용하면 구현이 어려운 시뮬레이션을 경험할 수 있어 몰입적인 학습을 할 수 있다는 연구(Lee et al., 2022)가 제시되어 있다. 하지만 이처럼 메타버스의 교육적 활용에 관해 긍정적인 연구 결과들이 있음에도 아직 학교 현장의 많은 교사는 메타버스를 도입하는 것에 대해 어려움을 겪고 있다(Mustafa, 2022). 이를 돕기 위해 메타버스 기반 수업의 교수설계부터 교육 현장 적용 및 지원까지 관련 분야에 관한 많은 연구가 필요한 실정이다.

메타버스의 요소를 활용한 교수-학습은 학생들의 학습자 경험 유도과 동기유발에 효과적이고(Oberdörfer et al., 2021), 학습에 대한 이해도 및 실험 수행 능력 향상에 효과적이다(Erbas et al., 2019; Fuchsova et al., 2019; Wibowo et al., 2019). 탐구 수업에서 학습 내용을 직관적으로 보여줄 수 있도록 학습환경을 조성하는 것은 매우 중요하다는 연구 결과가 있다(Oberdörfer et al., 2021). 또한, 실험이나 추상적인 지식을 가르칠 때도 이 내용을 시공간적으로 제시할 수 있다면 학생들의 이해를 돕는 측면에서 매우 효과적일 수 있다(Špenjak, A. et al., 2018).

생명과과학은 이론적으로 복잡하고 추상적인 개념들이 많아서 학생들이 학습하는 데 많은 어려움을 겪을 수 있다(Weng et al., 2020). 그러나 메타버스 기술을 활용하여 생명과학 학습 내용을 시각적으로 구현한다면 이를 이해하기 쉽고 재미있게 학습할 수 있으며, 학생들의 참여와 흥미를 높일 수 있는 혁신적이고 효과적인 교육 방법을 제시할 수 있을 것이다. 최근 메타버스 기술을 활용한 연구에서는 이미지 처리를 통해 유전자와 세포 같은 분자 수준을 시각화하여 연구하는 것이 가능해졌고(Diaspro et al., 2023; Sipper, 2022), 메타버스를 이용한 생태계 교육은 전통적인 교실에서 이루어지는 생태계 교육의 결함을 보완하고 생태적 감수성을 자극하여 긍정적인 생태적 행동을 유도할 가능성이 높음을 보여주고 있다(Liu, 2022). 이에 따라 메타버스는 생명과학 교육을 위한 매우 유망한 교육 도구라고 할 수 있다.

메타버스의 맥락에서 디지털 콘텐츠의 디자인은 사용자 경험을 향상하도록 하는 데 중요한 역할을 한다(Lin, 2022). 하지만 현재 메타버스는 개발 초기 단계에 있으며 그래픽, 상호작용, 시각화를 위한 체계적이고 기술적인 프레임워크에 대한 연구가 부족하다(Zhao et al., 2022). 과거 스마트폰 개발과 소비자가 증가하던 시

기 교육용 앱이 대유행하였고, 이에 따라 수많은 교육용 앱이 출시되었다. 그러나 이 시기 개발된 앱들을 조사한 결과 7개의 앱만이 최고 품질 범주에 들어가고, 50%가 저품질 범주에 속해있으며 무료 앱들은 이보다 더 낮은 점수를 받았다(Hirsh-Pasek et al., 2022). 이는 효과적인 학습 내용 전달과 학습자 참여도 제고를 위한 설계와 구현에 관한 과학적 연구가 미흡했기 때문이다. 따라서 메타버스를 효과적인 학습 도구로 활용하기 위해서는 교육 분야의 전문가들이 참여하는 설계 및 구현 측면의 과학적 연구가 필수적이다.

디지털 콘텐츠 디자인은 학습환경의 상호작용이 구성되는 방식과 관련되어 있기 때문에 특정 정보를 게시하는 것 이상으로 중요함으로 온라인 교육을 위한 효과적인 설계원칙을 적용해 교육용 페이지를 구현해야 한다(Al-Soubeh, 2018; Plass et al., 2016). 특히, 학습자의 참여 및 몰입도, 상호작용성을 높이기 위한 몇 가지 중요한 디자인 포인트가 있지만, 무엇보다도 그래픽 디자인은 디지털 콘텐츠를 더욱더 매력적으로 만드는 데 필수적이라는 것을 고려해야 한다(Pascal, 2021).

메타버스에서 배경 유형은 다양한 시각적인 경험을 제공하며, 상호작용할 수 있는 요소들과 결합하여 새로운 콘텐츠 경험을 창출할 수 있는 요소 중 하나라고 할 수 있다. 이 연구에서 활용하고자 하는 메타버스 플랫폼 *zep*은 픽셀 그래픽 형태의 배경을 제공하고 있는데 픽셀 그래픽은 디지털 모자이크에 비유될 수 있다. 픽셀 그래픽은 디지털 이미지 렌더링 기술의 발전으로 사용량은 줄었으나 게임 산업에서는 진입 장벽이 낮아 일반적인 형태의 그래픽으로 여전히 사용된다(Alvarez, 2016; Anderson, 2016; Zufri et al., 2022).

반면 교육용 삽화, 이미지 등은 주로 실사형 일러스트, 2.5D 그래픽으로 제작되며, 이들의 교육적 효과와 개발 가이드에 관해서는 많은 연구가 수행되어 있다(Krasnoryadtseva et al., 2020; Zhou et al., 2018). 생명과학 과목은 시각적인 자료와 그래픽을 활용하여 자연계의 다양한 현상과 생물을 설명하고 있는데, 그래픽 디자인은 개념과 이론을 시각적으로 이해하고 기억하는 데 긍정적인 역할을 한다(Dehghani et al., 2023). Wang et al. (2022)의 연구에 따르면, 생물학적 개념을 인공적인 그래픽보다는 사실적인 그래픽으로 표현한다면 학생들이 쉽게 몰입할 수 있으므로 학습 동기와 교육적 효과를 향상시킬 수 있다.

디지털 콘텐츠의 교육적 효과를 과학적으로 객관적이고 정량적인 수치를 바탕으로 확인하기 위해서는 학습자의 두뇌 활성 데이터를 실시간으로 수집하여 분석해야 한다. 이를 위해 교육 연구 분야에서는 적합성과 안전성이 검증된 두뇌 활성 측정 도구인 fNIRS (Functional Near-Infrared Spectroscopy)를 활용할 수 있다(Park et al., 2019). fNIRS는 전전두엽 영역의 뇌 혈류 역학 신호의 특이적인 변화를 측정하는 도구로(Bunce et al., 2006), fNIRS를 활용한다면 메타버스 학습환경에서 학습자의 두뇌에서 일어나는 고차원적 사고를 정량적으로 모니터링 할 수 있을 것이다.

생태계 메타버스 학습환경에서 배경 그래픽은 학습자들이 학습과 상호작용하는 공간을 형성하게 되므로 배경 그래픽이 학습자의 뇌 활성에 미치는 영향을 연구하는 것은 중요하다. 메타버스 학습 경험 중 학습자의 뇌에서 일어나는 활성 데이터를 바탕으로 더욱 효과적인 메타버스 설계 방법을 제시할 수 있을 것이다.

이 연구에서는 생태계 교육용 메타버스 배경 그래픽 개발을 위해 실사형 일러스트, 픽셀 그래픽, 2.5D 그래픽 세 가지 배경 유형에 따른 효과의 차이를 fNIRS를 활용한 두뇌 활성 기반의 데이터로 규명하고, 이를 바탕으로 메타버스 설계에 대한 가이드라인을 제시하고자 한다.

Research Methods

Participants

이 연구는 중부권 소재 중·고등학교에서 자발적으로 연구에 참여하고자 하는 학생들을 대상으로 진행하였으며 연구에 참여하기 전 보호자의 서면 동의를 거쳐 진행하였다. 자발적 참가자 30명 중 Oldfield (1971)가 개발한 손 우세성 검사지를 활용하여 오른손잡이 학생만 분류하여 27명의 데이터를 분석하였고, 데이터 전처리 과정에서 측정할 때 머리의 움직임이 데이터에 영향을 준 경우와 fNIRS의 채널을 브로드만 영역으로 구분하였을 때 하나 이상의 영역을 측정할 수 없는 경우 데이터 분석에서 제외하여 최종적으로 21명의 데이터를 사용하였다. 메타버스 활용 방법 및 학습하게 될 내용에 대한 설명 영상을 제작하여 학생들이 체험하기 전 제공함으로써 메타버스 활용 경험에 따른 차이를 줄이고자 하였다. 이 연구는 한국교원대학교 생명윤리심의위원회(IRB)의 사전 승인받아 수행하였다[KNUE-202212-SB-0047-01].

Procedure

Metaverse Platform Selection and Ecosystem Environment Implementation

메타버스 생태계 환경을 구현하기 전 플랫폼 선정을 위하여 여러 방면에서 메타버스 플랫폼들을 조사·분석하였다. 다양한 브라우저에서 구동할 수 있고 교수자 입장에서 학습관리 효율성 및 맵 구현의 용이성을 가지며 사용 인원에 제한받지 않고 무료로 사용할 수 있어 접근성이 높다는 특징을 갖춘 젍(zep)을 선정하였다.

식물 11종을 실사형 일러스트, 픽셀 그래픽, 2.5D 그래픽 이렇게 세 가지 배경 유형 안에 구현하였다. 사진 자료를 바탕으로 배경 구성과 생물 오브젝트를 제작하였으며, 전문가와의 지속적인 세미나를 통해 맵의 전체 크기, 오브젝트의 배치, 오브젝트가 활성화되는 영역 등을 수정·보완하여 메타버스 공간을 구축하였다.

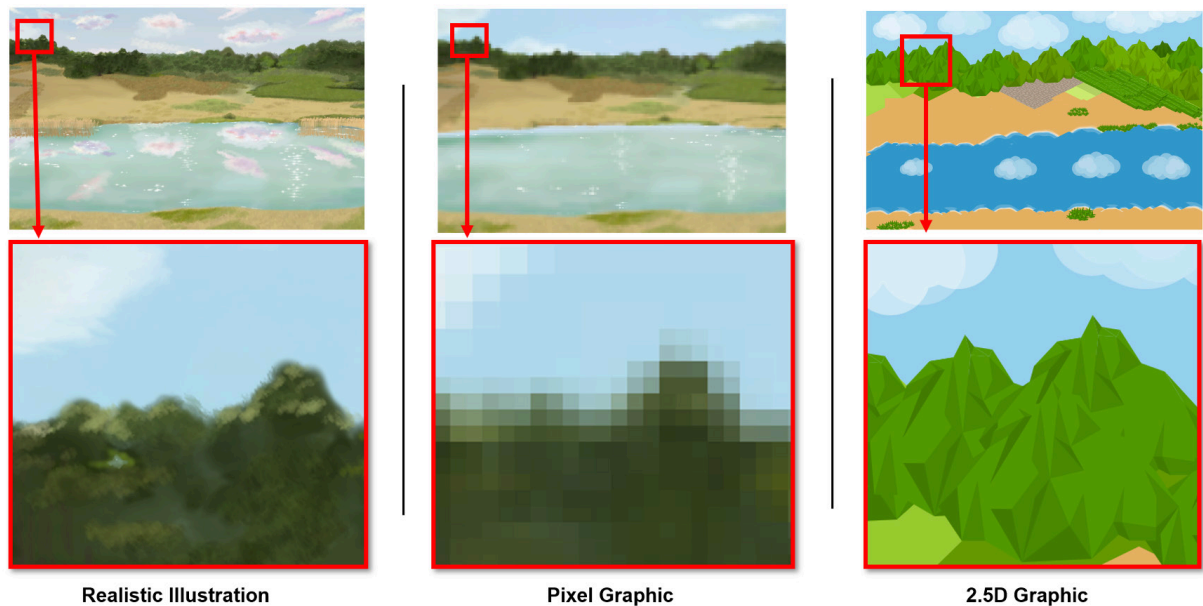


Fig. 1. Three types of Metaverse Background

Task Design

메타버스 배경 유형에 따른 두뇌 활성을 측정하기 위한 과제는 Block Design 형태로 설계하였다(Petersen et al., 2012). 측정 관련 유의 사항에 대해 안내 글을 제시한 후 눈을 감은 채로 60초 동안 휴식한 다음, 눈을 뜨고 십자가 가운데를 응시하면서 60초 동안 휴식하도록 하였다. 이후 메타버스 상에서 자유롭게 돌아다니며 생물 오브젝트와 상호작용하며 생물의 특성에 대해 관찰하고 내용에 대한 이해도 점검을 위해 하나의 배경당 3개의 단답형 문항을 풀게 되는데 모든 문항을 맞췄을 때만 다른 유형의 배경 맵으로 이동할 수 있도록 하였다. 하나의 배경유형당 소요되는 활동 시간은 평균 7분으로 전체적으로 1인당 25분가량 소요되었고, 선 경험한 배경 유형에 따른 학습효과를 최소화하기 위하여 배경 유형은 학생별로 무작위 제시하였다.

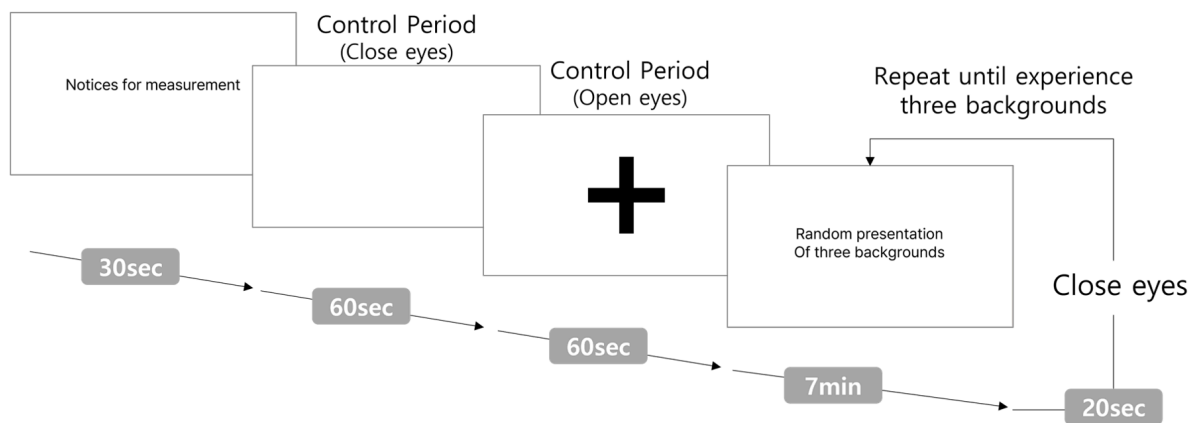


Fig. 2. Task presentation paradigm

Data Collection

두뇌 활성을 측정하기 위해서는 NIRSIT (모델명: NS1-H20A; OBELAB, Seoul, Korea)을 사용하였다. NIRSIT은 고차원적 사고가 이루어지는 전전두엽 부분을 집중적으로 측정하는 장비로, 780nm, 850nm 대역의 근적외선을 대뇌피질에 조사하여 흡수된 빛의 양을 측정하는 방식으로 대뇌 혈중 산소포화도의 변화량을 실시간으로 관찰할 수 있는 fNIRS기반의 뇌 영상 장치이다(OBELAB, Inc. 2023). 학습에 방해되는 요소를 최소화하기 위해 조용한 실내 공간 하얀 벽 앞에 메타버스 화면을 제시하는 PC를 설치하였고 NIRSIT과 직접 연결된 측정용 PC는 피험자의 시야에 방해되지 않도록 배치하였으며, 측정용 PC에는 NIRSIT 데이터 측정 소프트웨어인 Nirsit_PC_tool_v2.8을 설치하여 두뇌 활성 자료를 수집하였다. [연구자 1]은 학생의 옆에 앉아서 메타버스 맵을 전환하고, 특이사항에 대해 기록하며 장면 전환마다 [연구자 2]에게 알려 데이터에 수동으로 Marking을 할 수 있도록 하였다. 연구 수행의 모든 과정은 스마트폰을 설치하여 녹화하였고, 메타버스 체험 후 인터뷰를 통하여 학습자의 인식에 대해 질적으로 조사하였다.



Fig. 3. Scene of experiment execution

Data Analysis

Preprocessing

수집된 데이터는 OBELAB에서 제공하는 NIRSIT 데이터 분석용 소프트웨어인 NIRSIT_AnalysisTool_v3.7.5를 활용하여 전처리 및 분석하였다. Raw 데이터에 피험자별 Marker를 기준으로 Task의 번호를 부여하여 Control과 각 배경 유형별 Task 구간을 분류하였고, 두뇌 활성 신호 외의 frequency를 제거하기 위해 DCT filter로 low-pass Cutoff value를 0.03 Hz, high-pass Cutoff value를 0.005 Hz로 설정하였다. 두뇌 활성의 Baseline은 눈을 감는 Control 구간이 끝나기 20초 전의 데이터로 하였고 신호 대 잡음비(Signal-to-noise ratio, SNR)는 20 dB 이상인 채널들로 확인되는지에 대한 여부를 점검하는 조정과정을 거쳤다. Concentration으로 전환된 값 중 머리의 움직임 등과 같이 두뇌 활성 신호 외의 원인에 의해 발생한 것으로 보이는 채널은 제거하였다.

GLM Analysis

전처리가 완료된 값들은 일반화 선형모델(Generalized linear model, GLM)을 사용하여 각 배경 유형별 두뇌 활성과 배경 유형 간의 두뇌 활성 차이를 분석하였다. 먼저 배경 유형별 두뇌 활성을 분석하기 위하여 각 배경 유형에서 눈감고 휴식한 Control 구간을 감산(subtraction)하였다. 배경 유형 간 두뇌 활성 차이를 분석하기 위해서 각 배경 유형의 두뇌 활성 데이터끼리 감산하였고 두뇌 활성 채널을 도출하기 위하여 One sample t-test를 실시하였다.

Results and Discussion

GLM Analysis Based on Brain Activity Data by Metaverse Background Type

실사형 일러스트 배경의 메타버스를 경험하는 동안 왼쪽 배외측전전두 피질(Dorsal Lateral Prefrontal Cortex, DLPFC) 영역의 Ch. 20 (BA 10)과 Ch. 35 (BA 46)에서 유의미한 두뇌 활성 감소가 나타났고 양측 안와전두 피질(Orbitofrontal Cortex, OFC) 영역에 해당하는 Ch. 15, 16, 29, 32, 46 (BA 11) 그리고 Ch. 48 (BA 47)에서 유의미한 활성 증가가 나타났다(Table 1).

Table 1. Significant brain active channel in background type 1(Realistic Illustration)

Region	Broadmann Area	Hemisphere	Channel	t (<i>p</i> [*])
DLPFC	BA 10	L	20	-2.4604 (0.0236)
	BA 46	L	35	-2.3491 (0.0368)
OFC	BA 11	R	15	2.9238 (0.0095)
	BA 11	R	16	2.1929 (0.0403)
	BA 11	R	29	2.5205 (0.0208)
	BA 11	L	32	2.4679 (0.0233)
	BA 11	L	46	3.3134 (0.0035)
	BA 47	L	48	2.2187 (0.0382)

픽셀 그래픽 배경의 메타버스를 경험하는 동안 왼쪽 배외측전전두 피질(DLPFC) 영역의 Ch. 20(BA 10)과 Ch. 35 (BA 46)에서 유의미한 두뇌 활성 감소가 나타났고 양측 안와전두 피질(OFC) 영역에 해당하는 Ch. 15, 29, 32, 46 (BA 11) 그리고 Ch. 48 (BA 47)에서 유의미한 활성 증가가 나타났다(Table 2).

Table 2. Significant brain active channel in background type 2 (Pixel Graphic)

Region	Broadmann Area	Hemisphere	Channel	t (<i>p</i> [*])
DLPFC	BA 10	L	20	-2.7096 (0.0139)
	BA 46	L	35	-2.4534 (0.0304)
OFC	BA 11	R	15	2.7881 (0.0126)
	BA 11	R	29	2.4820 (0.0226)
	BA 11	L	32	2.4997 (0.0218)
	BA 11	L	46	3.0753 (0.0060)
	BA 47	L	48	2.1128 (0.0474)
	BA 47	L	48	2.2187 (0.0382)

2.5D 그래픽 배경의 메타버스를 경험하는 동안 왼쪽 배외측전전두 피질(DLPFC) 영역에 해당하는 Ch. 20 (BA 10), Ch. 35 (BA 46)와 양측 전두극 피질(Frontopolar Prefrontal cortex, FP)에서 유의미한 활성 감소가 나타났고 양측 안와전두 피질(OFC) 영역에 해당하는 Ch. 15, 16, 29, 32, 46 (BA 11)에서 유의미한 활성 증가가 나타났다(Table 3).

Table 3. Significant brain active channel in background type 3 (2.5D Graphic)

Region	Broadmann Area	Hemisphere	Channel	t (<i>p</i> [*])
DLPFC	BA 10	L	20	-2.4918 (0.0221)
	BA 46	L	35	-2.6595 (0.0208)
FP	BA 10	R	22	-2.1343 (0.0454)
	BA 10	L	37	-2.1024 (0.0499)
OFC	BA 11	R	15	3.2329 (0.0049)
	BA 11	R	16	2.1348 (0.0453)
	BA 11	R	29	2.5187 (0.0209)
	BA 11	L	32	2.4299 (0.0252)
	BA 11	L	46	3.2376 (0.0041)

배경 유형별 GLM 분석 결과를 종합해보면 세 가지 배경 유형 모두에서 왼쪽 DLPFC 영역이 유의미하게 활성이 감소하였고 OFC 영역에서 유의미하게 활성이 증가한 것으로 나타났다. 세 가지 배경 유형 모두에서 동일하게 유의미한 결과가 나온 것으로 보아 이는 배경 유형보다는 메타버스의 자체의 특징에 따른 활성으로 볼 수 있다.

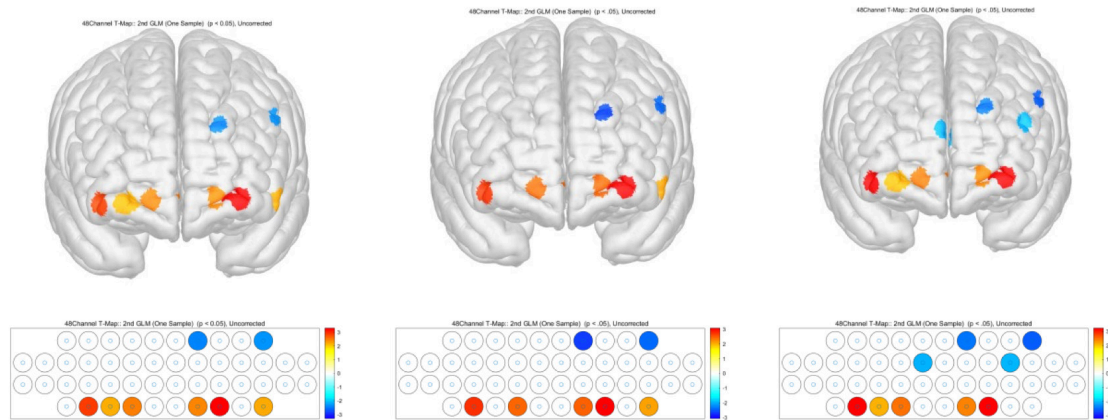


Fig. 4. Results of GLM analysis based on brain activity data by metaverse background type (L: Realistic Illustration, M: Pixel Graphic, R: 2.5D Graphic, $p < .05$)

OFC는 주관적인 즐거운 경험에 대해 인지적 표현 및 의사 결정하기 위해 감각을 통합하는 데 중요한 역할을 하고(Berridge et al., 2008), 새로운 정보를 받아들여 장기 기억에 입력하는 과정에 관여하는데(Frey et al., 2000), 특히 안쪽 OFC는 동기부여 및 보상과 관련되어 있다고 밝혀져 있다(Ballesta et al., 2020). 이를 바탕으로 세 가지 배경에서 OFC의 활성을 보였다는 것은 메타버스를 활용한 학습이 학습자에게 다양한 자극으로 인한 긍정적인 보상과 즐거움을 경험하도록 한 것으로 볼 수 있다.

위와 같은 두뇌 활성 데이터는 메타버스의 다양한 요소들을 효과적으로 활용한다면 학습 동기 및 흥미를 유발하는 데 도움을 주어 능동적인 학습 참여를 유도할 수 있는 학습 도구로 활용될 가능성을 보여준다. 이는 사후 인터뷰에서 학생들이 메타버스를 활용한 학습이 공부한다기보다는 게임을 하는 듯한 느낌을 받아서 재미있었고 평소 어려워하던 교과목을 메타버스에서 공부한다면 재미있게 할 수 있을 것 같다고 응답한 것과 일맥상통한 결과이다. 유의해야 할 것은 메타버스 학습 콘텐츠 설계에 있어 게임, 스토리라인등을 적절히 제시하여 학생들의 주의를 산만하게 하는 것이 아닌 흥미를 끌도록 해야 할 것이다(Hirsh-Pasek et al., 2022).

세 가지 유형의 배경화면 경험에서 모두 감소된 것으로 확인되는 왼쪽 DLPFC는 목표지향적인 행동과 집중력 조절 그리고 작업기억과 같은 인지기능에 관여한다고 밝혀져 있는데(Barbey et al., 2013), 특히 왼쪽 DLPFC 영역은 언어적 작업기억 관련 조작이 이루어질 때 편측적으로 나타난다고 하였다(Murphy et al., 1998). 이는 메타버스에서 이루어지는 학습상황에서 너무 다양한 요소들이 제시될 경우 학습 내용에 집중하는 데 방해될 수 있고 작업기억을 통합하는 데에 방해하는 요소로 작용될 우려가 있음을 나타내며 메타버스에 배치되어 있는 정보들은 언어적 작업기억과 관련된 적절한 자극을 주지 못하여 나타난 결과로 보인다.

실사형 일러스트와 픽셀 그래픽에서는 BA 47에 해당하는 왼쪽 OFC인 Ch. 48에 활성이 나타난 것으로 확인되었다. BA 47은 언어 생성 시스템에 중추적인 역할을 담당하는데(Ardila et al., 2017) 주로 구두로 하는 의사소통과 수화에서의 의미 식별 그리고 단어와 문장의 의미를 식별하는 것에 관여한다고 알려져 있다(Dapretto et al., 1999; Dronkers et al., 2004). 이러한 내용은 실사형 일러스트와 픽셀 그래픽 배경은 2.5D 그래픽 배경에서의 학습보다 글 정보의 의미 파악 및 학습 과정에서 의사소통 시 더 효과적으로 제시할 수 있을 것으로 보인다.

2.5D 그래픽 배경의 메타버스에서 학습할 때는 왼쪽 DLPFC와 동시에 양쪽 FP 영역의 활성이 감소한 것을 확인할 수 있었다. FP 영역은 목표지향적인 사고(Zajkowski et al., 2017)와 동시에 여러 가지 일을 수행하는 것과 관련된 활동을 할 때 활성화된다고 밝혀져 있고(Koechlin. et al., 2007), 두뇌 활성 영역의 연결에 관해 분석한 Fletcher et al. (2001)의 연구에서는 FP는 DLPFC를 조절하고 통합하는 역할을 하여 과제 수행 중 인지 기억을 유지하는 데 도움을 주기 위해 작동한다고 이야기하고 있다. 이러한 영역에서의 활성 감소가 나타났다는 것은 2.5D 그래픽은 생태계에서 생물을 관찰·탐구하고 관찰된 내용에 대해 정보를 통합하여 조작 및 모니터링 하는데 방해하는 요인을 갖고 있다고 비춰 볼 수 있다.

Differences in Brain activity between Metaverse Background Types

Difference Between Realistic Illustration and Pixel Graphic

실사형 일러스트 배경의 메타버스를 경험한 두뇌 활성 구간에서 픽셀 그래픽 배경의 메타버스를 경험한 두뇌 활성 구간을 감산한 결과 오른쪽 DLPFC 영역인 Ch. 1 (BA 46)에서 유의미한 두뇌 활성을 확인할 수 있었다.

오른쪽 DLPFC는 시각적인 작업기억을 조작할 때 편측적으로 활성화된다고 밝혀져 있다(Murphy et al., 1998). 앞서 설명한 DLPFC의 기능과 종합해 볼 때 실사형 일러스트 배경 메타버스에서 생태계탐험 활동을 하는 것이 학생으로 하여금 자신의 행동에 더 집중할 수 있도록 하는 데 있어 픽셀 그래픽보다 더 효과적으로 제시할 수 있을 것이며, 실사형 일러스트 배경의 생태계는 픽셀 그래픽 배경의 생태계 보다 시각적인 정보를 조작하는 데 유리하다고 추측해 볼 수 있다.

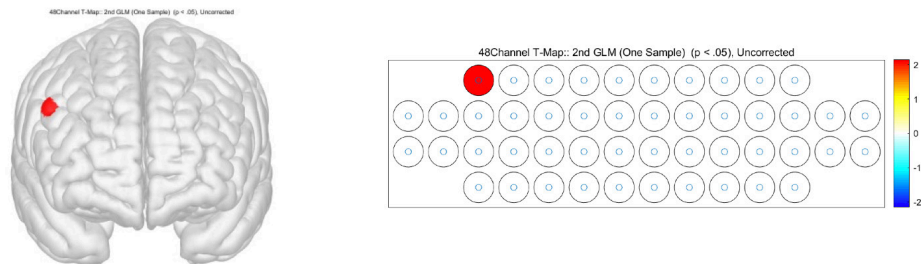


Fig. 5. Differences in brain activity between metaverse background types (Realistic Illustration > Pixel Graphic, $p < .05$)

Table 4. Differences in brain activity between metaverse background types (realistic illustration > pixel graphic)

Region	Broadmann Area	Hemisphere	Channel	t (p^*)
DLPFC	BA 46	R	1	2.1530 (0.0492)

Difference Between Realistic Illustration and 2.5D Graphic

실사형 일러스트 배경의 메타버스를 경험한 두뇌 활성 구간에서 2.5D 그래픽 배경의 메타버스를 경험한 두뇌 활성 구간을 감산한 결과 왼쪽 DLPFC 영역인 Ch. 43 (BA 10)과 양측 FP 영역 Ch. 21, 25, 37 (BA 10)에서 두뇌 활성을 확인할 수 있었다.



Fig. 6. Differences in brain activity between metaverse background types (Realistic Illustration > 2.5D Graphic, $p < .05$)

Table 5. Differences in brain activity between metaverse background types (realistic illustration > 2.5D graphic)

Region	Broadmann Area	Hemisphere	Channel	$t(p^*)$
DLPFC	BA 10	L	43	2.2682 (0.0352)
	BA 10	R	21	2.2819 (0.0342)
FP	BA 10	R	25	2.3206 (0.0322)
	BA 10	L	37	2.3199 (0.0316)

DLPFC에 유의미한 활성이 나타났다는 것은 위와 마찬가지로 실사형 일러스트 배경에서의 메타버스 생태계탐험 활동은 2.5D 그래픽 배경에서 하는 메타버스 생태계탐험 활동보다 자신의 행동에 대한 집중력을 높이는 데 효과적이라고 이야기할 수 있으며, 특히 Ch. 43은 왼쪽에 있는 DLPFC로 여기에 활성이 나타난 것은 실사형 일러스트 배경은 2.5D 그래픽 배경보다 언어적 정보를 조작하는 데 유리하다고 추측해 볼 수 있다 (Murphy et al., 1998).

양측 FP 영역에 나타난 유의미한 활성은 실사형 일러스트 배경 메타버스에서의 생태계탐험 활동이 2.5D 그래픽 배경에서보다 목표지향적인 다중 작업을 수행하는 데 더 유리할 수 있다는 것을 의미한다(Koechlin et al., 2007; Zajkowski et al., 2017). 앞서 설명했던 FP와 DLPFC의 상호작용 결과 실사형 일러스트 배경에서 생물을 관찰하는 것은 2.5D 그래픽 배경에서 생물을 관찰·탐구하는 것보다 관찰된 내용에 대한 정보를 통합하여 조작 및 모니터링 하는 데 효과적일 수 있다고 이야기할 수 있다(Fletcher et al., 2001).

이외 픽셀 그래픽과 2.5D 그래픽을 사용할 때 나타난 두뇌 활성 결과를 중심으로 감산하여 분석해 보았을 때는 위 제시된 두 가지 경우에 반대되는 활성 외 유의미한 활성 모델이 만들어지지 않았다.

Conclusion

이 연구에서는 메타버스 생태계탐험 활동에서 실사형 일러스트, 픽셀 그래픽, 2.5D 그래픽 세 가지 배경 유형이 두뇌 활성화에 미치는 영향을 알아보고자 수행되었으며 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 각 배경 유형에서 모두 왼쪽 DLPFC 활성화 감소 및 OFC에서의 활성화 증가가 나타났다. 이는 배경 유형과 상관없이 공통으로 나타난 결과로 메타버스 자체에 대한 효과로 해석될 수 있을 것이다. 메타버스의 다양한 자극들은 학습자 동기부여 및 흥미를 유발에 효과적일 수 있지만, 너무 다양한 요소가 제시되면 학습 집중에 오히려 방해될 수 있으므로 이를 고려하여 적절히 배치해야 한다. 또한 메타버스를 수업 도구로 개발할 때 내용 정보들이 언어적 작업기억에 유의미한 자극을 줄 수 있도록 설계해야 한다.

둘째, 실사형 일러스트와 픽셀 그래픽에서 BA 47의 활성화가 나타났다. BA 47의 특징으로 미루어 보았을 때 실사형 일러스트와 픽셀 그래픽은 2.5D 그래픽보다 학생들에게 구두 의사소통, 단어와 문장 구분 등 언어적인 학습 요소를 제시하기에 더 유용하다고 할 수 있다. 메타버스의 큰 특징인 시공간을 초월한 의사소통이 효과적으로 이루어질 수 있도록 하기 위해서는 2.5D 그래픽보다는 실사형 일러스트와 픽셀 그래픽을 활용하는 게 더 효과적이라는 결론을 도출할 수 있다.

셋째, 2.5D 그래픽 배경에서 왼쪽 FP 영역에서의 활성화 감소가 나타났다. 이러한 결과는 2.5D 그래픽이 관찰 내용에 대한 정보 통합 및 조작 인지 활동과 모니터링에 방해 요소가 있음을 시사한다. 따라서 2.5D 그래픽은 생물을 탐구하고 관찰하는 생태계를 구현하는데 적합하지 않은 배경임을 나타낸다.

넷째, 실사형 일러스트는 픽셀 그래픽 배경에 비해 오른쪽 DLPFC 영역의 활성화가 더 높다. 이는 픽셀 그래픽보다 실사형 일러스트가 자신의 행동을 관찰하거나 학습 내용을 종합하고 통합하여 조작하는 데에 더 효과적으로 제시할 수 있으며, 시각적인 정보를 제시하는데 더 효과적이라고 할 수 있다.

다섯째, 실사형 일러스트 배경은 2.5D 그래픽보다 왼쪽 DLPFC 영역과 양측 FP 영역의 활성화가 더 높다. 이는 실사형 일러스트는 픽셀 그래픽보다 자신의 행동을 관찰하고, 그 내용을 종합하고 통합하여 조작하기에 더 효과적으로 제시할 수 있다고 해석할 수 있다. 또한, 메타버스에서의 생태계탐험 활동에서 목표지향적인 다중 작업을 수행하기에도 2.5D 그래픽보다 실사형 일러스트 배경이 더 효과적이라는 것을 알 수 있다.

위의 결론을 통해 다음과 같은 교육적 함의를 제시할 수 있다. 메타버스는 학습자가 자유롭게 관찰하고 탐구하는 교육활동을 제시하기에 유용한 학습 도구로 사용될 수 있다. 하지만 메타버스의 구성 요소들이 학습 내용에 잘 분석하여 배치해야 한다. 또한, 시각적으로 화려한 자극이 주를 이루는 메타버스의 특성상 고른 두뇌 자극을 위하여 언어적 자극을 적절히 배치하여 내용을 설계해야 한다.

이 연구에서는 메타버스 생태계를 구현할 때 실사형 일러스트를 배경으로 활용하는 것이 시공간을 초월한 의사소통 향상, 인지 활동 수행, 정보 제시 및 목표지향적 다중 작업 수행 측면에서 보다 더 적합하다는 것을 신경과학적으로 확인하였다. 이러한 결론을 바탕으로 생명과학 수업에서 메타버스를 활용한 생태계 학습이나 교육용 메타버스 구축을 위한 가이드 라인을 제시할 수 있을 것입니다.

Acknowledgments

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2022S1A5A2A0104319111).

References

- Al-Soubeh, L. I. (2018). Evaluating the quality of “Tadris” learning management system-based e-courses in Riyadh schools for girls, Riyadh city. *Journal of Reading and Knowledge*, 196, 239-282.
- Alvarez, G. (2016). Pencils, Paints, or Pixels? How Aesthetic Choices of Indie Games Affect Interactive Experience.
- Anderson, S. L. (2016). Turning pixels into people: Procedural embodiedness and the aesthetics of third-person character corporeality. *Journal of Games Criticism*, 3. Retrieved March 11, 2023 from <http://gamescriticism.org/articles/anderson-3-2>
- Ardila, A., Bernal, B., & Rosselli, M. (2017). Should Broca’s area include Brodmann area 47? *Psicothema*, 29, 73-77.
- Ballesta, S., Shi, W., Conen, K. E., & Padoa-Schioppa, C. (2020). Values encoded in orbitofrontal cortex are causally related to economic choices. *Nature*, 588, 450-453.
- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *cortex*, 49, 1195-1205.
- Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2008). Affective neuroscience of pleasure: Reward in humans and animals. *Psychopharmacology*, 199, 457-480.
- Bunce, S.C., Izzetoglu, M., Izzetoglu, K., Onaral, B., & Pourrezaei, K. (2006). Functional near-infrared spectroscopy - An emerging neuroimaging modality. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, July, 54-62.
- Contreras, G. S., González, A. H., Fernández, M. I. S., Martínez, C. B., Cepa, J., & Escobar, Z. (2022). The importance of the application of the metaverse in education. *Modern Applied Science*, 16, 1-34.
- Dapretto, M., & Bookheimer, S. Y. (1999). Form and content: dissociating syntax and semantics in sentence comprehension. *Neuron*, 24, 427-432.
- Dehghani, M., Mohammadhasani, N., Hoseinzade Ghalevandi, M., & Azimi, E. (2023). Applying AR-based infographics to enhance learning of the heart and cardiac cycle in biology class. *Interactive Learning Environments*, 31, 185-200.
- Diaspro, A., Bianchini, P., Cuneo, L., Baldini, F., Cainero, I., Usai, C., ... Piazza, S. (2023). Optical nanoscopy challenges in the metaverse era. The case of multimodal imaging of chromatin in the nucleus. *Biophysical Journal*, 122, 275-276.
- Dronkers, N. F., Wilkins, D. P., Van Valin Jr, R. D., Redfern, B. B., & Jaeger, J. J. (2004). Lesion analysis of the brain areas involved in language comprehension. *Cognition*, 92, 145-177.
- Erbas, C., & Demirer, V. (2019). The effects of augmented reality on students' academic achievement and motivation in a biology course. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35, 450-458.
- Fletcher, P. C., Anderson, J.M., Shanks, D. R., Honey, R., Carpenter, T. A., Donovan, T., Papadakis N., & Bullmore, E. T. (2001). Responses of human frontal cortex to surprising events are predicted by formal associative learning theory. *Nature Neuroscience*, 4, 1043-1048.
- Frey, S., & Petrides, M. (2000). Orbitofrontal cortex: A key prefrontal region for encoding information. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97, 8723-8727.
- Fuchsova, M., & Korenova, L. (2019). Visualisation in basic science and engineering education of future primary school teachers in human biology education using augmented reality. *European Journal of Contemporary Education*, 8, 92-102.
- Gadekallu, T. R., Huynh-The, T., Wang, W., Yenduri, G., Ranaweera, P., Pham, Q. V., ... Liyanage, M. (2022). Blockchain for the metaverse: A review. *arXiv preprint arXiv:2203.09738*.

- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J., Hadani, H. S., Golinkoff, R. M., Clark, K., Donohue, C., & Wartella, E. (2022). A Whole New World: Education Meets the Metaverse. Policy.
- Inceoglu, M. M., & Ciloglugil, B. (2022, July). Use of Metaverse in education. In Computational Science and Its Applications-ICCSA 2022 Workshops: Malaga, Spain, July 4-7, 2022, Proceedings, Part I (pp. 171-184). Cham: Springer International Publishing.
- Koechlin, E., & Hyafil, A. (2007). Anterior prefrontal function and the limits of human decision-making. *Science*, 318, 594-598.
- Krasnoryadtseva, A., Dalbeth, N., & Petrie, K. J. (2020). The effect of different styles of medical illustration on information comprehension, the perception of educational material and illness beliefs. *Patient education and counseling*, 103, 556-562.
- Lee, H., Woo, D., & Yu, S. (2022). Virtual reality metaverse system supplementing remote education methods: Based on aircraft maintenance simulation. *Applied Sciences*, 12, 2667.
- Lin, J. (2022, May). On the Innovative Design of Digital Media Under the Background of the Metaverse. In 2022 International Conference on Comprehensive Art and Cultural Communication (CACC 2022) (pp. 158-163). Atlantis Press.
- Liu, X. (2022, December). The Application of the Metaverse in Ecological Education. In Metaverse-METAVVERSE 2022: 18th International Conference, Held as Part of the Services Conference Federation, SCF 2022, Honolulu, HI, USA, December 10-14, 2022, Proceedings (pp. 95-102). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Murphy, D. G. M., Daly, E. M., Van Amelsvoort, T., Robertson, D., Simmons, A., & Critchley, H. D. (1998). Functional neuroanatomical dissociation of verbal, visual and spatial working memory. *Schizophrenia Research*, 1, 105-106.
- Mustafa, B. (2022). Analyzing education based on metaverse technology. *Technium Social Sciences Journal*, 32, 278.
- Mystakidis, S. (2022). Metaverse. *Encyclopedia*, 2, 486-497.
- OBELAB, Inc., (2023). NIRSIT Brochure, Seoul, Republic of Korea. Retrieved from https://www.obelab.com/product/product_nirsit.php
- Oberdörfer, S., Elsässer, A., Grafe, S., & Latoschik, M. E. (2021, September). Grab the Frog: Comparing Intuitive Use and User Experience of a Smartphone-only, AR-only, and Tangible AR Learning Environment. In Proceedings of the 23rd International Conference on Mobile Human-Computer Interaction (pp. 1-12).
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Park, S. H., Park, J. S., Hwang, N. R., Kwon, S. H., & Kwon, Y. J. (2019). An exploration of the brain study through a practical measurement and application using fNIRS in educational research. *Brain, Digital, & Learning*, 9, 213-231.
- Pascal Willoughby-Petit. (2021). The importance of design in elearning content development. Retrieved from "<https://elearningindustry.com/the-importance-of-design-in-elearning-content-development>"
- Petersen, S. E., & Dubis, J. W. (2012). The mixed block/event-related design. *Neuroimage*, 62, 1177-1184.
- Plass, J. L., & Kaplan, U. (2016). Emotional design in digital media for learning. In S. Y. Tettegah & M. Gartmeier (Eds.), *Emotions, Technology, Design, and Learning* (pp. 131-161). Elsevier Academic Press.
- Shu, X., & Gu, X. (2023). An empirical study of a smart education model enabled by the edu-metaverse to enhance better learning outcomes for students. *Systems*, 11, 75.
- Sipper, J. A. (2022). *The Cyber Meta-Reality: Beyond the Metaverse*. Rowman & Littlefield.

- Snowdon, D., Churchill, E. F., & Munro, A. J. (2001). Collaborative virtual environments: Digital spaces and places for CSCW: An introduction (pp. 3-17). Springer London.
- Špernjak, A., & Šorgo, A. (2018). Differences in acquired knowledge and attitudes achieved with traditional, computer-supported and virtual laboratory biology laboratory exercises. *Journal of Biological Education*, 52, 206-220.
- Wang, X. M., Hu, Q. N., Hwang, G. J., & Yu, X. H. (2022). Learning with digital technology-facilitated empathy: An augmented reality approach to enhancing students' flow experience, motivation, and achievement in a biology program. *Interactive Learning Environments*, 1-17.
- Weng, C., Otanga, S., Christianto, S. M., & Chu, R. J.-C. (2020). Enhancing students' biology learning by using augmented reality as a learning supplement. *Journal of Educational Computing Research*, 58, 747-770.
- Wibowo, F. C., Setiawan, A., Alizkan, U., Darman, D. R., & Budi, E. (2019). Educational technology of virtual physics laboratory (VPL) for the microscopic concept. *Universal Journal of Educational Research*, 7, 2867-2882.
- Zajkowski, W. K., Kossut, M., & Wilson, R. C. (2017). A causal role for right frontopolar cortex in directed, but not random, exploration. *Elife*, 6, e27430.
- Zhao, Y., Jiang, J., Chen, Y., Liu, R., Yang, Y., Xue, X., & Chen, S. (2022). Metaverse: Perspectives from Graphics, Interactions and Visualization. *Visual Informatics*.
- Zhou, L., Zhou, L., Tian, L., Zhu, D., Chen, Z., Zheng, C., ... Bo, L. (2018). Preoperative education with image illustrations enhances the effect of tetracaine mucilage in alleviating postoperative catheter-related bladder discomfort: a prospective, randomized, controlled study. *BMC Anesthesiology*, 18, 1-7.
- Zufri, T., Hilman, D., & Frans, O. (2022). Research on the application of pixel art in game character design. *Journal of Games, Game Art, and Gamification*, 7, 27-31.

Authors Information

Park, Seohee: Korea Advanced Institute of Science and Technology, Researcher, First Author

Lee, Jeong-Hwa: Korea National University of Education, Graduate Student, Co-author

Lee, Su-Min: Korea National University of Education, Graduate Student, Co-author

Jung Da-Kyong: Korea National University of Education, Graduate Student, Co-author

Kwon, Yong-Ju: Korea National University of Education, Professor, Corresponding Author

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8283-1574>