

뉴로 피드백을 활용한 명상 콘텐츠 기술 및 연구 동향

최민호¹ · 배장한² · 김재욱^{3*}

¹한국한의학연구원 선임연구원

²한국한의학연구원 기술연구원

^{3*}한국한의학연구원 책임연구원

Trends in Neurofeedback-based Meditation Content

Minho Choi¹ · Jang-Han Bae² · Jaeuk U. Kim^{3*}

¹Senior Researcher, Korea Institute of Oriental Medicine (KIOM), Daejeon 34054, Korea

²Technology Researcher, Korea Institute of Oriental Medicine (KIOM), Daejeon 34054, Korea

^{3*}Principal Researcher, Korea Institute of Oriental Medicine (KIOM), Daejeon 34054, Korea

[요약]

산업화 및 도시화가 진행됨에 따라 현대인의 정신 건강 케어가 중요한 문제로 대두되고 있으며, 이에 대한 방안 중 하나로 명상이 활용되고 있다. 또한 명상에 대한 일반인의 접근성을 높이기 위하여 IT 기술과 결합된 다양한 형태의 디지털 명상 콘텐츠들이 제안되고 있고, 그중 일부에서는 뉴로 피드백을 접목하여 명상의 효과를 높이기 위한 시도가 진행되고 있다. 본 연구에서는 명상을 위한 뉴로 피드백 기술 개발에 활용될 수 있도록, 뉴로 피드백과 결합된 디지털 명상 콘텐츠의 현황, 기술 개발을 위해 활용 가능한 장비, 그리고 관련 연구 동향에 대하여 소개하고 기술 개발을 위해 고려해야 할 요소들을 정리하여 제시하였다. 기술 구현에 필요한 요소들에 대한 전반적인 이해를 돕고 활용 가능한 리소스를 빠르게 파악할 수 있도록 연구 내용을 기술하였으며, 이를 토대로 사용자의 순응도와 정신 케어 효과가 높은 뉴로 피드백 기반의 디지털 명상 콘텐츠들이 개발되기를 기대한다.

[Abstract]

As modern society advances toward industrialization and urbanization, the mental health care for individuals has become a significant concern. One solution to address this matter is incorporating meditation in daily life. Various forms of digital meditation contents combined with information technology (IT) have been proposed to enhance the accessibility of meditation for the general public. Some of these efforts focus on incorporating neurofeedback methodology to enhance the effects of meditation. This study provides the current status of digital meditation content integrated with neurofeedback techniques and compatible commercial devices, along with relevant research trends to advance the neurofeedback-based approach to meditation. Finally, we provide an overview of the essential elements required for technical implementation and outline the available resources for quick utilization to help improve meditation efficiency. Based on this groundwork, we look forward to developing neurofeedback-based digital meditation content that promotes user engagement and mental well-being.

색인어 : 뉴로 피드백, 명상, 디지털 콘텐츠, 뇌파 측정 장치, 뇌파 분석

Keyword : Neurofeedback, Meditation, Digital Contents, Devices for EEG, EEG Analysis

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.11.2799>



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 31 August 2023; **Revised** 22 September 2023

Accepted 24 October 2023

***Corresponding Author, Jaeuk U. Kim**

Tel: +82-42-868-9558

E-mail: jaeukkim@kiom.re.kr

I. 서론

산업의 발달로 사회의 변화 속도가 빨라지고 경쟁이 심해짐에 따라 현대인의 불안, 스트레스, 그리고 우울 등을 포함하는 정신 건강 관련 문제들이 증가하고 있고[1], 최근의 코로나19 팬데믹 등이 이러한 경향을 한층 더 가속화하고 있다. 예로써, 한국의 우울증 환자 수는 2020년 100만 명 이상으로 증가했으며 OECD 국가 중에서 코로나19 이후 우울증 유병률이 가장 높게 나타났다[2]. 또한, 국내의 불안장애 환자는 2017년 37만 명을 넘어섰으며 해마다 그 수가 증가 추세에 있다[3]. 정신과 진료나 상담 이외에 이러한 정신 건강상의 문제를 해결하고 심리적인 안정을 추구하기 위한 방안으로 명상이 활용될 수 있다. 명상은 주의력과 정서적 발달에 중점을 둔 정신 활동을 포괄하는 용어로, 현재의 현상과 자신을 있는 그대로 지각하는 훈련인 마음 챙김 명상 (mindfulness) 과 함께 몸의 움직임에 따라 구분되는 정적 및 동적 명상 등과 같은 다양한 형태를 가지고 있다[4]. 미국의 국민 건강실태조사에 따르면 명상을 접한 성인의 비율이 2012년 6.5%에서 2017년 21.1%로 증가했을 정도로 대중의 명상에 대한 관심이 증가하고 있다[5]. 그리고 높아져 가는 명상 인구에 따라 Headspace와 Calm 등과 같이 명상을 보다 쉽고 체계적으로 수행하기 위한 디지털 콘텐츠들이 개발 및 서비스되고 있다[6]. 해당 디지털 콘텐츠는 주로 스마트폰의 앱 형태로 구현이 되어 있으며, 명상을 가이드 하거나 집중도를 높일 수 있는 시청각적인 콘텐츠를 제공함과 동시에 명상 습관을 관리할 수 있는 기능 등을 제공한다.

명상의 디지털 콘텐츠화에서 더 나아가, 명상을 수행 중인 사용자의 상태를 모니터링 및 분석하여 해당 정보를 명상의 효과나 사용자의 콘텐츠 순응도를 높이기 목적으로 사용하는 바이오 피드백 기술 개발에 대한 시도도 최근 진행되고 있다 [7]. 해당 기술은 주로 사용자의 움직임이나 심박 수, 호흡 등을 관찰하며[8], 이중 뇌파의 변화를 분석의 대상으로 하는 기술을 뉴로 피드백이라 한다. 뇌파는 뇌 신경계 활동에 의해 발생하는 전기적 신호를 측정된 것으로, 해당 신호를 분석하여 뇌의 활성화나 감각 및 인지 상태에 대한 정보를 확인할 수 있다[9]. 명상을 수행하면 뇌의 전 전두엽 피질, 뇌도 및 전측 대상 피질을 포함한 다양한 부분이 활성화되고 뇌 각 부분의 연결성이 증가한다는 것이 기능성 자기 공명 영상을 활용한 연구에서 관찰된 바 있으며, 이러한 변화가 알파 및 세타 대역과 같은 뇌파의 특정 성분에 영향을 미치는 것이 확인되었다. 뉴로 피드백 기술은 사용자의 뇌파 신호를 분석하고 해당 정보를 시청각적인 피드백을 통하여 실시간으로 측정자에게 제공함으로써, 사용자가 자신의 뇌 활동을 인식하고 의도하는 방향으로 뇌가 자극 및 반응하도록 스스로를 통제할 수 있게 한다. 그리고 이러한 뉴로 피드백 기술을 명상 중에 활용함으로써, 명상과 두뇌 활동 사이의 상호 작용을 사용자가 이해하고 올바른 명상 상태를 유지할 수 있게 된다[10]. 실제로 선행 연구들에서 명상에 뉴로 피드백 기술을 도입하

여 명상의 효과를 높일 수 있음이 확인되었다. 16명을 대상으로 한 실험에서 뉴로 피드백의 사용 유무에 따라 마음 챙김 명상에 깊게 빠져드는 정도를 사용자 인터뷰를 통하여 평가하였고, 결과에서 뉴로 피드백이 더 깊은 명상을 가능하게 하는 효과가 있으며 수치적으로 비교 군과 통계적인 유의성이 있음을 확인하였다. Salminen은 자비와 동정심 명상에서 착안하여 사용자들의 공감을 자극 및 서로에 대한 긍정적인 감정을 불러일으키는 명상 콘텐츠를 제작하고 72명을 대상으로 실험을 실시하였다[11]. 그리고 결과에서 뉴로 피드백의 활용이 해당 명상 콘텐츠가 의도한 사용자들 간의 공감을 높이는 효과가 있음을 보여주었다. Tarrant는 병원에 근무하는 100명의 피험자를 대상으로 VR (virtual reality) 기반의 명상 콘텐츠를 사용하였고, 피험자의 주관적 평가를 통하여 뉴로 피드백을 VR 콘텐츠와 함께 활용하였을 때 명상을 통해 피로감과 정신적인 혼란을 줄일 수 있었으며 고요함과 행복감을 더 많이 느끼게 되는 등 명상의 효과가 상승함을 결과로 보고하였다[12]. 그밖에 다양한 임상 결과들로 명상을 위한 뉴로 피드백의 이점이 입증된 바 있으며, 해당 기술과 관련된 상용 콘텐츠도 또한 다양한 형태로 서비스되고 있다.

본 연구에서는 명상을 위한 뉴로 피드백 기술 및 콘텐츠 개발을 위해 활용될 수 있도록 관련 분야의 기술 및 연구 동향에 대하여 정리하여 소개한다. 구체적으로 본문은 크게 네 부분으로 구성되며, 첫 번째 내용에서는 뉴로 피드백에 활용될 수 있는 상용 뇌파 측정 장비에 대하여 나열하고 활용 방안에 대하여 간략하게 언급한다. 다음으로 현재 서비스되고 있는 명상 및 뉴로 피드백 기반 명상 콘텐츠들의 특징을 분석하였으며, 세 번째로 기 수행된 뉴로 피드백 관련 연구들에 대하여 요약하고 주요 내용들을 기술하였다. 그리고 마지막으로 명상 기법 중 뉴로 피드백 기술이 가장 많이 활용되었던 마음 챙김 명상으로[13], 현대인의 스트레스, 불안 및 우울감을 완화하기 위한 뉴로 피드백 기반의 콘텐츠를 개발하기 위해 필요한 요소들에 대하여 분석 및 기술하였다. 해당 연구 내용을 통하여 뉴로 피드백 기술 및 콘텐츠 개발을 위해 활용 가능한 리소스 (resource) 및 필요 구성 요소를 파악할 수 있어, 뉴로 피드백 기술 및 콘텐츠의 개발 방향 설정 및 기술 구현에 도움이 될 것으로 생각한다.

II. 활용 가능한 뇌파 측정기기 현황

뇌파를 측정하기 위한 전극의 부착 부위는 주로 국제 10-20 시스템에 근거하며, 연구용으로는 다양한 부위에서 측정된 뇌파 신호 간의 연결성 분석 등을 위해 다채널 뇌파 측정이 주로 활용된다[14]. 또한 잡음에 민감하고 신호의 크기가 작은 뇌파의 특성을 고려하여 두피와 전극 간의 접촉 저항을 낮추기 위한 젤 및 습식 전극 등이 신호 측정 과정에서 함께 사용된다. 하지만, 이러한 다채널의 습식 전극 사용은 사

표 1. 뉴로 피드백 콘텐츠 개발에 활용 가능한 뇌파 측정 기기 현황

Table 1. Status of electroencephalography (EEG) measurement devices for utilization in neurofeedback content development

Type	Device name (Manufacturer)		EEG signal	Features	Reference URL
Separate device		Insight 2.0 (Emotiv)	AF3, AF4, T7, T8, Pz (128Hz, CMS/DRL reference)	Bluetooth 5 support, 20 hour battery life, motion information is available	https://www.emotiv.com/in-sight/
		Muse S Gen 2 (Interaxon)	TP9, AF7, AF8, TP10 (256Hz, FPz reference)	Size Range: 48–63cm, 10–12 hour battery life, weight: 41g, PPG and motion information are available	https://choosemuse.com/products/muse-s-gen-2
		neuroNicle FX2 (LAXTHA)	Fp1, Fp2 (250Hz, A2 reference)	Dimension: 150x130x20mm, weight: under 67g, PPG is available	https://www.laxtha.com/Product.asp?catgrpid=1
		BrainLink Dual (MacroTelect)	Fp1, Fp2 (512Hz)	Dimension: 16x16x3mm, 4–5 hour battery life, weight: 39g	https://o.macrotellect.com/2020/BrainLink_Lite.html
		MindWave Mobile 2 (NeuroSky)	Fp1 (512Hz, A1 reference)	Dimension: 225x155x92mm, 8 hour battery life, weight: 90g	https://store.neurosky.com/pages/mindwave
Integration with VR		DSI-VR300 (Wearable Sensing)	Fz, Pz, P3, P4, PO7, PO8, Oz (300Hz, A1 reference)	VR: HTC-Vive, active dry electrodes	https://www.neurospec.com/Products/Details/1077/dsi-vr300
		Galea (OpenBCI)	8 active, 2 passive electrodes	VR: Varjo Aero/XR3, EMG (4 ch), EOG (2ch), EDA, PPG (250Hz), eye tracking (200Hz) are available	https://galea.co/#specs
		LUCY (Looxid Labs)	Fp1, Fp2, AF7, AF8, AF3, AF4 (500Hz, A2 reference)	VR-based cognitive function evaluation and training system	https://looxidlabs.com/product/lucy
		OMNIFIT VR	Fp1, Fp2 (adjustable, 250Hz)	VR: DPVR, VR training with biofeedback (EEG and PPG)	https://www.omnifit.co.kr/vr

용자에게 구속감 및 불편함을 야기하여 명상과 같이 심리적 편안함과 집중력을 장시간 유지해야 하는 작업에서는 활용하기 어렵다. 따라서 명상을 위한 뉴로 피드백을 위해서는 사용자의 불편함을 최소화 하면서도, 전문가의 도움 없이도 쉽게 착용이 가능한 전극 배치와 구조를 가진 기기의 활용이 고려되어야 한다. 표 1은 뉴로 피드백 콘텐츠 개발을 위해 활용할 수 있는 상용 뇌파 측정 기기들을 조사한 결과이다. 이미 뉴로 피드백 콘텐츠 개발에 활용된 사례가 있거나 사용자 단독으로 착용이 가능하면서도 명상 수행을 방해하지 않을 정도의 구속감을 가진 장비들을 위주로 대상을 선정하였으며, VR과 함께 결합된 형태의 장비들도 함께 조사를 진행하였다.

Emotiv는 32 또는 14 채널과 같은 다채널 뇌파를 측정할 수 있는 연구용 장비를 제공하는 회사로, 다양한 뇌파 관련 연구에서 해당 제품들이 활용한 사례를 확인할 수 있다[15]. 측정의 편의성 높은 제품은 Insight 2.0 등이 있으며, 젤의 사용 없이 뇌파를 측정하기 위해 폴리머 센서를 활용하며 이를 통하여 5채널의 뇌파를 측정한다. 신호 측정 이외에 뉴로 피드백이나 뇌-컴퓨터 인터페이스 콘텐츠를 개발할 수 있는 소프트웨어 tool을 제공받을 수 있는 것 또한 해당 제품의 장점 중 하나이다.

Muse는 스마트폰 앱 형태의 명상 콘텐츠 서비스로, 명상에 바이오 피드백을 활용하기 위한 전용 기기인 Muse 2와 Muse S 등을 함께 제공한다. 이 중 Muse S는 뇌파 측정을 위한 전극들이 유연한 직물 소재에 결합되어 있어 수면 중에도 착용이 가능할 정도로 편의성이 높다. 해당 기기는 전두엽 및 측두엽의 4채널 뇌파를 측정할 수 있으며, 뇌파 이외에 PPG (photoplethysmography) 신호와 가속도 및 자이로 센서를 통한 움직임 정보도 획득 가능하다. 기본적으로 기기는 스마트폰 내의 전용 앱과 블루투스로 연결되지만, 연구용으로 제공되는 Muse Lab 프로그램을 통하여 PC와 연동하여 측정 신호를 시각화 및 저장 가능하며, 이 밖에 해당 기기로 다양한 콘텐츠를 제작할 수 있는 SDK (software development kit)를 제조사에서 제공한다.

LAXTHA에서는 neuroNicle E2와 FX2의 두 가지 형태에 무선 뇌파 측정 기기를 제공하며, 이 중 FX2는 귓볼에 착용되는 접지 전극 등을 통하여 PPG의 측정도 가능하다. 해당 기기를 PC와 블루투스 통신으로 연결하여 측정 신호를 시각화 및 저장 가능한 프로그램을 제조사에서 제공하며, 기타 다른 기기와 연동을 위한 개발 리소스도 제조사 홈페이지에서 확인할 수 있다. 그밖에 BrainLink Dual와 MindWave

Mobile2를 통해서도 간편하게 전두엽 뇌파 측정이 가능하며, 해당 기기를 활용하여 개발한 응용프로그램과 관련 연구 등에 대해서도 제조사 홈페이지 등에서 찾아볼 수 있다[16].

최근 VR 기술의 발달 및 장비의 보급으로 다양한 VR 콘텐츠들이 제작되고 있고, 명상 또한 VR 환경에서 수행할 수 있도록 도와주는 콘텐츠들이 소개되고 있다[17]. 이와 함께 VR과 바이오 피드백을 결합하고자 하는 연구도 진행이 되고 있으며[18], 해당 목적으로 뇌파 등의 생체 신호를 측정할 수 있는 센서를 VR에 결합한 기기들도 개발이 되고 있다. VR 기반 명상 콘텐츠에 뉴로 피드백을 활용할 때, VR에 측정 센서가 결합된 기기를 사용하면 뇌파 측정을 수행하기 위한 별도의 기기를 병용하는 것보다 사용자의 편의성을 향상 및 시스템의 복잡도를 낮출 수 있다는 장점이 있다. 또한 소프트웨어적으로 VR 프로그램 내에서 센서 측정 신호에 접근이 가능하면 뉴로 피드백 콘텐츠를 보다 쉽게 구현할 수 있다.

해당 기기의 예로, DSI-VR300은 후두엽 부위의 7채널 뇌파를 측정하기 위한 능동 건식 전극이 VR을 사용자의 머리에 고정시키기 위한 구조물에 장착된 일체형 장비로, 뇌파 측정을 위한 별도의 기기 착용이 필요 없다. 그리고 센서에서 측정된 데이터는 블루투스 통신을 통하여 외부로 송신 가능하다. 다만 DSI-VR300은 특정 상용 VR 장비 (HTC VIVE)에만 최적화하여 활용할 수 있고 VR 콘텐츠와 뇌파 신호를 동기화하기 위한 통합 SW를 제공하고 있지는 않다. 따라서 VR 기반의 뉴로 피드백 콘텐츠를 개발하기 위해서는 연구자가 추가적인 동기화 모듈을 개발해야 한다. 하지만 본 기기는 연구용 목적의 기기이기 때문에 다양한 기능들을 사용자 의도대로 변경하여 사용할 수 있는 장점이 있다.

Galea는 eye tracking 기능을 가진 VR 기기인 Varjo Aero 또는 XR-3에 다양한 생체 신호를 측정할 수 있는 센서가 결합된 기기이다. 측정 신호는 뇌파 이외에 PPG, EMG (electromyography), EOG (electrooculography), 그리고 EDA (electrodermal activity) 등 매우 다양하며 얼굴 부분에서 측정할 수 있는 생체 신호의 대부분이 포함된다. 뇌파 측정을 위해서는 전두엽 부분에 2개의 전극 이외에 8개의 능동 건식 전극이 사용되어 다른 기기에 비하여 다양한 부위의 뇌파 측정이 가능하다. 하드웨어적인 특징 이외에 소프트웨어적으로도 센서 데이터 처리나 시각화를 위한 인터페이스를 제공하며 센서 데이터에 접근하기 위한 SDK를 다양한 프로그래밍 언어로 제공하여 개발 편의성이 높다는 장점도 가지고 있다.

LUCY는 VR 콘텐츠를 체험 중인 사용자의 뇌파를 측정하여 인지 수준을 평가하기 위한 시스템이다. 사용자의 이마에서 전두엽 뇌파 측정을 위한 6채널 센서가 탑재된 마스크를 VR에 부착하고, 뇌파 측정 모듈을 VR 상단에 결합해 측정의 편의성을 높였다.

OMNIFIT VR은 정신 건강을 위한 치유 훈련 솔루션으로 다양한 VR 콘텐츠를 이용한 훈련을 하면서 뇌파를 측정할 수 있다. 전두엽 뇌파 측정을 위한 유연한 2채널 bio flex 센서

를 VR에 부착하고, 측정 모듈을 VR 상단에 결합하였으며, 서버와 연동된 시스템을 기반으로 결과 관리를 할 수 있다. 해당 기기에서 측정된 생체 신호 및 VR 콘텐츠에 관한 연구 자료들은 제조사의 홈페이지에서 참조할 수 있다.

III. 명상을 위한 디지털 콘텐츠 사례

뉴로 피드백과 명상이 결합된 디지털 콘텐츠 및 연구에 대한 고찰 이전에 명상의 개념과 관련 디지털 콘텐츠의 개발 사례 등을 본 장에서 간략하게 소개 및 분석하였다. 명상은 정신적인 안정과 내적 조화를 찾기 위해 실천하는 다양한 기법과 방법을 포괄하며, 그 대표적 예로는 주의력 명상(focused attention), 개방적 주시 명상(open-monitoring), 초월 명상(transcendental meditation), 자비 명상(love-kindness meditation), 그리고 마음 챙김 명상(mindfulness) 등이 있다[19]. 주의력 명상은 메타나 히말라야 요가 등을 포함하며, 호흡, 신체 감각, 또는 시각적 이미지와 같은 선택한 개념 또는 대상에 지속적으로 주의를 집중하는 연습을 수행한다[20]. 여기에서 선택한 대상은 주의 집중을 위한 고정 지점의 역할을 하며, 결과적으로 주의력 명상을 통하여 정신의 민첩성과 집중력을 기를 수 있게 된다. 개방적 주시 명상은 이샤 요가, 비파사나 및 슈냐 요가를 포함하며, 명상 수행자의 의식을 모든 경험과 감정에 개방하는 것을 중요시하는 명상 기법이다. 이는 각 경험을 판단하거나 평가하지 않고, 그저 관찰하고 받아들이는 것을 목표로 하며, 이로써 내면의 경험을 더 잘 이해하고 감정을 균형 있게 처리할 수 있게 됨을 지향한다. 초월 명상은 특별한 음성 또는 언어를 의미하는 만트라를 사용하여 깊은 명상 상태를 달성하는 기법으로, 특정 대상이 아닌 소리나 만트라에 현재의 의식을 집중함으로써 스트레스 감소, 내적 평화, 창의성 증진을 목표로 한다[21]. 자비 명상은 자신과 모든 다른 존재에 대한 사랑과 동정을 발전시킴으로써 긍정적인 감정과 인내심을 갖게 되는 것에 집중하는 명상이다. 그리고 명상자는 이러한 감정을 자기가 모르는 또는 싫어하는 사람들에 대한 동정으로 확장하게 되며, 이를 통하여 자아 존중과 타인에 대한 긍정적인 감정을 촉진하고 사회적 소속감을 강화하는 데 도움을 주게 된다. 마지막으로 마음 챙김 명상은 현재의 현상과 자신을 있는 그대로 지각하는 훈련을 수행하며, 이로 인해 과거나 미래에 대한 걱정이나 분석적인 생각을 덜게 해주며 명상자가 감정적인 안정과 정신적 평화를 찾을 수 있도록 도와준다[22],[23].

이러한 명상을 보다 체계적으로 수행할 수 있도록 돕기 위한 스마트폰 앱 형태의 디지털 콘텐츠로 Calm, Headspace, 그리고 Simple Habit 등이 개발되었으며, 전 세계적으로 성공적으로 서비스가 진행되고 있다. 그리고 최근에는 VR 등을 활용하며 보다 다양한 시청각 자극을 기반으로 한 디지털 콘텐츠들이 제공되고 있으며, 주요 현황은 표 2와 같다. Guided

표 2. 주요 명상 관련 VR 콘텐츠
Table 2. Meditation-related VR content

Name (Company)	VR Platforms	Reference URL
Guided Meditation VR (Cubicle Ninjas)	HTC Vive, Oculus Rift, Quest 2, Quest Pro, Windows Mixed Reality HMD	https://guidedmeditationvr.com/
TRIPP (Tripp, Inc.)	HTC Vive Flow, PlayStation VR, Oculus Quest 2, Quest Pro	https://www.tripp.com/product/
Flow Meditation (FlowVR)	HTC Vive Flow, Oculus Quest, Quest 2	https://www.flow.is/virtual-reality-meditation
PLAYNE VR (Krish Shrikumar)	HTC Vive, Oculus Rift, HP Reverb, Valve Index	https://www.playne.co/

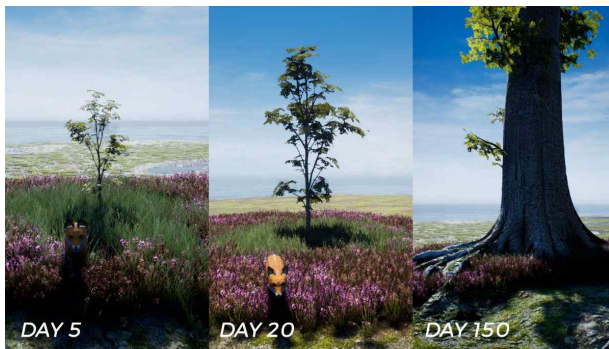


그림 1. PLAYNE VR의 콘텐츠 예시
Fig. 1. Example screens of the PLAYNE VR

Meditation VR은 2016년에 출시된 최초의 VR 기반 명상 앱으로, 설원, 숲속, 그리고 폭포 등과 같은 40개 이상의 환경을 VR로 구현하여 체험할 수 있으며 이와 함께 마음 챙김, 집중, 그리고 니드라 요가 명상 등과 같은 30시간 이상의 명상 가이드와 200개 이상의 오디오 콘텐츠를 제공한다. TRIPP과 Flow Meditation도 유사한 방식으로 사용자가 VR을 통하여 가상 환경을 체험 및 집중을 유지할 수 있도록 하며, 명상에 대한 가이드를 통하여 사용자의 올바른 명상을 돕는다. PLAYNE VR은 가상의 고요한 섬에서 명상을 가능하게 하며, 다른 콘텐츠와의 차별점으로 명상 습관을 통하여 나무나 다른 식물을 가꿀 수 있고 이를 통하여 자신만의 VR 환경을 구성하게 하는 등 명상 습관에 게임적인 요소를 접목하였다. (그림 1).

IV. 뉴로 피드백을 활용한 디지털 명상 콘텐츠 사례

앞장에서 언급한 명상 콘텐츠에서 더 나아가서 뉴로 피드백을 통하여 사용자와의 양방향 소통을 가능하게 함으로써 기존 콘텐츠와 차별화된 서비스를 제공하고자 하는 사례도 등장하고 있다. 해당 서비스들은 뉴로 (또는 바이오) 피드백을 통해 명상의 효과 및 사용자 순응도를 높일 수 있음을 장점으로 내세우며, 사용자의 선택에 따라 뉴로 피드백 기능을 뺀 일반 명상 콘텐츠만을 이용하는 것도 가능하여 좀 더 다양

한 명상 경험을 가능하게 한다[24]-[26]. 이러한 서비스 사례 중 대표적인 두 가지는 아래와 같다.

2015년 미국에서 설립된 StoryUp Studios에서 서비스 중인 Healium은 집중, 안정, 마음 챙김, 긍정감, 그리고 수면에 관한 디지털 명상 콘텐츠를 제공한다. 스마트폰 앱 형태로도 해당 콘텐츠를 이용할 수 있지만, VR 기반의 콘텐츠를 제공한다는 것이 Healium의 주요 특징 중 하나이다. 기존에 스마트폰 앱 형태의 콘텐츠들이 청각적인 자극이나 가이드를 주로 활용한 것에 비하여, VR 기반의 콘텐츠는 청각적인 자극과 함께 시각적 콘텐츠를 통하여 사용자에게 보다 다양하면서도 현실적인 경험을 가능하게 한다. 또한 Healium은 Apple Watch와 연동하여 심박 수를 기반으로 한 바이오 피드백 콘텐츠를 제공하며, 뉴로 피드백을 위해서는 Macrotellect 사의 Brainlink

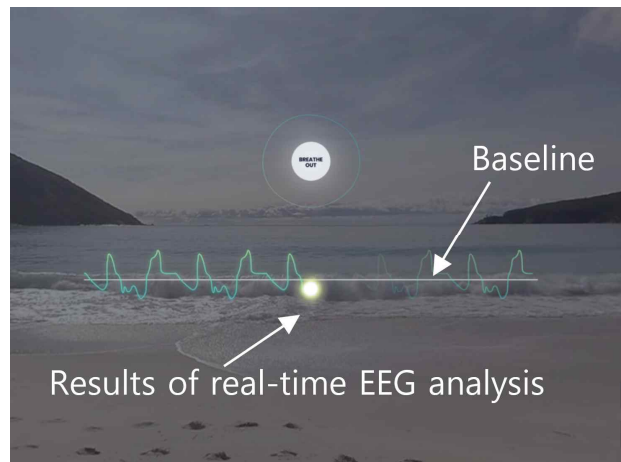


그림 2. Healium의 뉴로 피드백 기반 VR 콘텐츠 예시
Fig. 2. Example of neurofeedback-based VR content in Healium



그림 3. Muse 앱 화면 예시
Fig. 3. Example screens of the Muse app

Lite을 함께 활용한다. 그림 2는 뉴로 피드백 기반의 VR 콘텐츠 화면의 예시로, 초기에 사용자의 고요함 집중도 (focused calm)의 기준 값을 측정하고 이를 콘텐츠 내에서 흰색 실선으로 표기한다. 그 후, 실시간으로 뇌파 데이터를 분석 및 고요함 집중도를 시각화함으로써 사용자의 명상을 보조한다. 해당 서비스는 2023년 8월 기준으로 월 \$10.99에 제공되며, 스마트폰 앱은 Apple Store와 Google Play 그리고 VR 콘텐츠는 Meta, VIVE, 그리고 Pico 등에서 이용 가능하다[27].

Muse는 스트레스, 회복, 수면, 그리고 진정 등 다양한 목적에 맞는 명상 콘텐츠를 제공하는 스마트폰 앱 서비스로 Apple Store와 Google Play에서 이용 가능하다(그림 3). 앱은 기본적으로 무료이지만, 월 \$12.99 (2023년 8월 기준)의 프리미엄 구독을 신청하면 보다 다양한 명상 콘텐츠를 사용해 볼 수 있다[28]. 다른 서비스와 Muse의 차별되는 점은 자체 개발한 전용 기기를 활용하여 뉴로 피드백을 포함한 바이오 피드백 기술을 명상 콘텐츠에 적극 활용한다는 것이다. 기기는 앞서 언급한 대로 유연한 폴리카보네이트와 실리콘 소재의 Muse 2와 헤어밴드 형태의 직물 소재로 이루어진 Muse S의 두 가지가 제공된다. Muse S의 경우, 수면 중 착용할 수 있을 정도로 편의성이 우수하며 이를 활용하여 수면 상태를 관리하는 기능도 앱 내에 포함이 되어 있다. 해당 기기는 뇌파, PPG, 그리고 움직임 정보를 측정 가능하며, 측정 신호를 명상 중의 바이오 피드백에 활용한다. 구체적으로 바이오 피드백은 뇌파, 심박 수, 호흡, 움직임의 4가지 중 하나를 사용할 수 있으며, 청각적 피드백을 통하여 사용자가 보다 집중력 높고 안정적인 상태를 유지하도록 돕는다. 청각적 자극은 두 가지 종류로, 먼저 빗소리를 사용자에게 들려주고 올바른 상태에 가까워짐에 따라 빗소리를 점점 작게 들려주면서 현재 상태에 대한 피드백을 사용자에게 제공한다. 그리고 올바른 상태가 지속되면 새소리를 통하여 명상에 적합한 상태가 지속되고 있음을 사용자에게 인지시킨다. 명상 콘텐츠가 완료되면 명상 중의 피드백 결과를 시각화함으로써 명상에 집중한 구간 등을 사용자가 확인할 수 있고, 이를 다음의 명상에 참고할 수 있게 한다. 해당 서비스는 명상과 관련된 다수의 연구에서도 활용이 되었다. 주로, 바이오 피드백이나 명상의 효과를 규명하기 위한 연구에서 실험 군이 해당 서비스를 활용하도록 설정되었으며[29], 해당 서비스에서 제공하는 뉴로 피드백의 유효성에 대한 연구도 일부 진행되었다[30].

V. 명상을 위한 뉴로 피드백 연구 동향

뉴로 피드백 및 뇌파 분석을 명상에 활용한 연구 동향을 알아보기 위하여 Web of Science에 (neurofeedback or neuro-feedback or EEG) and (meditation or mindfulness)의 키워드로 검색한 결과는 그림 4와 표 3과 같다[31]. 2002년부터 관련 연구 사례가 꾸준히 증가했으며, 특히 코로나19가 시작된 2019년 이후 증가폭이 더 커진 것을 확인할 수 있었다.

이는 정신 건강에 대한 관심이 증가한 것이 반영된 것이며, 정신 건강 케어를 위한 명상 등을 보다 효과적이고 체계적으로 수행하기 위한 뉴로 피드백 기술에 대한 연구가 활발히 이루어졌기 때문이었다. 해당 연구들을 분야별로 분류했을 때는 신경과학이 전체의 46.68%로 가장 많았고, 심리학과 정신의학이 뒤를 이었다. 해당 연구들을 연구 주제를 기준으로 살펴보면, 명상에 의한 뇌파 변화를 살펴 본 연구, 뇌파를 통하여 명상 상태를 검출 및 분류하고자 했던 연구, 그리고 명상에 뉴로 피드백을 활용했을 때의 효과를 확인하고자 했던 연구 등으로 나눌 수 있었고, 해당 연구들의 세부적인 주요 내용은 아래와 같다.

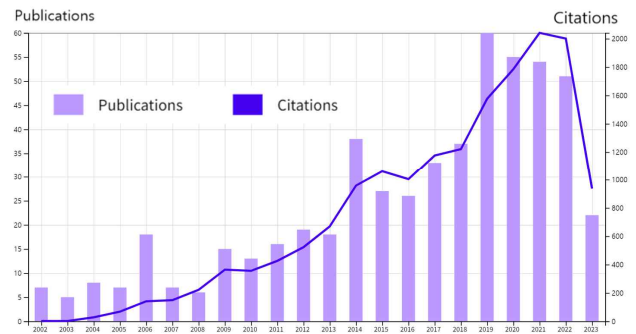


그림 4. 2002년의 이후 뉴로 피드백 기반 명상 관련 연구 현황
 Fig. 4. Papers on neurofeedback-based meditation since 2002

표 3. 관련 연구의 (전체 542건) 분야별 비율
 Table 3. Percentage of related studies by research field (total of 542 cases)

Field	Count	Ratio (%)
Neurosciences	253	46.679
Psychology	101	18.635
Psychiatry	65	11.993
Integrative Complementary Medicine	55	10.148
Psychology Experimental	53	9.779
Multidisciplinary Sciences	49	9.041
Clinical Neurology	48	8.856
Psychology Biological	42	7.749
Physiology	37	6.827
Behavioral Sciences	28	5.166

명상 중의 뇌파 변화에 대한 연구는 오래전부터 연구가 수행되어 왔으나, 명상의 종류나 실험 조건에 따라 조금씩 다른 결과가 보고되어 왔다. 따라서 다양한 연구 결과를 비교하고 구현하고자 하는 명상 방법과 유사한 결과들을 우선적으로 살펴보는 것이 도움이 되며, 이를 위해 활용할 수 있는 리뷰 논문들이 출판되어 있다[32]. Fingelkurts는 1955년부터 2012년까지 수행된 137건의 연구를 살펴보고, 이를 명상에 따른 뇌파 변화의 결과에 따라 분류하고 각 연구에서 활용된

명상 방법을 언급하였다[33]. 연구에 따라 각기 다른 뇌파 변화가 나타났지만, 전반적으로 명상에 의하여 뇌파의 알파(7.5-13Hz)와 세타 대역(2.5-7Hz) power의 증가와 알파와 세타파의 coherence의 증가가 주로 나타났으며 일부 연구에서는 알파파 주파수의 감소가 관찰되었다. 또한 해당 연구에서는 개인의 뇌파 양상에 따라 개인화된 명상 프로그램을 구성하여 활용할 수 있음을 언급하였다. Lomas는 1966~2015년의 연구 데이터를 조사하였고, 이중 56건의 연구를 선정하여 내용을 살펴보았다[34]. 각각의 연구에 대해서는 피험자 구성 및 활용된 명상의 종류를 비교하였고, 이후 보고된 뇌파의 변화 결과별로 연구들을 분류하였다. 앞에서 언급한 연구와 마찬가지로 뇌파 변화 양상이 연구마다 조금씩 상이하였지만, 대체적으로 알파와 세타 성분 power의 증가가 관찰됨을 결과에서 확인할 수 있었다. Lee는 주의력 명상, 개방적 주의 명상, 초월 명상, 그리고 자비 명상의 네 가지 명상 형태에 따른 뇌파 변화에 대하여 조사하였다[35]. 그리고 조사 결과에서 명상 형태에 따라 뇌파 반응이 달라짐은 물론이고, 동일한 명상을 수행하는 피험자 사이에서도 명상에 대한 숙련도에 따라서도 뇌파의 변화 양상이 달라질 수 있음을 보고하였다.

뇌파를 통하여 명상 상태를 검출 및 분류하고자 했던 연구들은 명상에 따른 뇌파 변화를 기반으로 일반적인 상태와 명상을 구분할 수 있는 특징을 뇌파 신호에서 추출하여 활용하였다[36]. 해당 연구에서 사용된 특징들은 뉴로 피드백을 위

한 뇌파 지표로도 응용 가능하다. Kora는 앞서 언급한 내용을 주제로 한 연구들을 조사하였고, 뇌파 신호에서 특징을 추출하기 위한 신호 처리 기법들과 상태 분류에 사용된 분류기의 종류별로 연구를 정리하여 제시하였다[37]. 특징 추출을 위해서는 fourier transform 기반의 전통적인 주파수 분석법과 함께 wavelet decomposition이나 independent component analysis 등이 활용되었고, 분류기는 support vector machine이나 fuzzy logic 이외에 deep neural networks 등이 연구들에서 사용되었다. Chaudhary은 머신러닝을 활용하여 shamatha, zazen, dzogchen, 그리고 visualization의 네 가지 명상을 수행 중인 상태를 피험자가 집중하지 않고 있는 일반적인 상태와 구분하고자 하였다. 특징 집합을 구성하기 위하여 t-distributed stochastic neighbor embedding, principal components analysis, 그리고 locally linear embedding을 활용하였고, 결과에서 70% 이상의 정확도로 명상 상태를 구분할 수 있음을 확인하였다[38].

뉴로 피드백 기반 명상 콘텐츠의 효과를 확인하고자 했던 연구들은 표 4와 같다. 이 중 Sas는 명상을 위한 뉴로 피드백 시스템인 MeditAid를 고안하였고, 이에 대한 효과를 실험을 통하여 검증하였다[10]. MeditAid는 사용자가 명상을 통하여 긴장이 완화되고 집중도가 높아짐에 따라 뇌파가 beta에서 alpha를 거쳐 delta 리듬으로 변해 간다는 연구결과에 착안하여, 뇌파를 측정 및 분석하여 각 리듬별로 (beta, alpha,

표 4. 뉴로 피드백을 활용한 명상의 효과 확인에 관한 연구

Table 4. Studies on the effects of meditation utilizing neurofeedback

Research	Subjects	Neurofeedback	Device	Main results
Sas et al. [10]	16 (meditation experience from 1 month to 40 years)	Auditory stimulation based on shifting EEG (beta - alpha - low alpha - theta - delta)	Emotiv EPOC (EEG)	Confirmation of enhanced focus and concentration time with the proposed MediAid (binaural beat-based neurofeedback during meditation) in comparison with control and monaural beat-based meditation.
Salminen et al. [11]	72 (aged 19-50)	Visual feedback on respiratory signals and frontal asymmetry of alpha band in EEG	Brainproducts elastic belt (respiration), QuickAmp (EEG)	When utilizing biofeedback, participants self-reported higher empathy scores, and EEG-based neurofeedback was found to be more effective than respiration-based feedback.
Hunkin et al. [29]	68 (aged 18-60)	Two auditory stimuli offered by a commercial device	Muse MU-02 (EEG)	Neurofeedback enhanced the effects of meditation and reduced mind wandering. However, there were also negative user reactions towards auditory feedback.
Tarrant et al. [12]	100 (medical staff within the hospital)	Visual feedback from a commercial device	Oculus Go (VR), BrainLink Lite (EEG)	When utilizing VR and neurofeedback, a decrease in fatigue and confusion, along with an increase in tranquility and happiness, was observed in comparison with audio-only meditation.
Kosunen et al. [39]	43 (aged 20-48)	Visual feedback on the alpha and theta-band powers of the EEG	Oculus Rift (VR), QuickAmp (EEG)	Experiment to explore the benefits of using VR and neurofeedback during mindfulness meditation was conducted. When neurofeedback was employed, the results indicated that users experienced greater relaxation, a heightened sense of presence, and achieved a deeper level of meditation.
Acabchuk et al. [30]	53 (novice meditators)	Two auditory stimuli offered by a commercial device	Muse MU-02 (EEG)	Mindfulness scores and mental health were improved in both groups using a meditation app and a neurofeedback-based app. However, meditation-related scores from the neurofeedback-based app were not correlated with the actual baseline levels of mindfulness.

low alpha, theta, 그리고 delta) 서로 다른 주파수의 청각적 자극을 binaural 방식으로 (양쪽 귀에 각기 다른 주파수의 청각 자극 사용) 전달하였다. 고안한 뉴로 피드백의 장점을 알아보기 위하여 뉴로 피드백이 없는 명상, monaural 방식 (양쪽 귀에 동일한 청각 자극), 그리고 MeditAid를 명상과 함께 사용했을 때의 만족도 및 명상 효과를 사용자 인터뷰를 통하여 수집하고 비교하였다. 그리고 결과에서, 고안한 콘텐츠를 통하여 사용자가 보다 깊은 명상에 빠져들 수 있었고 해당 효과는 초심자에게서 보다 높게 나타남을 제시하였다.



그림 5. VR 상에 구현된 DYNECON VRE의 예시
Fig. 5. Example screens of the DYNECON VRE

Salminen은 부정적인 감정을 억제하고 긍정적인 감정과 공감에 관한 뇌 영역을 활성화시키기 위하여 자비 명상과 compassion 명상에서 착안한 DYNECOM VRE (DYadic NEuro-COMpassion Virtual Reality Environments)을 고안하였다[11]. DYNECOM VRE은 VR 상에 가상의 공간과 두 명의 사용자에 대한 아바타를 만들고 서로의 공감 상태에 대한 바이오 피드백을 시각적으로 제공한다(그림 5). 바이오 피드백은 호흡과 전두엽 뇌파 비대칭성의 두 가지 정보를 활용하며, 실험을 통한 검증에서 구성한 콘텐츠를 통하여 사용자들 간의 공감 능력을 향상시킬 수 있었으며 호흡보다는 뇌파를 통한 뉴로 피드백의 효과가 높음을 확인할 수 있었다. Hunkin과 Tarrant는 각각 Muse와 Healium의 상용 뉴로 피드백 기반 명상 콘텐츠의 효과를 임상 시험을 통하여 확인하고자 하였다[12],[29]. 이 중 첫 번째 연구에서는 뉴로 피드백이 없는 명상의 경우에 비하여 뉴로 피드백을 활용할 경우, 명상에 대한 사용자의 반응이 보다 긍정적이었으나 일부 사용자에게서 청각적 자극이 집중을 방해한다는 부정적인 의견도 관찰됨을 결과에서 제시하였다. 그리고 두 번째 연구에서는 VR과 뉴로 피드백을 기반으로 한 콘텐츠를 통하여 병원 내 의료진의 평온함과 행복감을 향상시키고 혼란스러움과 피로감을 감소시키는 등의 긍정적인 효과를 얻을 수 있음을 보여주었다. VR 기반 뉴로 피드백의 효과에 관한 연구는 Kosunen에 의해서도 수행되었다[39]. 해당 연구에서는 마음 챙김 명상을 VR로 구현하고, 사용자의 6 채널 뇌파를 (F3, F4, C3, C4, P3, P4) 측정 및 분석하여 집중도에 관한 지표

를 산출하였다. 그리고 해당 지표를 VR 화면상의 불투명한 거품 형태로 시각화함으로써 뉴로 피드백 환경을 구현하였다. 결과에서는 일반 화면을 이용할 때와 VR, 그리고 뉴로 피드백 기술이 더해짐에 따른 효과를 비교하였고, 뉴로 피드백을 통하여 사용자가 느긋함과 존재감을 더 많이 느끼게 됨은 물론이고 보다 깊은 명상 체험이 가능함을 입증하였다. Acabchuk는 Muse 내에서 뉴로 피드백을 위해 산출되는 지표의 유효성에 대하여 확인하고자 하였으며, 이를 위해 일반적인 명상 앱과 뉴로 피드백 기반의 Muse 앱을 사용하는 두 그룹으로 피험자를 나누어 한 달간의 실험을 진행하였다[30]. 결과에서, 두 그룹 모두 실험 후에 스트레스의 감소와 사용자가 평가한 마음 챙김의 수치적 점수가 향상됨을 확인할 수 있었지만, Muse의 지표가 마음 챙김 수치와 상관성이 없음을 지적하면서 기존에 제시된 뉴로 피드백을 위한 지표의 검증이 추가로 필요함을 언급하였다. 위의 연구들 이외에 명상에 바이오 및 뉴로 피드백 기술을 활용한 연구들과 그에 대한 효과의 비교는 Arpaia의 연구 등에서 찾아볼 수 있다[19].

VI. 제 언

지금까지 뉴로 피드백을 기반으로 한 명상 콘텐츠 기술 및 연구 동향에 대하여 살펴보면서 해당 기술을 구현하기 위해 활용 가능한 리소스들에 대하여 분석하였다. 본 장에서는 실제 기술 구현에 필요한 각 고려 요소에 대하여 설명함으로써 상기 언급한 리소스들이 어떻게 활용될 수 있는지 정리하였다. 다양한 명상 기법 중에서 정적인 상태를 유지하여 잡음에 민감한 뇌파 측정에 알맞고 현대인에게 흔한 스트레스, 불안, 그리고 우울감 관리에 효과적인 마음 챙김 명상에 뉴로 피드백을 접목했던 과거 연구 사례가 가장 많았기 때문에, 본 장에서도 마음 챙김 명상 콘텐츠를 구현함을 가정하였다. 그림 6은 뉴로 피드백을 활용한 명상 콘텐츠 구현을 위한 구성 요소를 도시화한 것이다. 먼저, 명상 중 사용자의 상태에 대한 정보를 얻기 위하여 뇌파 신호를 획득하게 되며, 측정 기기는 구조적으로 사용자의 명상을 방해하지 않도록 착용이 용이하고 구속감이 적으면서도 뇌파를 안정적으로 측정할 수 있는 형태를 갖추어야 한다. 이를 위한 후보 장비를 II장에서 나열하였고, 필요한 뇌파 채널과 호환 소프트웨어, 그리고 VR과의 병합 필요 여부 등을 고려하여 기기를 선택할 수 있다. 다음으로, 측정되는 뇌파 데이터에 실시간으로 접근 및 분석하는 신호처리 단계가 필요하다. 이는 명상 콘텐츠가 구현되는 모바일이나 VR 기기 내 또는 PC와 같은 별도의 프로세서 내에 구현될 수 있다. 해당 단계에서는 뇌파 신호의 잡음 제거 등을 위한 기초 신호 처리와 사용자의 명상 상태에 대한 정보를 추출해 내기 위한 특징 추출 단계가 포함된다. 특징 추출은 V장에서 언급하였던 명상에 따른 뇌파 변화와 뇌파를 통

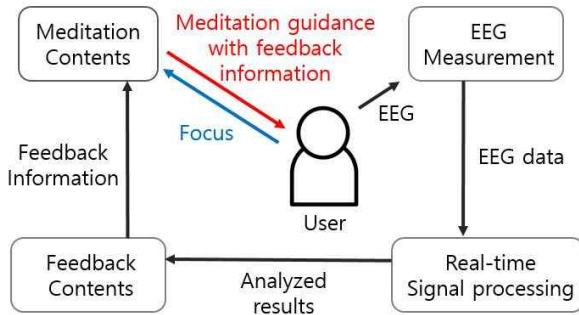


그림 6. 뉴로 피드백 기반의 명상 콘텐츠의 전체 구성도
Fig. 6. Overall structure of the neurofeedback-based meditation contents

한 명상 상태 검출에 관한 선행 연구를 참고하여 뇌파 신호 중 어떤 성분을 위주로 정보를 구성할지와 활용할 신호 처리 방법론들을 결정할 수 있다. 그리고 뉴로 피드백 기반 명상의 효과를 임상적으로 검증했던 V장의 선행 연구들을 통하여 알파와 세타 성분 power 등과 같이 보다 직접적으로 추출할 후보 특징들을 한정할 수 있다. 추출한 특징은 사용자에게 알맞은 피드백 정보로 변환되어 제공되게 된다. 현재 서비스된 사례나 선행 연구 등에서 주로 청각적인 피드백이 사용되었지만, monaural 또는 binaural 방식에 따라 효과가 다르거나 [10] 일부 연구에서 청각적인 피드백에 대한 사용자의 부정적이 반응이 보고되는 등[29], 피드백의 구체적인 형태에 대한 고민이 필요하다. 콘텐츠를 VR로 구현할 경우 시각적인 피드백의 활용도 가능하며 이를 위해 앞에서 언급한 Healium이나 다른 선행 연구 내용을 참고할 수 있다[12],[39]. 구성된 피드백 정보는 사용자의 명상을 돕기 위한 명상 콘텐츠에 포함되어 사용자에게 제공되며, 명상 콘텐츠의 예시 등은 III과 IV장에 제시되어 있다. 그밖에, 구현한 콘텐츠의 효과와 추출한 뇌파 특징의 적절성을 알아보기 위한 임상시험을 설계 및 수행할 수 있다. 많은 연구에서 뉴로 피드백이 명상에 접목되어 명상의 효과를 높였다는 결과를 보고 하였지만, 일부 연구에서는 대조군 대비 효과가 미미하였다는 결과도 제시하였던 만큼 구현한 콘텐츠에 적합한 뇌파 특징을 추출 및 활용해야 하며[30],[40], 이를 통하여 목표로 하는 스트레스, 불안, 그리고 우울감의 경감 등과 같은 정신건강 관리가 가능할 것이다.

Ⅶ. 결 론

사회에서 개인 간의 경쟁이 심화되고 복잡성이 증가함에 따라 현대인의 정신 건강 문제가 중요한 이슈로 떠오르고 있고, 이를 완화하기 위한 디지털 명상 콘텐츠 등의 개발이 필요해지고 있다. 뉴로 피드백은 디지털 명상 콘텐츠의 효과를 증진할 수 있는 기술로, 본 연구에서는 뉴로 피드백 기반의 디지털 명상 콘텐츠에 관한 기술과 연구 동향에 대하여 분석

하였다. 명상 중 사용자에게 관련 정보를 알기 위한 뇌파 측정 에 활용될 수 있는 기기와 일반 명상 및 뉴로 피드백 기반의 명상을 위한 디지털 콘텐츠의 예시를 소개하였고, 관련된 선행 연구 내용을 요약하여 제시하였다. 그리고 이어서 스트레스, 불안, 그리고 우울 관리를 위한 마음 챙김 명상 콘텐츠에 뉴로 피드백 기술을 적용할 때, 본 연구에서 제공한 기술 및 연구 동향 내용을 어떻게 활용할 수 있을지 구체적으로 설명 하였다. 이후의 연구에서 구현에 필요한 요소를 정리하였던 뉴로 피드백 기반의 마음 챙김 명상 콘텐츠를 실제로 개발 및 검증하고자 하며, 모바일과 VR의 두 가지 콘텐츠 형태에 대한 효과 비교 또한 계획하고 있는 향후 연구 내용 중 하나이다. 정신 건강에 대한 관심 증대에 따라 명상 및 뉴로 피드백에 대한 연구와 기술 개발 사례가 늘어날 것으로 예상되며, 관련 연구에서 본 연구 논문에서 정리된 내용들이 유용한 기반 자료로 활용되는 한편, 이를 통하여 보다 효과적이고 사용성 높은 뉴로 피드백 기반의 디지털 명상 콘텐츠들이 개발 및 서비스되기를 바란다.

감사의 글

본 연구는 한국한의학연구원 “한의이론 기반 스마트 건강노화 관리기술 개발 (KSN2311022)” 과제의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

[1] J.-S. Yoo, K.-S. Lee, and J.-A. Gwon, “Design and Implementation of Smartphone Application for Measurement and Management of Depressive Emotion in Adolescents Using Cognitive Behavioral Therapy,” *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 18, No. 3, pp. 443-455, June 2017. <https://doi.org/10.9728/dcs.2017.18.3.443>

[2] J. Yi, “The Age of Depression: Medicalization of Melancholia and the Meaning of Autobiographical Narrative Discourse of Depression,” *Journal of the Association of Humanities and Social Studies*, Vol. 46, No. 1, pp. 125-152, March 2022. <https://doi.org/10.46349/kjhss.2022.03.46.1.125>

[3] Y. J. Lee, S. Y. Kim, S. H. Park, and S. J. Jin, “User Experience of Non-Contact Mental Health Services - Focused on Stress and Anxiety of Korea’s 2030s,” in *Proceedings of HCI Korea*, Online, pp. 243-248, January 2021.

[4] S.-G. Lee and Y. Nam, “Effects of Gender of Artificial Intelligence Speaker on Mindfulness Meditation Users,” *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 21, No. 9, pp.

- 1645-1652, September 2020. <https://doi.org/10.9728/dcs.2020.21.9.1645>
- [5] S. U. Lam, Q. Xie, and S. B. Goldberg, "Situating Meditation Apps Within the Ecosystem of Meditation Practice: Population-Based Survey Study," *JMIR Mental Health*, Vol. 10, e43565, 2023. <https://doi.org/10.2196/43565>
- [6] C. Behan, "The Benefits of Meditation and Mindfulness Practices during Times of Crisis such as COVID-19," *Irish Journal of Psychological Medicine*, Vol. 37, No. 4, pp. 256-258, December 2020. <https://doi.org/10.1017/ipm.2020.38>
- [7] S. Järvelä, B. Cowley, M. Salminen, G. Jacucci, J. Hamari, and N. Ravaja, "Augmented Virtual Reality Meditation: Shared Dyadic Biofeedback Increases Social Presence via Respiratory Synchrony," *ACM Transactions on Social Computing*, Vol. 4, No. 2, 6, June 2021. <https://doi.org/10.1145/3449358>
- [8] S. Ge, S. Luo, S. Yan, and X. Shen, "Effects of Augmenting Real-Time Biofeedback in an Immersive VR Performance," in *Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Singapore, pp. 751-756, October 2022. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct57072.2022.00159>
- [9] J.-H. Bae, J. I. Kim, and J. U. Kim, "Two-Channel ERP Signal Processing on Prefrontal Cortex of the Elderly and Its Application," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 59, No. 11, pp. 119-130, November 2022. <https://doi.org/10.5573/ieie.2022.59.11.119>
- [10] C. Sas and R. Chopra, "MeditAid: A Wearable Adaptive Neurofeedback-Based System for Training Mindfulness State," *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 19, No. 7, pp. 1169-1182, October 2015. <https://doi.org/10.1007/s00779-015-0870-z>
- [11] M. Salminen, S. Järvelä, A. Ruonala, V. J. Harjunen, J. Hamari, G. Jacucci, and N. Ravaja, "Evoking Physiological Synchrony and Empathy Using Social VR With Biofeedback," *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 13, No. 2, pp. 746-755, April-June 2022. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2019.2958657>
- [12] J. Tarrant, R. Jackson, and J. Viczko, "A Feasibility Test of a Brief Mobile Virtual Reality Meditation for Frontline Healthcare Workers in a Hospital Setting," *Frontiers in Virtual Reality*, Vol. 3, 764745, January 2022. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.764745>
- [13] S. Feruglio, A. Matiz, G. Pagnoni, F. Fabbro, and C. Crescentini, "The Impact of Mindfulness Meditation on the Wandering Mind: A Systematic Review," *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol. 131, pp. 313-330, December 2021. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.09.032>
- [14] M. Zubair, J. Kim, and C. Yoon, "Research on Classification of Human Emotions Using EEG Signal," *The Journal of Digital Contents Society*, Vol. 19, No. 4, pp. 821-827, April 2018. <https://doi.org/10.9728/dcs.2018.19.4.821>
- [15] J. Xu and B. Zhong, "Review on Portable EEG Technology in Educational Research," *Computers in Human Behavior*, Vol. 81, pp. 340-349, April 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.037>
- [16] M. Li, Z. Liang, B. He, C.-G. Zhao, W. Yao, G. Xu, ... and L. Cui, "Attention-Controlled Assistive Wrist Rehabilitation Using a Low-cost EEG Sensor," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 19, No. 15, pp. 6497-6507, August 2019. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2910318>
- [17] S. Y. Lee and J. Kang, "Effect of Virtual Reality Meditation on Sleep Quality of Intensive Care Unit Patients: A Randomised Controlled Trial," *Intensive and Critical Care Nursing*, Vol. 59, 102849, August 2020. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2020.102849>
- [18] A. Dey, A. Chatburn, and M. Billingham, "Exploration of an EEG-based Cognitively Adaptive Training System in Virtual Reality," in *Proceedings of IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, Japan, pp. 220-226, March 2019. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797840>
- [19] P. Arpaia, G. D'Errico, L. T. De Paolis, N. Moccaldi, and F. Nuccetelli, "A Narrative Review of Mindfulness-Based Interventions Using Virtual Reality," *Mindfulness*, Vol. 13, pp. 556-571, March 2022. <https://doi.org/10.1007/s12671-021-01783-6>
- [20] D. P. Lippelt, B. Hommel, and L. S. Colzato, "Focused Attention, Open Monitoring and Loving Kindness Meditation: Effects on Attention, Conflict Monitoring, and Creativity - A Review," *Frontiers in Psychology*, Vol. 5, 1083, September 2014. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01083>
- [21] M. J. Leach, H. Lorenzon, and S. Nidich, "Transcendental Meditation for Women Affected by Domestic Violence: A Pilot Randomised, Controlled Trial Study Protocol," *Integrative Medicine Research*, Vol. 9, No. 4, 100432, December 2020. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2020.100432>
- [22] B.-K. Im and S.-H. Lee, "The Effects of Mindfulness, Internet Addiction and Job Engagement on Job Satisfaction of IT Workers," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 21, No. 10, pp. 1825-1831, October 2020. <https://doi.org/10.9728/dcs.2020.21.10.1825>
- [23] K. S. Niksirat, C. Silpasuwanchai, P. Cheng, and X. Ren,

- “Attention Regulation Framework: Designing Self-regulated Mindfulness Technologies,” *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 26, No. 6, 39, December 2019. <https://doi.org/10.1145/3359593>
- [24] Earable Inc. FRENZ Brainband [Internet]. Available: <https://frenzband.com/products/frenz-brainband/>.
- [25] Pankhtech Inc. Neuphony [Internet]. Available: <https://neuphony.com/>.
- [26] MDCN TECH Inc. NeoRhythm [Internet]. Available: <https://omnipemf.com/mind-harmony/>.
- [27] StoryUp Inc. Healium [Internet]. Available: <https://www.trhealium.com/>.
- [28] InteraXon Inc. Muse [Internet]. Available: <https://chooseemuse.com/>.
- [29] H. Hunkin, D. L. King, and I. T. Zajac, “EEG Neurofeedback During Focused Attention Meditation: Effects on State Mindfulness and Meditation Experiences,” *Mindfulness*, Vol. 12, No. 4, pp. 841-851, April 2021. <https://doi.org/10.1007/s12671-020-01541-0>
- [30] R. L. Acabchuk, M. A. Simon, S. Low, J. M. Brisson, and B. T. Johnson, “Measuring Meditation Progress With a Consumer-Grade EEG Device: Caution from a Randomized Controlled Trial,” *Mindfulness*, Vol. 12, No. 1, pp. 68-81, January 2021. <https://doi.org/10.1007/s12671-020-01497-1>
- [31] Clarivate. Web of Science [Internet]. Available: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>.
- [32] C. S. Deolindo, M. W. Ribeiro, M. A. Aratanha, R. F. Afonso, M. Irrmischer, and E. H. Kozasa, “A Critical Analysis on Characterizing the Meditation Experience Through the Electroencephalogram,” *Frontiers in Systems Neuroscience*, Vol. 14, 53, August 2020. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2020.00053>
- [33] A. A. Fingelkurts and T. Kallio-Tamminen, “EEG-Guided Meditation: A Personalized Approach,” *Journal of Physiology-Paris*, Vol. 109, No. 4-6, pp. 180-190, December 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2015.03.001>
- [34] T. Lomas, I. Ivtzan, and C. H. Y. Fu, “A Systematic Review of the Neurophysiology of Mindfulness on EEG Oscillations,” *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol. 57, pp. 401-410, October 2015. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.09.018>
- [35] D. J. Lee, E. Kulubya, P. Goldin, A. Goodarzi, and F. Girgis, “Review of the Neural Oscillations Underlying Meditation,” *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 12, 178, March 2018. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00178>
- [36] M. Kim and J. Seo, “A Control Method of ASMR Contents through Attention and Meditation Detection Based on Internet of Things,” *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 19, No. 9, pp. 1819-1824, September 2018. <https://doi.org/10.9728/dcs.2018.19.9.1819>
- [37] P. Kora, K. Meenakshi, K. Swaraja, A. Rajani, and M. S. Raju, “EEG Based Interpretation of Human Brain Activity during Yoga and Meditation Using Machine Learning: A Systematic Review,” *Complementary Therapies in Clinical Practice*, Vol. 43, 101329, May 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101329>
- [38] S. Chaudhary, P. Pandey, K. P. Miyapuram, and D. Lomas, “Classifying EEG Signals of Mind-Wandering Across Different Styles of Meditation,” in *Proceedings of the 15th International Conference on Brain Informatics (BI 2022)*, Padua, Italy, pp. 152-163, July 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15037-1_13
- [39] I. Kosunen, M. Salminen, S. Järvelä, A. Ruonala, N. Ravaja, and G. Jacucci, “RelaWorld: Neuroadaptive and Immersive Virtual Reality Meditation System,” in *Proceedings of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '16)*, Sonoma: CA, pp. 208-217, March 2016. <https://doi.org/10.1145/2856767.2856796>
- [40] S.-Y. Chung, J.-W. Seo, J.-W. Kim, and W.-W. Whang, “The Effects of Breath Meditation with Neurofeedback on Memory and Concentration of Healthy Adult Volunteers,” *Journal of Oriental Neuropsychiatry*, Vol. 19, No. 2, pp. 15-40, July 2008.



최민호 (Minho Choi)

2012년 : 중앙대학교 전자전기공학부 (공학사)
2019년 : 포항공과대학교 IT융합공학과 (공학박사)

2019년~2022년: 인바디 과장
2022년~현 재: 한국한의학연구원 선임연구원
※ 관심분야 : 생체신호처리 (Physiological Signal Processing), 인공지능 (Artificial Intelligence)



배장한 (Jang-Han Bae)

2007년 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학사)
2009년 : 성균관대학교 생명공학과 (공학석사)
2019년 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)

2010년~현 재 : 한국한의학연구원 기술연구원
※ 관심분야 : 생체신호처리 (Physiological Signal Processing), 뇌공학 (Brain Engineering)

김재욱 (Jaeuk U. Kim)



1998년 : 포항공과대학교 물리학과 (이학사)
2000년 : Chalmers Univ. of Tech. 물리학과 (이학석사)
2005년 : Univ. of Gothenburg 물리학과 (이학박사)

2006년~2009년: KAIST 박사후연구원
2009년~현 재: 한국한의학연구원 책임연구원
2014년~현 재: UST 한국한의학연구원 스쿨 교수
※ 관심분야 : 생체신호 (Physiological Signal), 디지털헬스 (Digital Health), 인공지능 (Artificial Intelligence), 치매조기예측 (Prediction of Dementia), 인지노화 (Cognitive Aging), 정신질환 (Mental Disorder)