

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제31권 제5호, 2026년 9월 (JBE Vol.31, No.5, September 2026)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2026.31.5.850>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

확장현실을 위한 발향 기술 및 응용에 대한 문헌 고찰

신 춘 성^{a)}, 고 병 수^{b)}, 정 희 용^{c)*}

A Systematic Review of Olfactory Technologies and Applications for Extended Reality

Choonsung Shin^{a)}, Byoungsoo Koh^{b)}, and Hieyong Jeong^{c)*}

요 약

본 논문은 실감형 확장현실 실현을 위한 후각 장치 기술과 응용에 대한 체계적인 문헌 고찰을 수행하였다. 이를 위해 2022년 이후 발향 장치와 이를 포함하는 확장현실 응용과 관련된 연구논문을 수집하고 최종적으로 관련도가 높은 27편을 추출하였다. 추출된 연구를 바탕으로 최근 발향 방식과 기술, 발향 목적과 효과성을 분석하고, 이를 바탕으로 한 확장현실 응용의 특성을 분석하였다. 이를 통해 후각 발향 장치는 웨어러블 형태로 소형화 및 다수 향 혼합으로 발전하고 있으며, 발향 자극은 단순히 현존감과 몰입감을 향상시키는 것을 넘어 사용자의 인지적·감성적 경험에도 영향을 미치는 요소로 작용하고 있음을 확인하였다. 또한 후각 기반의 확장현실 응용은 다감각뿐만 아니라 모바일 및 실시간 상호작용으로 발전하면서, 게임 및 엔터테인먼트, 의료 및 헬스케어, 교육 및 훈련 등에서 활용 가능성에 대한 시도가 늘어나고 있음을 알 수 있었다. 다만 후각 장치 기술은 시작 단계에 있어 확장현실에서의 실질적 활용을 위해서는 발향 장치 고도화, 시각-후각 정합, 개인차 최적화, 후각 반응에 대한 객관적 측정 등에서 지속적인 연구개발이 요구된다.

Abstract

This paper presents a systematic literature review of olfactory device technologies and their applications for realizing immersive extended reality (XR). To this end, research articles published since 2022 on olfactory delivery devices and XR applications incorporating olfactory stimulation were collected, and a total of 27 highly relevant studies were selected for analysis. Based on the selected studies, recent scent delivery methods, technological characteristics, purposes of olfactory stimulation, and their effectiveness were analyzed, followed by an investigation of the characteristics of olfactory-enabled XR applications. The results indicate that olfactory devices are evolving toward miniaturization and faster scent delivery, while olfactory stimulation has positive effects on enhancing presence and immersion, as well as influencing cognitive and emotional experiences. Furthermore, olfactory-based XR applications are expanding beyond multisensory experiences toward mobile and real-time interactive environments, with increasing applications in games and entertainment, healthcare, education and training. Despite these advances, olfactory device technology is still at an early stage. To facilitate its practical adoption in XR, further research is required on the advancement of scent delivery devices, visual - olfactory congruency, individual differences in olfactory perception, and objective methods for measuring users' olfactory responses.

Keyword : Olfactory display, Scent, Extended reality, Smell, Human-computer interaction

Copyright © 2026 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

1. 서론

애플, 구글, 메타 등 글로벌 기업들은 공간컴퓨팅, 메타버스 등 확장현실(Extended Reality, XR)을 주도하면서 시청각 중심의 콘텐츠가 활발하게 발전하면서 후각 자극을 반영한 XR에 대한 관심이 증가하고 있다. 후각은 기존의 시청각 감각 기술 대비 특성이 비교적 최근에 알려져 발전이 더디지만, 인간의 기억, 감정 등 인지 활동과 밀접한 관련이 있어 실감을 실현하기 위해 중요한 감각으로 관심이 증대되고 있다^[1]. 특히 시청각 감각에 더불어 후각을 결합하면 현존감과 오감 기반의 경험을 향상할 수 있을 뿐만 아니라, 인지와 감성적 측면에서 긍정적인 효과를 기대할 수 있다. 이에 기존의 시청각 중심의 경험을 넘어 새로운 감각 차원으로 XR 콘텐츠를 확장하기 위해 XR 환경에서의 후각 기술에 관한 연구가 중요하다.

XR 환경에 후각을 결합하기 위한 방법으로 향을 조향하기 위한 발향 방식과 장치 연구, 발향에 대한 후각 반응과 효용성을 측정하기 위한 연구 및 발향 기반의 XR 응용 측면으로 연구가 진행되고 있다. 발향 장치는 발향 방법에 따라 공기 흐름(Airflow) 방식, 미세입자(Atomization) 및 가열 방식(Heating)으로 구분되며 환경 설치형, 컨트롤러형에서 시작해 웨어러블 혹은 착용형 장치로 발전하고 있다^[2-3]. 발향에 대한 반응과 효과성 측면에서는 몰입감과 현존감 향상을 시작으로 인지적, 감성적 효과성 분석에 대한 연구가 제안되었으며 더 나아가 향으로 인한 멀미 감소나 향에 대한 인식과 행동적 특성에 개인별 차이를 파악하기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 이러한 연구들이 진행되고 있음에도 인간의 후각적 특성, 발향 장치 및 환경적 특성으

로 인해 여전히 정밀한 시간·공간적 정합에 한계가 있다^[4-6]. 또한 발향 과정에서 잔향으로 인해 연속적 혹은 동적 발향 제어가 어렵고, 인식에서의 개인차가 있어 몰입감이나 인지 최적화에 어려움이 있다. 더 나아가 후각의 역할은 중요하지만 XR 환경에서는 단독 감각만으로는 공간적 위치, 방향, 대상 매칭이 어려워 기존 콘텐츠에서의 활용에 한계와 제약이 발생한다^[7-11]. 이에 후각을 XR 환경에서 활용하기 위해서는 발향 장치의 개선과 함께 후각 인지 최적화 및 XR에서의 후각 융합에 대한 연구가 필요하다. 이에 따라 후각 특성을 바탕으로 한층 차별화된 XR을 실현하기 위해 최근 발향 기술, 발향에 대한 영향과 효용성 및 응용에 관한 연구를 살펴볼 필요가 있다. 또한 이를 바탕으로 발향 방식, 신체적, 인지적 영향에 대한 측정과 효용성을 위한 향후 연구를 조망할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구는 PRISMA(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 가이드라인에 따라 문헌의 식별, 중복 제거 및 선별, 적격성 평가, 최종 선택의 절차를 수행하였다^[12]. 먼저 기존의 발향 기술에 대한 문헌 조사 연구가 2022년까지 조사되었고 2022년 이후 급격하게 증가하는 경향이 있어 2022년 이후 논문을 중점적으로 분석하였다^[6]. 검색 키워드는 (“Virtual Reality” OR “VR” OR “Augmented Reality” OR “AR” OR “Extended Reality” OR “XR”) AND (“Olfactory” OR “Smell” OR “Scent” OR “Olfactory Display”) AND (“Presence” OR “Immersion” OR “User Experience”)로 구성하였다. 이 키워드를 바탕으로 Google Scholar 1,019편, Scopus 68편, Science Direct 41편, IEEE Xplore 14편, Web of Science 1편을 추출하였으며, 중복 제거 및 연관성을 고려해 최종 27편을 선택하였다. 이를 바탕으로 발향 방식과 기술 특징을 분석하고, 발향 자극 방법과 효용성 측정에 관한 분석을 수행하였다. 또한 후각을 바탕으로 연구되고 있는 최근 응용을 대상으로 후각적 활용 특성을 분석하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. II장에서는 발향 장치와 기술을 분석하고 III장에서는 발향에 대한 영향과 효용성에 대한 측정 방법에 대해 분석한다. IV장에서는 발향 기술을 바탕으로 개발되는 응용의 특징을 살펴보고 V장에서는 발향 기술의 한계점과 해결되어야 하는 문제점을 논의한다. VI장에서는 향후 연구와 함께 결론을 맺는다.

a) 전남대학교 문화전문대학원(Graduate School of Culture, Chonnam National University)

b) 한신대학교 AI·SW대학(School of Computing and AI, Hanshin University)

c) 전남대학교 AI융합대학(Department of AI Convergence, Chonnam National University)

‡ Corresponding Author : 정희용(Hieyong Jeong)
E-mail: h.jeong@jnu.ac.kr
Tel: +82-62-530-3427

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8135-8252>

· Manuscript received June 16, 2026; Revised July 20, 2026; Accepted July 21, 2026.

II. 발향 기술 분석

후각 자극을 위한 발향 기술은 고체나 액체 등 향(냄새)에 기계적, 전자적 자극이나 공기를 혼합하여 후각기관이 감지할 수 있도록 전달을 목적으로 한다. 발향 기술은 향 소스를 후각 자극으로 전달하기 위한 처리 방식에 따라 크게 공기 흐름 방식, 초음파나 전기 자극 기반의 미세입자 방식, 가열 방식으로 구분된다^[3,6]. 공기 흐름 방식은 팬의 여부에 따라 자연 공기 흐름과 강제 흐름 방식으로 구분되며, 미세 입자 방식은 입자화 방식에 따라 초음파 방식, 표면 진동(Surface acoustic wave, SAW) 방식 및 피에조 전기 방식(Piezoelectric)으로 구분된다. 가열 방식은 가열 방법에 따라 기화 방식과 증발 방식으로 구분된다.

발향 방식에 따라 최근 발향 장치를 살펴보면 표 1과 같다. 발향 장치의 하드웨어 기술의 특징을 살펴보면 발향 장치는 발향 방식에 따라 반응 시간, 크기·무게, 향료 수, 향 혼합 및 장치 형태로 특성을 분석해 볼 수 있다. 먼저 발향 방식을 살펴보면 2022년까지의 이전 연구들은 주로 대형 팬이나 펌프를 이용한 공기 흐름 방식을 연구하였지만^[13,20], 활용 측면을 개선하기 위해 휴대형(Handheld)으로 연구되고 있다^[14]. 또한 현실적인 향을 실현하기 위한 목표로 환경의 물리적 특성 반영, 다감각 동기화 등이 연구되고 있다. 동적 발향 연구는 단순히 향기를 조향하는 것을 넘어, 사용자의 위치를 포함해 체온으로 인한 상승 기류까지 계산하는 실시간 전산 유체 역학(Computational fluid dynamics, CFD)을 시스템에 통합하여 향기 전달의 정확도를 향상했다^[21]. 더 나아가 향 소스에 대응되는 여러 개의 솔레노이드 밸브를 빠르게 제어하여 시청각 자극과 실시간으로 일치시키기 위한 멀티모달 동기형 발향 방법이 연구되었다^[22]. 최근에는 다수의 마이크로 팬을 포함한 목걸이형 발향 장치인 AromaGen이 제안되었다^[18]. 이 연구는 멀티모달 LLM(Multimodal LLM)을 활용해 12가지 기본 향료의 분사를 정밀하게 제어함으로써, 단일 향뿐만 아니라 복합적인 혼합 향까지 실시간으로 구현할 수 있도록 하였다.

전통적인 공기 흐름 기반의 발향 방식을 넘어 빠르면서 소형화 가능한 미세입자 방식이 선호되고 있다. 미세입자 방식은 주로 초음파 방식이 활용되었지만, 2022년 이후부터는 소음이 적고 밀리초(ms) 단위의 매우 빠른 제어와 발

향이 가능한 피에조 전기 방식이 선호되고 있다^[5,15,23]. 최근에는 피에조 전기 방식과 SAW를 혼합하는 방법이 제안되었는데 이 방식은 혼합 방식을 통해 열 발생을 줄이면서도 잔향을 줄일 수 있는 장점을 갖고 있다^[24].

가열 기반의 발향 장치도 소형화 형태로 연구되고 있다. 먼저 고체 향 소스를 가열하여 증발시키는 형태의 피부 부착형 발향 장치가 제안되었다^[16]. 이 연구는 2~9개의 고체 향 소스를 빠르게 가열함으로써 방출되도록 하였으며 유연 전자 소자 기술을 활용해 소형화와 함께 착용감을 개선하고 응답 속도를 개선하였다. 더 나아가 AI 알고리즘과 전자기 밸브 구조를 결합하여 밀리초 수준의 반응 시간을 달성하여 지연이 최소화되는 발향 장치가 제안되었다^[17]. 이 연구는 저전력 및 고집적화가 가능한데 32개 이상의 향료 슬롯을 갖추고도 84.8mW의 초저전력으로 작동하는 유연 기관 기반의 발향 장치로 구현되었다. 이 발향 방식의 소형화를 넘어 다중 향기 및 혼합 기능이 포함되고 있다. 향료 소스의 수가 단순한 1~4개에서 최대 32개까지 늘어났으며, 여러 향기를 정밀한 비율로 섞어 복잡한 냄새를 재현하는 블렌딩(Blending) 방법이 연구되고 있다. 먼저 가상공간 내 사용자의 위치에 따라 여러 향기 소스의 농도를 계산하여 실시간으로 혼합하는 시스템이 제안되었다^[21]. 이 방법은 물리적 특성(증기압, 분자량 등)을 데이터화하여 N차원 향기 혼합 벡터(Odor mix vector)를 생성하고, 이를 통해 서로 다른 객체의 향기가 공기 중에서 자연스럽게 경쟁하고 결합하는 현상을 모사하였다. 지능형 웨어러블 인터페이스는 최대 32개의 향기 발생기(OG) 유닛을 통합하여 고밀도 어레이를 구성하여 다수 발향과 혼합을 실현하였다^[16-17]. OlfacKit는 모듈형 설계를 통해 사용자가 필요에 따라 1개에서 4개 사이의 향료 슬롯을 자유롭게 구성할 수 있는 툴킷을 바탕으로 다수 발향을 지원한다^[23]. 이 방식은 피에조 전기 방식을 활용하여 6개의 고체 향료 캡슐만으로 200가지 이상의 향을 조합한다. 피에조 전기 디스펜서와 SAW를 혼합한 발향 장치는 8채널의 향을 혼합하는 향 블렌딩 방법으로 열 발생을 줄이면서도 잔향을 최소화하였다^[24]. 더 나아가 AromaGen은 멀티모달 LLM을 기반으로 음식 관련 영상 및 텍스트 입력을 분석하고, 12종의 기본 향료에 대한 최적의 배합비(Ratio vector)를 자동으로 추론하여 향을 혼합하여 분사한다^[18].

표 1. 발향 방식과 세부 특징
Table 1. Olfactory display types and characteristics

Types	Authors (year)	Technology	Latency	Size-weight	Scent#	Blending	Device type
Airflow	Bahreman (2022) ^[20]	Solenoid valve + airflow	2.5s	Experimental	8~12	Yes	Fixed (mask)
	Niedenthal (2023) ^[14]	Solenoid valve + airflow	1~2s	< 432g	4	Yes	Handheld
	Uda (2024) ^[21]	Pump based airflow	1s	Experimental	1	No	Fixed (desktop)
	Wang (2025) ^[22]	Solenoid valve + fan	2s	Experimental	4	No	Fixed (desktop)
	Wen (2026) ^[18]	Micro fan	60s	< 380g	12	Yes	Wearable (necklace)
Atomization	De Paiva (2022) ^[15]	Piezoelectric	1s	Small/Light	1	No	Wearable (HMD plugin)
	Wang (2024) ^[23]	Piezoelectric	ms	Variable(Toolkit)	1~4	Yes	Wearable
	Lin (2025) ^[5]	Piezoelectric	Instant	N/A	2	No	Wearable (vest)
	Zou (2026) ^[24]	Piezoelectric +SAW	1.5s	Small/Light	8	Yes	HMD Plugin
Heating	Liu et al. (2023) ^[16]	Paraphin heating (Phase change)	1.4s	18x16x3mm (unit)	2~9	Yes	Wearable (skin/mask)
	Liu et al. (2024) ^[17]	Paraphin heating (Phase change)	70ms	11x10x1.8mm (unit)	32	Yes	Wearable

이러한 물리적이며, 화학적 향을 대체하는 방법으로 실제 향 소스 없이 후각 수용체를 직접 자극하는 전기 자극 방식의 가능성도 제안되었다^[19]. 이 연구는 쿿구멍 7cm 안쪽에 가는 전극을 집어넣고 미세 전류를 흘리는 방식이며, 전극이 코의 후각 상피세포에 전류를 발생시키면 그곳 신경 세포가 자극돼 뇌로 후각 신호를 전달한다. 실험을 통해 참가자들은 전기자극만으로 과일 향이나 박하 향, 나무 향 등 향기를 느낄 수 있음이 확인되었다.

이처럼 후각 발향 기술은 발향 방식의 특성에 따라 고도화되고 있으며, 실질적인 활용으로 이어질 수 있도록 소형화와 착용형 형태로 개선되고 있다. 또한 현실감 있는 발향을 위해 환경 요소의 반영과 다감각 동기화가 가능하도록 개발되고 있으며, 다수 발향 제어와 함께 향 혼합에 관한 연구가 활발하게 연구되고 있음을 알 수 있다. 이를 바탕으로 고도화된 발향 장치를 활용하여 XR 환경에서 인간의 후각 반응과 그에 따른 다양한 인지적·감성적 변화를 객관적으로 측정하고 분석하는 방향으로 확장되고 있다.

Ⅲ. 후각 자극 반응 측정과 영향 분석

후각 자극에 대한 영향과 효용성을 파악하기 위해 개발 중인 발향 장치를 포함하여 다양한 발향 환경이 구성되고

이에 대한 다양한 정성적 및 정량적인 반응이 측정되고 있다. 후각에 대한 반응을 위한 연구는 표 2와 같이 몰입과 현존감 향상, 인지적, 감성적 영향, 멀미 및 피로도 개선, 인식 최적화 연구로 구분해서 분석해 볼 수 있다.

먼저 후각 반응에 관한 연구는 주로 시각 정보와 일치하는 향기를 제공하여 공간적 현존감을 높이는 수동적 방식에 집중하였다. 먼저 가상현실(Virtual reality, VR)에 후각을 포함함으로써 몰입감과 현존감 향상에 대한 긍정적인 영향이 있음은 확인되었다^{[5][15][25]}. 또한 후각과 시청각과 동기화를 통해 몰입감을 향상시키기 위한 연구가 진행되었다^[8]. 이 연구에서는 영상 장면이 실행되는 동안 이와 관련된 커피, 꽃, 초콜릿 등의 냄새를 조향하면 몰입감이 향상됨을 확인하였다. 더 나아가 냄새를 환경적 배경을 넘어 능동적 상호작용을 도입하면 VR에서의 현존감을 향상할 수 있음을 확인하였다^[22]. 이 연구는 발향 소스의 형태, 사용자의 거리를 바탕으로 근거리, 원거리 상호작용 모델을 구성하고, 사용자의 손 기반 제스처를 통해 향기를 이동, 혼합하는 상호작용 과정을 통해 현존감이 향상됨을 확인하였다.

후각에 대한 반응으로 몰입감과 현존감을 넘어 인지적, 감성적 영향에 관한 연구가 진행되고 있다. 브랜드에 대한 감성적 영향을 분석하기 위해 향초와 상상적 후각 요소를 바탕으로 자극하였는데 몰입으로 넘어가는 플로우 상태를 매개로 했을 때 브랜드 참여도 및 실제 구매 의도가 증가함

을 파악하였다^[27]. 후각 자극은 장면 인식 향상에 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 시각과 잘 정합이 되면 인지 부하를 줄일 수 있는 것으로 나타났다^[7,11,16]. 더 나아가 후각 자극을 바탕으로 임상적 후각 기능과 인지능력(언어 유창성) 향상이 가능함을 확인하였다^[9]. 고령자 시공간 인지력 향상 연구는 후각 자극이 뇌의 임비계(Limbic system)를 자극하여 기억 인코딩을 강화하는 인지적 앵커 역할을 할 수 있음을 확인하였다^[28].

후각 자극을 통한 멀미와 피로도 완화에 관한 연구도 진행되고 있다. 먼저 후각 자극은 방향 인지에는 한계가 있지만 자연스러운 보행에서 방향 전환을 자연스럽게 유도하고

회전량(Gain)을 증가시킴을 확인하였다^[29]. 또한 페퍼민트와 같이 마음을 안정시키는 향기가 멀미 완화에 효과적이라는 사실은 일반적으로 알려져 있었으나, 방향 감각 상실과 같은 실질적인 멀미 증상을 완화하기 위해서는 후각 정보와 시각 정보 간의 일치성이 중요한 요인인 것으로 나타났다^[30]. 이는 무분별한 발향보다 맥락에 맞는 발향이 중요함을 알 수 있다.

또한 후각 자극에 대한 사용자의 인식 향상을 위한 연구도 진행되고 있다. 후각 자극에 대한 인식과 냄새의 식별은 개인 특성, 및 환경 차이에서 발생한다^[31]. Smell Engine에서는 후각 소스의 위치와 가상 객체를 정합하여 위치 기반

표 2. 발향 목적에 따른 자극, 측정 지표 및 결과

Table 2. Olfactory stimuli, metrics and effect according the purpose olfactory research

Purpose	Authors (year)	Olfactory stimuli	Measurements	Main results
Presence & immersion	Archer (2022) ^[25]	Airflow :forest, smoke, etc.	ITC-SOPI, EDA, Heart Rate	Inducing physiological arousal and spatial presence chamber
	De Paiva (2022) ^[15]	Ultrasonic (HMD) :Lavender, water, etc.	User satisfaction, presence, immersion	Enhancing presence and immersion
	Lin (2025) ^[5]	Piezoelectric (wearable) :jasmine,black, pepper	Comprehension of artwork, immersion, enjoyment	Deeper comprehension of and emotional immersion into artworks
	Wang (2025) ^[8]	Airflow (ambient) :coffee, flowers, etc	Sniffin' sticks score, Identification acc.	Olfactory stimuli with visual and auditory information enhance immersion
	Li (2025) ^[26]	Atomization (wearable) :banana, rose, etc.	Interaction performance, presence, NASA-TLX	Direct user control over the scents of virtual objects enhances the sense of presence
Cognition & emotion	Cowan (2023) ^[27]	Airflow (candle) emission & imagined olfactory cues	Flow level, purchase intention	Increasing brand engagement and actual purchase intention
	Li (2023) ^[28]	Airflow (vials & sticks) :lemon, rose, etc.	TDI Score, verbal fluency	Improving clinical olfactory function (TDI) and cognitive performance (verbal fluency)
	Yildirim (2025) ^[7]	Piezoelectric (wearable) :4 types of natural office scents	Systolic blood pressure (BP), working memory	Alleviating stress (reduces blood pressure) and improves cognitive performance (working memory)
	Sunami (2025) ^[9]	Airflow (Solenoid valve) :orange, mint, melon	Hiragana rotation task, spatial memory	Improving visuospatial cognition and word memory accuracy in the elderly
	Bak (2025) ^[11]	Airflow (micro fan) :cafe, desert, etc.	Scene recognition accuracy, confidence of decision-making	Combining olfactory and auditory cues improves scene recognition accuracy in visibility-limited environments
	Wen (2026) ^[18]	Airflow (micro fan) :food scent bases	NASA-TLX, perfume blending accuracy	AI-assisted perfume blending reduces the user's cognitive workload and frustration
VR sickness	Lee (2022) ^[29]	Ultrasonic :floral perfume	Walking redirection success rate, number of rotations	Inducing natural walking direction redirection and increases rotation gains
	Reichl (2024) ^[30]	Airflow (HMD-attached) :rose, garlic	VR sickness (VRSQ), reaction time	Pleasant scents alleviate the disorientation symptoms of VR sickness
Scent recognition	Bahremmand (2022) ^[20]	Airflow (Solenoid valve) :berry, mint, citrus	Odor source localization accuracy, distance error	Position-based scent improves the accuracy of localized scent source searching in VR
	Uda (2024) ^[21]	Airflow :grass/herbal Scent	Scent source, directional scentrecognition	Incorporating the user's body heat enhances the accuracy of scent direction recognition

발향을 제어함으로써 냄새에 대한 인지를 높일 수 있음을 확인하였다^[20]. 또한 동적인 환경에서 사용자의 신체 움직임에 따른 발향 제어를 위해 향에 대한 유체 시뮬레이션을 적용하여 발향 위치 인식 정확도를 높였다^[21].

요약해 보면 발향 자극에 대한 반응은 시청각 감각과 융합 및 상호작용을 통한 몰입감과 현존감 향상을 위한 방향으로 연구가 계속 진행되고 있으며, 감성적, 인지적 영향을 파악하기 위한 연구가 증가함을 알 수 있다. 또한 최근 연구 일수록 혈압, 피부 전도도, 지각 차이 수치, 작업 성공률 등 정량적이고 객관적인 생리·행동 데이터를 통해 후각 XR의 효용성을 측정하고 있다. 이는 설문 기반의 주관적 평가에서 벗어나 정량적인 생리·행동 데이터를 결합하여 연구의 과학적 신뢰도를 높이고 있다. 여기에 더해 발향 소스의 위치와 방향에 따른 후각 인식 정확도 향상에 대한 연구가 진행되어 공간적 인식 정밀도를 향상하고 있다. 이러한 후각 자극에 대한 반응 특성과 감각 전달 개선에 관한 연구는 발향 특성, 인지적 특성 및 통합적 감각 측면에서 향의 긍정적 효과를 극대화하고 부정적 효과를 최소화함으로써 더욱 자연스럽게 효과적인 후각 기반 XR 응용을 개발하는데 있어 중요하다.

IV. 후각 기반 XR 응용과 상호작용 특성 분석

후각 기반의 XR 응용은 후각의 특성을 바탕으로 적용 가능성을 확인하기 위한 목적으로 대부분 시범적으로 연구되고 있다. 특히 게임 및 엔터테인먼트와 의료 및 헬스케어 측면에서 중점적으로 연구가 이루어지고 있으며, 마케팅 및 홍보와 스마트 홈 분야로 확대되고 있다.

게임 및 엔터테인먼트 분야는 후각을 추가하여 다감각을 추구하는 멀티모달 상호작용형 응용으로 연구되고 있다. 먼저 게임에서 화재 연기와 같은 게임 내 특정 이벤트 발생 시 자동으로 발향되는 사건 기반 반응형 제어를 적용하여 게임 효과를 극대화하였다^[25]. 사용자의 참여도가 높은 인터랙티브 소셜 VR 및 게임 분야에서도 후각 활용에 대한 시도가 있었다. 후각 기반 상호작용 연구는 기존 수동적인 후각 활용을 보다 적극적인 상호작용으로 가능성을 제시하

고 있다^[26]. 이러한 후각 기반 공간 제스처(밀기 등)는 가상 공간에서 발향 강도와 위치를 직접 조절하는 상호작용이 가능해 향후 능동형 게임에서 활용이 유용하다. 후각을 융합한 VR 시네마는 비디오 장면이나 사운드클라우드와 밀리초 단위로 정밀하게 동기화하여 조향함으로써 다감각 VR 영상 콘텐츠 가능성을 제시하였다^[8].

의료 및 헬스케어 분야에서는 가상 환경 내 자극 유발 요인과 신체 반응의 동기화를 통해 임상적 재활 및 정서적 개입을 달성하는 목적으로 연구되고 있다. 임상 후각 재활에서 후각 자극이 활용되었는데, 코로나19 후유증 등을 위한 시각 비디오 가이드와 하드웨어의 트리거를 결합한 다감각 참여형 구조를 채택함으로써 체계적인 구조적 훈련 세션을 수행할 수 있도록 하였다^[28]. 최근에는 고령자의 인지 재활 분야에서 고령자의 인지능력 향상 응용이 제안되었다^[9]. 이 연구는 고령자들이 가상 물체를 직접 터치하고 냄새를 식별하는 과업 중심 과업을 설계하고, 사용자의 신체적 탐색과 감각적 피드백이 연동되는 능동 탐색 게임을 통해 후각 자극이 기억과 인지에 효과적임을 확인하였다.

교육 및 학습 분야는 냄새가 가진 공간 정보 전달력과 실제 물리적 확산 법칙을 가상 세계에 투영하여 발향 시뮬레이션이 반영된 응용이 연구되고 있다. 발향에 있어 신체의 열 분포나 공간의 기류 변화를 발향 계산에 실시간으로 반영하기 위해 전산 유체 역학 기반 발향 제어는 후각 인지 향상을 높였다^[21]. 이러한 결과는 가스, 화재 등 현실 특성이 반영된 소방 훈련 등 재난 대응 시뮬레이션으로 활용이 가능하다. 또한 문화예술 분야에서도 후각을 활용하여 작품 감상에서의 몰입감과 만족도를 높이기 위한 시도가 있었다^[5]. 이 연구는 VR 전시 환경에서 사용자가 손가락 제스처로 특정 그림 요소를 가리킬 때 즉각 발향 및 중단되는 포인팅 트리거 방식으로 발향을 제어하여 학습 몰입감과 만족도를 높였다.

발향 기술은 마케팅 및 가상 커머스 분야에 적용되어 소비자의 잠재적 감성과 상상력을 자극하여 브랜드 태도를 강화하고 행동 의도를 변화시키는 응용으로 개발되고 있다. VR 광고 연구는 소비자가 광고 미디어를 시청하는 프로세스 도중 시각 정보와 일치하는 향기 자극을 개입시키는 수동 반응형 구조를 채택하여, 사용자가 시각적 인지 부하를 느끼지 않는 범위 내에서 자연스럽게 브랜드 태도를 향상

하는 효과를 확인하였다^[32]. 이와 대조적으로 리테일 마케팅을 다룬 연구는 물리적인 향기 분사 메커니즘뿐만 아니라 텍스트 단서나 시각적 그래픽만을 제시하여 소비자가 뇌 내에서 후각적 기억을 스스로 떠올리도록 유도하는 수동 혹은 상상 반응형 상호작용 특징을 반영하는 응용의 가능성을 확인하였다^[27]. 이 연구는 하드웨어의 물리적 한계를 인지 심리학적 메커니즘(후각적 상상력)으로 대체 가능하다는 마케팅 측면의 차별화된 시도로 볼 수도 있다.

스마트 리빙 및 건축 환경 분야에도 후각을 활용하는 응용이 개발되고 있다. 후각 킷은 사용자들이 직접 후각 인터페이스를 조립해 통합할 수 있도록 지원하며, 이를 활용하면 웨어러블 기기, 일상용품이나 가전, 디지털 기기 등 일상 사물에 발향 중심의 DIY를 가능하게 하고 있다^[23]. 후각 기반 다감각 VR은 스마트 건축 환경에서의 시뮬레이션과 평가에 적용되었다^[7]. 이 연구는 Meta Quest 2 HMD에 OVR Technology의 OVR ION 2를 활용하여 다감각 기반 VR 건축 공간을 구축하였으며, 가상 태블릿 UI를 통해 텍

스처, 소재 등 건축 관련 시각적 요소를 직접 커스터마이징할 수 있도록 하였다.

V. 극복할 문제와 향후 연구 방향

최근 발향 기술과 응용 동향을 살펴보면 발향 장치 경량화, 향 블렌딩, 상호작용으로 고도화되고 발전하고 있음을 알 수 있다. 그럼에도 활발하게 발전하고 있는 XR 기기와 콘텐츠에 비해 발향 기술이 적극적으로 활용되기 위해서는 여러 가지 해결되어야 할 문제가 남아있다.

먼저, 다수 향 활용을 바탕으로 한 향 블렌딩 기술이 고도화되어야 한다. 다수 향에 대한 발향이 진행되고 있음에도 향 블렌딩은 아직 초기 단계 연구로 기술적·심리적, 인지적 한계가 있다. 먼저 두 가지 이상의 향을 섞었을 때 전체 강도가 합산되지 않고 오히려 개별 향의 인지도가 낮아지는 현상이 발생할 수 있으며 인간은 향기 혼합물에서 성분이

표 3. 후각 기반의 XR 응용

Table 3. XR Applications based on olfactory

Category	Specific area	Author (year)	Active/passive	Scent delivery
Entertainment & immersive media	Multisensory Immersive VR & Gaming	Archer et al. (2022) ^[21]	Event-based interaction	Automatic scent emission triggered by specific in-game events (e.g., smoke generation).
	Interactive social VR & gaming	Li et al. (2025) ^[26]	Active/user-driven	Scent intensity adjustment and movement control via mid-air hand gestures (e.g., pushing).
	VR cinema & video synchronized media	Wang et al. (2025) ^[22]	Content-synchronized	Millisecond-level precise synchronized switching paired with video scenes & audio cues.
Medical & healthcare	Olfactory rehabilitation	Li et al. (2023) ^[28]	Multisensory interaction	Structured training sessions combined with guided video instructions and scent.
	Memory training for the Elderly	Sunami et al. (2025) ^[9]	Active Exploration (Gamified)	Task-oriented interface focused on touching virtual objects and identifying odors.
Education & training	Disaster response simulation	Uda (2024) ^[21]	Physical interaction	Real-time CFD delivery according to user's body heat and envir.
	Cultural heritage education & art appreciation	Lin et al. (2025) ^[5]	User-driven Pointing	scent emission and cessation triggered when pointing a finger at specific pictorial elements.
Marketing & virtual commerce	VR advertising & brand Promotion	Brengman et al. (2022) ^[32]	Passive reactive	Exposure to visually congruent scent stimuli during commercial viewing.
	Retail marketing & purchase intention enhancement	Cowan et al. (2023) ^[27]	Passive/ imagination-reactive	Exposure to mental imagery stimuli via physical scents or descriptive texts.
Smart living	Smart spaces & personalized device fabrication	Wang et al. (2024) ^[23]	User-defined interaction	Integrating olfactory interfaces into everyday objects using a DIY toolkit.
	Post-occupancy evaluation (POE) & stress management	Yildirim et al. (2025) ^[7]	UI-Mediated Controlled	Direct customization of environmental parameters via a virtual tablet UI.

많아질수록 개별 향을 식별하는 정확도가 급격히 떨어진다는 한계가 있다. 여기에 더해 잔향 문제가 발생하는데 여러 향을 섞어 쓰면 장치 내부나 튜브에 향이 남아 다음 향기와 원치 않게 섞이는 교차 오염 문제가 발생하므로, 별도의 세척 모드나 공기 추출 시스템이 필수적으로 개발되어야 한다.

후각 인지에 있어 개인차 극복이 필요하다. 인간의 후각은 냄새의 강도, 지각 시간, 공간적 퍼짐이 사람마다 다르고, 공기 중 확산 속도가 느려 정밀한 시간·공간 제어가 어렵다. 또한 냄새는 잔향이 남아 연속적 혹은 동적 제어가 어렵고, 개인차가 크기 때문에 몰입감이나 인지 최적화에 어려움이 있다. 후각은 성별, 나이뿐만 아니라 문화적 배경에 의해서도 차이가 발생하며, 특정 문화권이 특정 냄새에 더 수용적일 수 있음을 언급되었으며 후각에 대한 반응은 사용자의 과거 경험과 문화적 배경에 의해 형성될 수 있다^[6]. 이에 따라 발향 장치는 사용자별로 강도 베이스라인을 체크하고 보정하는 기능이 필요하고, 분석 단위를 그룹이 아닌 개인 수준으로 세분화하여 환경을 구성하여 개인차를 식별하고 보정하기 위한 연구가 필요하다.

후각은 시각각 등의 요소와 정밀한 정합이 필요하다. 후각은 현존감을 향상할 뿐만 아니라 감정, 기억, 몰입과 밀접한 감각임에도 주요 감각인 시각과의 시공간 정합성(Temporal and spatial congruence)을 구현하는 기술적·이론적 기반이 부족하다. 후각 혹은 시각의 지연·확산 특성 때문에 시각 자극과의 시간적 일치성과 위치, 방향, 움직임의 공간적 일치가 자연스럽게 유지되지 않으며, 이는 사용자 경험 저하로 이어진다. 따라서 XR에서 높은 실재감과 몰입감을 확보하기 위해 시각-후각 감각 통합 메커니즘과 정합성 확립이 필수적이다.

후각 및 시각-후각 감각 정합에 따른 신체적·인지적 반응 정량화가 필요하다. 후각이 XR 환경으로 통합 적용되었을 때 사용자의 지각, 인지적 능력, 감정 반응에 어떤 영향이 있는지에 대한 정량적인 연구가 부족하다. 정합성의 수준에 따른 인지 정확도, 반응 시간, 주의도, 몰입감, 존재감, 생리 반응(심박, 피부 전도도 등) 등을 정량화하여 시각-후각 통합의 관계성을 객관적으로 규명할 수 있으며, 이는 후각 기반 XR의 설계 원칙을 마련하기 위한 필수 단계이다.

마지막으로 후각 기반 XR 응용을 위해서는 지능형 발향

제어와 연동을 위한 공통된 툴킷이 필요하다. XR 환경에서 후각 자극을 활용하기 위해서는 다양한 방식이더라도 향 종류, 시간, 농도, 지속시간을 자유롭게 통일성 있게 제어할 수 있는 발향 제어에 대한 규격화가 필수적이다. 발향 장치는 지연, 확산 범위, 혼합, 잔향 등 한계가 있어 동적 상황 변화와 상호작용이 빈번한 XR 환경에서의 활용에 제약이 있다. 따라서 XR 환경을 위한 다양한 발향 장치에 대한 통일화된 제어와 공통되고 일관성 있는 툴킷 개발이 필요하다.

VI. 결 론

본 논문은 최근 증가하고 있는 후각 장치 기술 사례와 관련 XR 응용에 대한 문헌 조사를 수행하였다. 이를 위해 2022년 이후 XR 중심의 발향 기술에 대한 연구논문 27편을 추출하고, 발향 방식과 기술, 발향 목적에 따른 효용성 및 XR 응용 특성을 분석하였다. 이를 바탕으로 발향 장치는 소형화, 경량화로 개선되고 있고 다수 발향과 함께 향 혼합으로 발전하고 있다. 또한 발향 자극에 따라 현존감, 몰입감 향상을 넘어 인지적, 감성적 측면에서 긍정적 영향이 확인되고 있다. 이를 바탕으로 한 후각 기반 XR 응용은 모바일 환경 실현과 함께 실시간 상호작용이 가능해지면서 게임 및 엔터테인먼트, 의료 및 헬스케어, 마케팅 및 홍보, 교육 및 훈련, 스마트 리빙 등에서 시범적인 활용 연구가 늘어나고 있음을 알 수 있었다. 그러나 발향 기술은 기존 시각각 중심의 XR에 비해 아직 시각 단계에 머물러 있다. 따라서 실질적 활용을 위해서는 발향 장치 고도화, 시각 정보와 후각 자극 간의 정합성 확보, 개인별 후각 민감도 차이에 대한 최적화, 후각 반응에 대한 객관적 측정 등 지속적인 연구개발이 요구된다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] R. Khamsi, "Unpicking the link between smell and memories," *Nature*, vol. 606, no. 7915, pp. S2 - S4, Jun. 2022.
doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-022-01626-x>
- [2] Z. Zhang, X. Guo, and C. Lee, "Advances in olfactory augmented virtual reality towards future metaverse applications," *Nat Commun*, vol. 15, no. 1, p. 6465, July 2024.

- doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50261-9>
- [3] X. Wang, M. Kong, J. Liao, Y. Hong, S. Liu, and Y. Liu, "Advances in olfactory displays for multisensory immersion: principles, applications, and future directions," *Sci. China Mater.*, vol. 68, no. 12, pp. 4307 - 4327, Dec. 2025.
doi: <https://doi.org/10.1007/s40843-025-3726-3>
- [4] M. F. B. Da Silva et al., "SOFIA: Advancements in Olfactory Stimuli in Virtual Reality for Immersive Multisensory Experiences and Potential Applications in the Industry 5.0," in *2025 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and eXtended and Virtual Reality*, Lisbon, Portugal: IEEE, Jan. 2025, pp. 419 - 424.
doi: <https://doi.org/10.1109/AIXVR63409.2025.00078>
- [5] T. Lin et al., "AromaCanvas: A wearable olfactory display for Chinese painting appreciation and learning in virtual reality," *Computers & Education: X Reality*, vol. 7, p. 100109, Dec. 2025.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100109>
- [6] J. Tewell and N. Ranasinghe, "A Review of Olfactory Display Designs for Virtual Reality Environments," *ACM Comput. Surv.*, vol. 56, no. 11, pp. 1 - 35, Nov. 2024.
doi: <https://doi.org/10.1145/3665243>
- [7] M. Yildirim, A. Globa, O. Gocer, and A. Brambilla, "Digital smell technologies for the built environment: Evaluating human responses to multisensory stimuli in immersive virtual reality," *Building and Environment*, vol. 271, p. 112608, Mar. 2025.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112608>
- [8] C. Wang, E. Daulton, and J. A. Covington, "Multi-scent olfactory display with visual and sound interaction," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 197, p. 103421, Mar. 2025.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2024.103421>
- [9] R. Sunami, T. Nakamoto, N. Cohen, T. Kobayashi, and K. Yamamoto, "Exploring the effects of olfactory VR on visuospatial memory and cognitive processing in older adults," *Sci Rep*, vol. 15, no. 1, p. 10805, Mar. 2025.
doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94693-9>
- [10] G. Zhou et al., "Human olfactory-auditory integration requires phase synchrony between sensory cortices," *Nat Commun*, vol. 10, no. 1, p. 1168, Mar. 2019.
doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09091-3>
- [11] S. Bak, D. Han, I. Jo, S.-J. Kim, and I. Cho, "Beyond the Portal: Enhancing Recognition in Virtual Reality Through Multisensory Cues," in *Proceedings of the 31st ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, ACM, New York, NY, USA, Article 34, 1 - 9.
doi: <https://doi.org/10.1145/3756884.3766025>
- [12] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, and C. D. Mulrow, et al., "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, Mar. 2021.
doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [13] D. Dmitrenko, E. Maggioni, and M. Obrist, "OSpace: Towards a Systematic Exploration of Olfactory Interaction Spaces," in *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, Brighton United Kingdom: ACM, Oct. 2017, pp. 171 - 180.
doi: <https://doi.org/10.1145/3132272.3134121>
- [14] S. Niedenthal, W. Fredborg, P. Lundén, M. Ehrndal, and J. K. Olofsson, "A graspable olfactory display for virtual reality," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 169, p. 102928, Jan. 2023.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102928>
- [15] M. De Paiva Guimarães, J. M. Martins, D. R. C. Dias, R. D. F. R. Guimarães, and B. B. Gnecco, "An olfactory display for virtual reality glasses," *Multimedia Systems*, vol. 28, no. 5, pp. 1573 - 1583, Oct. 2022.
doi: <https://doi.org/10.1007/s00530-022-00908-8>
- [16] Y. Liu et al., "Soft, miniaturized, wireless olfactory interface for virtual reality," *Nat Commun*, vol. 14, no. 1, p. 2297, May 2023.
doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37678-4>
- [17] Y. Liu et al., "Intelligent wearable olfactory interface for latency-free mixed reality and fast olfactory enhancement," *Nat Commun*, vol. 15, no. 1, p. 4474, May 2024.
doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48884-z>
- [18] Y. Wen, A. Chen, J. Yu, J. Brooks, H. Ishii, and P. P. Liang, "AromaGen: Interactive Generation of Rich Olfactory Experiences with Multimodal Language Models," Apr. 23, 2026, arXiv: arXiv:2604.01650.
doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2604.01650>
- [19] K. Karunanayaka, A. D. Cheok, and S. Vedadi, "Digital Smell: Toward Electrically Reproducing Artificial Smell Sensations," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 50659 - 50670, 2023.
doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3278093>
- [20] A. Bahreman et al., "The Smell Engine: A system for artificial odor synthesis in virtual environments," in *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Christchurch, New Zealand: IEEE, Mar. 2022, pp. 241 - 249.
doi: <https://doi.org/10.1109/VR51125.2022.00043>
- [21] M. Uda and T. Nakamoto, "Influence of User's Body in Olfactory Virtual Environment Generated by Real-Time CFD," in *2024 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Orlando, FL, USA: IEEE, Mar. 2024, pp. 951 - 959.
doi: <https://doi.org/10.1109/VR58804.2024.00114>
- [22] C. Wang, E. Daulton, and J. A. Covington, "Multi-scent olfactory display with visual and sound interaction," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 197, p. 103421, Mar. 2025.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2024.103421>
- [23] Y. Wang, Z. Cui, H. Gong, and T. Chen, "OlfacKit: A Toolkit for Integrating Atomization-Based Olfactory Interfaces into Daily Scenarios," *International Journal of Human - Computer Interaction*, vol. 40, no. 16, pp. 4392 - 4411, Aug. 2024.
doi: <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2212512>
- [24] Z. Zou, T. Nakamoto, H. H. Wu, K. Cheng, S. Lee, and S. Hasegawa, "Development of an Eight-Channel Wearable Olfactory Display for Virtual Reality," *IEEE Sensors Journal*, vol. 26, no. 7, pp. 9395 - 9406, Apr. 2026.
doi: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2026.3664854>
- [25] N. S. Archer, A. Bluff, A. Eddy, C.K. Nikhil, N. Hazell and D. Frank et

- al., "Odour enhances the sense of presence in a virtual reality environment," *PLoS One*, vol. 17, no. 3, p. e0265039, Mar. 2022.
doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265039>
- [26] J. Li et al., "Mid-Air Gestures for Proactive Olfactory Interactions in Virtual Reality," in *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Yokohama Japan: ACM, Apr. 2025, pp. 1 - 18.
doi: <https://doi.org/10.1145/3706598.3713964>
- [27] K. Cowan, S. Ketron, A. Kostyk, and K. Kristofferson, "Can you smell the (virtual) roses? The influence of olfactory cues in virtual reality on immersion and positive brand responses," *Journal of Retailing*, vol. 99, no. 3, pp. 385 - 399, Sep. 2023.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2023.07.004>
- [28] Z. Li, A. Anne, and T. Hummel, "Olfactory training: effects of multisensory integration, attention towards odors and physical activity," *Chemical Senses*, vol. 48, p. bjad037, Jan. 2023.
doi: <https://doi.org/10.1093/chemse/bjad037>
- [29] J. Lee, S. Hwang, K. Kim, and S. Kim, "Auditory and Olfactory Stimuli-Based Attractors to Induce Reorientation in Virtual Reality Forward Redirected Walking," in *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*, New Orleans LA USA: ACM, Apr. 2022, pp. 1 - 7.
doi: <https://doi.org/10.1145/3491101.3519719>
- [30] L. Reichl and M. Kocur, "Investigating the Impact of Odors and Visual Congruence on Motion Sickness in Virtual Reality," in *30th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, Trier Germany: ACM, Oct. 2024, pp. 1 - 12.
doi: <https://doi.org/10.1145/3641825.3687731>
- [31] S. Persky and A. P. Dolwick, "Olfactory Perception and Presence in a Virtual Reality Food Environment," *Front. Virtual Real.*, vol. 1, p. 571812, Sep. 2020.
doi: <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.571812>
- [32] M. Brengman, K. Willems, and L. De Gauquier, "Customer Engagement in Multi-Sensory Virtual Reality Advertising: The Effect of Sound and Scent Congruence," *Front. Psychol.*, vol. 13, p. 747456, Mar. 2022.
doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.747456>

저 자 소 개



신 춘 성

- 광주과학기술원 정보통신공학 석사/박사
- 현재 : 전남대학교 문화전문대학원 미디어콘텐츠·컬처테크전공 교수
- 현재 : 전남대학교 문화기술연구소장
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2384-4022>
- 주관심분야 : 가상증강현실, HCI, 문화기술



고 병 수

- 대전대학교 컴퓨터공학과 박사
- (주)디지캡 이사
- 한국콘텐츠진흥원 문화체육관광기술진흥센터 PD
- 현재 : 한신대학교 AI·SW대학
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-0465-3266>
- 주관심분야 : 저작권, 정보보호, 신뢰 AI, 콘텐츠 보호



정 희 용

- Hiroshima University 로봇공학과 석사
- Osaka University 기계공학과 박사
- Osaka University 의학계연구과 교수
- 현재 : 전남대학교 AI융합대학 인공지능학부 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8135-8252>
- 주관심분야 : 헬스케어, 지능로봇, 컴퓨터비전