

온소리 Sphere: Vision Pro 기반 공간청각·감각통합 XR 청능재활 시스템의 설계 및 사용자경험 평가

Design and User Experience Evaluation of OnSori Sphere: A Spatial-Hearing XR Rehabilitation System on Apple Vision Pro

장하영 Hayoung Jang 서울시립대학교 University of Seoul wkdgkdud5471@gmail.com il.com	홍찬영 Chanyoung Hong (주)클레비온 Clevion ighong11@gmail.com	송은나래 Eunnarae Song 오늘의 집 Oh house Brand&Marketing Design eunnaraes@gmail.com	최윤서 Yunseo Choi 서울대학교 Seoul National University dbstj0531@snu.ac.kr	김지수 Jisoo Kim 연세대학교 Yonsei University ohjskim@gmail.com
김연희 Yoenhwi Kim 가인지캠퍼스 Gainge Campus devyeony@gmail.com	이호준 Hojun Lee 에듀니티랩 EdunietyLab jazzwave14@gmail.com	홍승혁¹ Seunghyeok Hong 한국외국어대학교 Hankuk University of Foreign Studies shongdr@gmail.com	정효정² Hyojung Jung 단국대학교 Dankook University hyojung.jung@dankook.ac.kr	

1,2 공동교신저자

요약문

본 연구는 Apple Vision Pro 기반 XR·Spatial Computing 환경에서 공간청각 및 감각통합 훈련을 제공하는 청능재활 시스템 '온소리 Sphere'를 설계하고, 사용자 평가를 통해 시스템의 사용성과 효과성을 검증하고자 하였다. 본 시스템은 인공와우 이식 및 청각 손실 사용자를 대상으로 360도 환경을 기반 음원 위치 탐지, 개인별 청취 임계값 보정, 시각-청각 통합 피드백을 제공하며, Vision Pro의 제스처 기반 인터랙션과 공간음향 기술을 활용한다. 16명 대상 사용성 평가 결과, SUS 평균 55.47 점, 초기 학습 곡선과 장비 착용감이 주요 저해 요인으로 나타났다. 그러나 XR 몰입감(M=4.06), 다감각 피드백 적절성(M=4.19), 장기 훈련 의향(M=4.25)은 긍정적으로 평가되었다. 개방형 응답에서 직관적 음원 탐지와 게임화 방식이 강점으로, 공간음향 분리도 개선과 온보딩 프로세스 보완이 개선점으로 도출되었다.

주제어

인공와우, 청능재활, 공간청각, XR, Spatial Computing, Apple Vision Pro, 사용자 경험, 사용성 평가

1 서론

인공와우(Cochlear Implant)는 고도 난청 및 농인의 음성 지각과 언어 이해 향상에 효과적인 청각 보조기거나, 사용자들은 일상 청취 환경에서 방향성, 거리감, 음

원 탐색과 같은 고차 청각 기능에서 한계를 경험한다. 특히 다화자 환경, 배경 소음이 존재하는 공간, 시야 밖에서 발생하는 음원은 인공와우의 신호처리 구조와 제한된 주파수 분해능으로 인해 정확한 위치 파악이 어려운 것으로 보고되고 있다.

기존 청능재활 프로그램은 주로 단일 채널 음원과 전면 스피커 기반 언어 자극에 중점을 두어, 실생활에서 마주하는 360도 환경을 기반 청취 상황을 충분히 재현하지 못한다는 한계를 지닌다. 모바일 애플리케이션이나 PC 기반 콘텐츠는 공간감 및 방향성 단서를 제한적으로만 제공하며, 현실 공간과의 연계성이 부족하다. 이로 인해 훈련 환경에서 습득한 청취 능력이 실제 생활 공간으로 전이되지 못하는 문제가 지속적으로 제기되어 왔다.

최근 Apple Vision Pro와 같은 XR·Spatial Computing 디바이스는 공간 매핑 기술과 HRTF(Head-Related Transfer Function) 기반 공간음향을 통해 사용자의 머리 위치 및 방향에 따라 동적으로 변화하는 3차원 음향을 구현할 수 있다. 이러한 기술적 특성은 인공와우 사용자가 실제 환경과 유사한 조건에서 음원 위치를 탐지하고, 시각-청각 통합 자극을 통하여 공간청각(spatial hearing) 능력을 강화할 수 있는 새로운 재활 지원 플랫폼으로서의 잠재력을 갖는다.

그러나 HMD(Head-Mounted Display) 기반 XR 환경은 기기 중량, 착용 편의성, 조작 익숙도, 시각적 접근성 측면에서 사용성 장벽을 동반할 수 있다. 따라서 XR 환

경의 핵심 강점인 공간음향, 몰입감, 다감각 통합을 유지하면서도, 인공와우 사용자의 사용성 부담을 최소화하는 사용자 경험(UX) 설계 및 시스템 구조에 대한 실증적 연구가 요구된다. 이에 본 연구에서는 Apple Vision Pro 기반 XR 환경을 기반으로 한 청능재활 시스템 '온소리 Sphere'를 설계·개발하고, 사용자 평가를 통해 다음의 연구 문제를 규명하고자 하였다.

RQ1. 환경음 기반 360 도 음원 위치 분별 훈련은 인공와우 사용자에게 어떠한 경험을 제공하는가?

RQ2. 온소리 Sphere 의 사용성과 시스템 특성(장비 착용감, XR 몰입도, 시각-청각 통합, 장기 훈련 기대)은 인공와우 사용자에게 어떻게 평가되는가?

RQ3. 사용자 경험 분석을 통해 도출할 수 있는 XR 기반 청능재활 시스템의 설계 개선점과 가이드라인은 무엇인가?

2 이론적 배경

공간청각은 음원의 방향, 거리, 공간적 확산도를 지각하는 능력으로, 일상생활에서 타인의 호출, 차량 접근, 위험 상황 인지 등 안전과 직결되는 핵심적인 청각 기능이다. 인공와우 사용자는 전기 자극 채널 수의 제한, 양이(binaural) 간 시간 차(Interaural Time Difference, ITD)와 강도 차(Interaural Level Difference, ILD) 단서의 감소로 인해 공간청각 정보가 현저히 왜곡되며, 음원의 발생 위치를 정확히 지각하는 데 어려움을 경험하는 것으로 보고된다.

일반적으로 재활 관점에서 공간청각 훈련은 다채널 스피커 배열 또는 헤드폰 기반 가상 공간음향(virtual spatial audio)을 활용하여 특정 방향 및 거리에서 음원을 제시하고, 참여자가 위치를 추정하도록 하는 방식으로 수행된다. 그러나 고정된 2차원 디스플레이와 스테레오 음향만으로는 실제 환경에서의 머리 움직임, 시선 전환, 시각적 단서와의 통합 등 능동적 청취를 충분히 재현하기 어렵다는 한계가 지적되어 왔다.

XR·VR 환경에서 제공되는 머리 추적 기반 공간음향(head-tracked spatial audio)은 사용자의 움직임에 따라 음상(sound image)이 동적으로 변화하도록 구현할 수 있어, 실제 환경과 유사한 청취 경험을 제공한다. 특히 Apple Vision Pro 와 같은 공간 컴퓨팅 디바이스는 시야 내 3차원 가상 객체와 음원의 위치를 일대일로 매핑할 수 있어, 시각-청각 감각 통합을 활용한 재활 설계에 유리한 환경을 제공한다.

그러나 XR 기반 재활은 기기 착용 편의성, 시각 피로, 인터랙션 학습 부담이라는 새로운 사용성 과제를 동반한다. 따라서 XR 기반 청능재활 시스템은 다음의 설계 요소를 통합적으로 고려해야 한다: ① 공간음향의 명확한 방향 분리도 확보, ② 단계적 온보딩과 직관적 인터랙션 가이드 제공, ③ 기기 특성을 반영한 훈련 세션 구조 설계, ④ 시각적 접근성 강화 등이다. 본 연구에서 설계·개발한 온소리 Sphere 는 이러한 사용자 요구를 이론적·실제적으로 반영하여 설계하였다.

3 시스템 설계 및 구현

3.1 시스템 개요

본 연구에서 개발한 온소리 Sphere 는 Apple Vision Pro 기반 XR 환경에서 동작하는 환경음 기반 소리 위치 분별 훈련 시스템이다. 전체 서비스 IA 는 다음 네 단계로 구성하였다.

표 1. 온소리 Sphere 서비스 IA

튜토리얼	인터랙션 방법을 단계적으로 안내
청취 임계값 조절	슬라이더를 통해 본인에게 편안하게 잘 들리는 음량을 설정
소리 위치 분별 훈련	360 도 공간에 배치된 공 중, 환경음이 재생되는 공을 찾아 선택
로비	훈련 종료, 재시작, 튜토리얼 등 세션 관리

훈련의 핵심 목표는 방향감·거리감·소리 탐색 능력 회복을 통한 독립적 청취 능력 강화이며, 이를 위해 실제 생활에서 자주 접하는 사이렌, 자동차 경적, 강아지 짖는 소리, 음악 소리 등 환경음을 주요 자극으로 사용하였다.

3.2 훈련 콘텐츠 설계

훈련 콘텐츠는 환경음을 활용한 음원 위치 탐지(sound localization) 과제로 구성하였으며, 점진적 난이도 조절이 가능하도록 설계하였다. 구체적으로 청각 자극은 사이렌, 경적, 개 짖는 소리, 안내 방송 등 일상 환경음으로 구성하였다. 사용자를 중심으로 전후·좌우·대각 방향에 구 형태의 가상 객체를 배치하고, 각 객체에 3차원 공간 좌표를 부여하였다. 음원의 크기, 잔향, 고주파 감쇠를 조절하여 거리 지각 단서를 제공하였다.

초기 단계는 2~3 개 음원을 명확한 방향 차이로 배치하고, 중간 단계는 음원 수 증가 및 혼재 배열, 고난도 단계는 배경 소음 추가 또는 간헐적 자극 제시 방식으로 구성하였다. 10 초 이상 무반응 시 음원 위치에 적색 그래픽 힌트를 제공하였다. 정답 선택 시 발광, 오답 시 회색 변화로 즉각적 피드백을 제공하였다.

3.3 사용자 인터페이스 설계

온소리 Sphere 의 UI 는 VisionOS Human Interface Guidelines 에 따라 반투명 패널과 중앙 시야 배치를 통해 시각적 부담을 최소화하고 공간음향 자극에 대한 집중도를 높이도록 설계하였다.

3.3.1 튜토리얼 단계

튜토리얼 단계에서는 XR 환경에 익숙하지 않은 사용자를 위해 단계적 온보딩을 제공하였다. 시선 고정, 핀치 제스처 학습, 예시 과제 체험을 순차적으로 진행하며, 정답·오답 피드백 및 시각 힌트 메커니즘을 사전 경험하도록 구성하였다(그림 1).

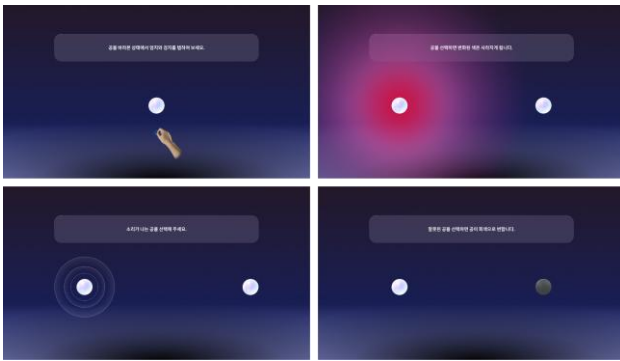


그림 1. 튜토리얼 단계별 설명 화면

3.3.2 청취 임계값 조절 단계

다음 단계에서 수평 슬라이더 UI 를 통해 개인별 청취 임계값을 설정할 수 있도록 설계하였다. 이는 인공와우 사용자 간 청각 민감도 차이를 고려한 음량 보정 단계로, 손 모델 애니메이션과 텍스트 안내를 병행하여 직관적 조작을 지원한다(그림 2).



그림 2. 청취 임계값 조절 단계 화면

3.3.3 음원 위치 분별 훈련 단계

다음 단계는 음원 위치 분별 훈련을 지원하는 단계로, 다수의 구 객체가 사용자 주변에 배치되며 사용자는 무작위로 선택된 음원을 탐지하는 과제를 수행하게 된다.

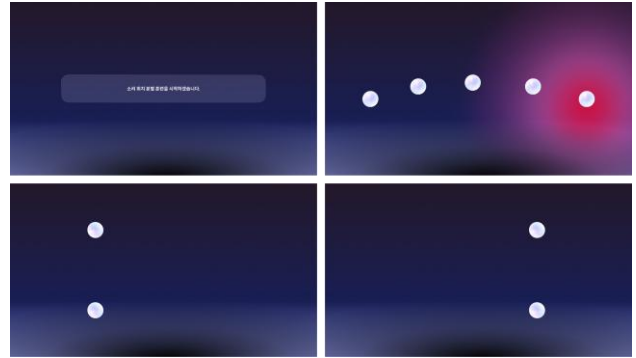


그림 3. 소리 위치 분별 훈련 화면

정답 시 발광 및 폭죽 효과, 오답 시 회색 변화, 10 초 이상 무반응 시 적색 그라데이션 힌트를 제공하여 시각-청각 통합 피드백과 게임화된 상호작용을 통해 훈련 몰입도를 강화하였다(그림 3).

3.4 시스템 아키텍처

온소리 Sphere 는 유지보수성과 확장성 확보를 위해 Unity 기반 계층형 아키텍처를 채택하였으며, Core Layer, Application Layer, Gameplay Layer 의 3 계층으로 구성하였다.

Core Layer 는 전역 상태 관리를 담당한다. Central Service Manager 는 시스템 일시정지 및 재개 이벤트를 총괄하고, Sound Management System 은 AudioMixer 를 통한 음량 제어 및 오디오 리소스 관리를, Data Collection 모듈은 디버그 모드 기반 로그 수집을 수행한다.

Application Layer 는 사용자-시스템 간 상호작용과 훈련 흐름을 제어한다. Navigation Manager 는 씬 간 비동기 전환, Game Controller 는 인트로-스테이지-라운드-아웃트로의 훈련 라이프사이클 관리를, UI Logic 은 HMD 및 핸드 컨트롤러 기반 인터랙션을 독립적으로 처리한다. Difficulty Controller 는 난이도에 따른 음원 개수, 방향 분포, 힌트 제공 조건을 동적으로 조절한다.

Gameplay Layer 는 실제 훈련 콘텐츠를 구현한다. StageSpawner 는 사전 정의된 공간 좌표 데이터를 기반으로 훈련용 객체를 배치하고, StageController 는 정답 음원 선정 및 사용자 반응 판정을 수행한다. InteractiveSphere 컴포넌트는 IXRHeadInteractable 인터페이스를 통해 헤드 트래킹 및 제스처 입력을 처리하며, 이벤트 기반 상태 관리로 확장성을 확보하였다.

3.5 서비스 훈련 단계 설정

인공와우 사용자는 방향 정보 해석에 필요한 청각 단서 활용이 제한적이므로, 방위각과 고도에 따른 음원 자극에 대한 체계적 반복 훈련이 요구된다. 초기 단계에서는

단일 차원의 반복 훈련이, 중·후기 단계에서는 복합 자극 탐색 및 오류 보정 능력 향상이 필요하다. 이에 온소리 Sphere 는 총 6 단계의 모듈형 훈련 세션(T1-T6)을 설계하였다. 각 세션은 음원 위치와 인지 난이도를 기준으로 점진적으로 구성되며, 사용자의 정확도에 따른 차별적 피드백을 제공한다.

4 연구 방법

온소리 Sphere 의 사용성 평가를 위해 사용자 참여형 실험 설계를 적용하였다. 참여자는 Apple Vision Pro 환경에서 음원 위치 분별 훈련 콘텐츠를 체험한 후, System Usability Scale(SUS), 시스템 특화 문항, 개방형 질문에 응답하였다.

4.1 연구 참여자

사용성 평가에 농난청인 총 16 명이 참여하였다. 연령 분포는 10 대 이하 2 명, 20 대 4 명, 30 대 8 명, 50 대 2 명, 성별은 여성 12 명, 남성 2 명, 기타/무응답 2 명으로 구성되었다. 전원이 수도권에 거주하며, 디지털 숙련도는 '매우 익숙함' 12 명, '어느 정도 익숙함' 4 명으로 높은 수준을 보였다. VR 기기 사용 경험은 13 명(81%), 인공와우 수술 경험자는 2 명(12.5%)이었다. 표본은 XR 기반 청능재활 솔루션의 탐색적 검토를 위한 일반 농난청인과 소수의 인공와우 사용자로 구성되었다.

4.2 실험 절차 및 평가 도구

실험은 반구조화 사용자 테스트 가이드에 따라 진행되었다. 사전 안내 및 동의 절차 후 Vision Pro 착용 및 음향 밸런스를 조정하였으며, 로비-튜토리얼-음원 위치 분별 훈련 순으로 체험하였다. 연구자는 반응 시간, 정오답, 힌트 사용 여부 등을 관찰·기록하였다. 평가 도구로는 Brooke(1996)의 SUS 10 문항과 장비 착용감, XR 몰입도, 시청각 자극 적절성, 장기 훈련 효과 기대를 측정하는 시스템 특화 문항, 개방형 질문으로 구성하였다.

5 연구 결과

5.1 SUS 사용성 평가 결과

온소리 Sphere 의 SUS 평균 점수는 55.47 점(SD=12.79)으로, 일반적 수용 기준선(68 점) 이하로 측정되었다. 이는 XR 기반 재활 환경이 모바일 또는 음악 기반 솔루션 대비 초기 사용성 장벽이 높음을 시사한다.

항목별 분석 결과, 재사용 의도(ID01, M=4.06)는 상대적으로 높게 나타났으나, 사용 용이성(ID03, M=3.31), 전문가 도움 필요성(ID04, M=3.94), 학습 용이성(ID07, M=3.44)에서 불확실성이 관찰되었다. 시스템 복잡성

(ID02, M=2.50) 및 번거로움(ID08, M=2.50)은 중간 수준으로 평가되었으나, Vision Pro 조작에 익숙하지 않은 사용자가 다수였던 점을 고려할 때 초기 튜토리얼 및 인터랙션 가이드 강화가 요구된다. 장비 착용 및 조작 학습을 포함한 전체 경험은 모바일 애플리케이션 대비 높은 인지적·물리적 부담을 동반하는 것으로 나타났다.

표 2. SUS 평가 결과

ID	문항내용	M	SD
ID01	나는 이 시스템을 자주 사용하고 싶다고 생각한다.	4.06	1.12
ID02	이 시스템은 불필요하게 복잡하다고 느꼈다	2.50	1.22
ID03	이 시스템은 사용하기 쉬웠다.	3.31	0.79
ID04	이 시스템을 사용하려면 전문가의 도움이 필요하다고 생각했다.	3.94	0.93
ID05	이 시스템의 여러 기능이 잘 통합되어 있다고 느꼈다.	3.69	0.79
ID06	이 시스템은 일관성이 부족하다고 생각했다.	2.37	0.89
ID07	대부분의 사람들이 이 시스템을 쉽게 배울 수 있을 것이라고 생각했다.	3.44	0.81
ID08	이 시스템은 사용하기 번거롭다고 느꼈다.	2.50	0.89
ID09	나는 이 시스템을 사용할 때 자신감이 있었다.	3.19	0.91
ID10	이 시스템을 사용하기 전에 배워야 할 것이 많다고 느꼈다.	3.19	1.24

5.2 특화 문항 분석 결과

시스템 특성을 측정하는 4 개 문항(ID11~ID14)의 분석 결과는 다음과 같다.

표 3. 특화 문항 분석 결과

ID	문항내용	M	SD
ID11	기기 사용이 불편하지 않았다.	3.69	1.15
ID12	시각 중심의 VR 환경이 몰입을 유도하는 데 효과적이었다.	4.06	1.05
ID13	시청각 자극이 과도하지 않고 적절하게 느껴졌다.	4.19	0.91
ID14	학습 중 제시된 음높이, 훈련을 지속하면 소리 위치 분별에 도움이 될 것이라 예상한다.	4.24	1.06

장비 착용감(ID11, M=3.69)은 완전히 편안한 수준은 아니나 단기 세션에서 수용 가능한 것으로 평가되었다. XR 몰입도(ID12, M=4.06)는 시각 중심 XR 환경이 높은 몰입 경험을 제공하는 것으로 나타났다. 다감각 자극 적절성(ID13, M=4.19)은 시각적 힌트와 공간음향이 각각 과부하 없이 적절한 수준으로 설계되었음을 시사한다. 장기 훈련 효과 기대(ID14, M=4.25)는 가장 높게 측정되어, 참여자들이 반복 훈련 시 음원 위치 분별 능력 향상 가능성을 긍정적으로 평가하였다.

5.3 개방형 응답 분석 결과

개방형 응답은 긍정 경험, 문제점, 개선 제안으로 범주화하여 분석하였다.

긍정 경험에 대한 분석 결과, 참여자들은 공간음향 기반 위치 탐지 훈련이 방향성 판단과 탐색 행동을 자연스럽게 유도한다고 평가하였다. XR 환경의 몰입감은 재활 과제를 게임적 경험으로 인식하게 하여 참여 동기를 강화한 것으로 나타났다. 또한 붉은 그라데이션 힌트와 객체 색상 변화 등 시각적 단서가 음원 위치 파악을 효과적으로 보완하는 것으로 나타났으며, 핀치 제스처 기반 선택 인터랙션에 대한 긍정적 반응도 관찰되었다.

문제점 분석 결과, 공간음향 분리 부족이 핵심 문제로 확인되었다. 참여자들은 특정 음원이 아닌 전체적으로 소리가 들림으로써 위치 탐지 난도가 과도하게 높다고 응답하였다. XR 환경에 익숙하지 않은 사용자의 경우 조작법 및 튜토리얼 강화에 대한 요구, 안경 착용자의 경우 자막 가독성 저하 문제로 인한 UI 스케일 및 대비 조절 기능에 대한 요구가 확인되었다. 하드웨어 중량과 착용 압력은 장시간 세션의 지속성을 제한하는 요인으로 확인되었다.

종합하면 참여자들은 공간음향 기반 위치 훈련과 XR 몰입 경험을 긍정적으로 평가하였으나, 음향 명확성, 온도, 착용감, 시각 접근성을 핵심 개선 영역으로 제시하였다. 이는 XR 청능재활 시스템 개발 시 하드웨어 특성과 감각적 제약을 고려한 UX 설계가 필수임을 시사한다.

6 결론 및 논의

본 연구는 Apple Vision Pro 기반 공간청각·감각통합 청능재활 시스템 ‘온소리 Sphere’를 설계·개발하고, 사용성 평가를 통해 XR 환경 기반 청능재활 솔루션의 가능성과 제약을 실증적으로 분석하고자 하였다.

평가 결과, ‘온소리 Sphere’는 360도 환경을 기반 음원 위치 분별 과제와 시청각 통합 피드백을 통해 높은 몰입

도를 제공하는 것으로 나타났다. XR 몰입도, 다감각 자극 적절성, 장기 효과 기대도가 모두 4.0/5.0(Likert 척도) 이상으로 측정되어, 인공와우 사용자의 공간청각 능력 향상을 위한 XR 환경 활용 가능성을 확인하였다. 그러나 SUS 점수(55.47 점)는 사용성 개선의 필요성을 시사한다. 공간음향 분리도 부족, 조작 가이드 미흡, 착용 불편감, 시각 접근성 제약 등이 주요 개선 과제로 도출되었으며, 이는 모바일 기반 온소리 솔루션 대비 낮은 사용성 평가와 대조되어 XR 환경 특화 UX 최적화 전략의 필요성을 강조한다.

본 연구는 튜토리얼-청취 임계값 조절-음원 위치 분별 훈련-로비로 구성된 단계적 정보구조를 XR 청능재활 프레임워크로 제안하였다. 시각 단서와 공간음향을 결합한 다감각 피드백 설계는 감각통합 기반 재활 UX의 실증적 구현 사례로서 의의를 지닌다. 또한 장비 중량, 안경 착용자 고려, 자막 가독성 등 XR 재활 시스템의 핵심 접근성 제약을 규명하고, 이를 세션 시간 설계, 고대비 모드, 보편적 접근성 기능과 통합적으로 고려해야 함을 제시하였다.

본 연구에서는 소규모 표본(n=16) 및 단기 사용성 평가에 기반하여, 장기 청취 능력 향상 효과나 다양한 인공와우 사용자 집단으로의 일반화에 한계를 지닌다. 임상 청각 검사 등 객관적 재활 성과 측정이 아닌 주관적 평가에 국한된 점 또한 제약점이다. 향후 보다 세분화된 사용자 유형별 요구와 사용성 차이를 체계적으로 규명할 필요가 있다. 이를 통해 솔루션이 청각손실 사용자 집단 내 다양한 집단에 적합한 형태로 진화될 수 있을 것이다.

이와 더불어 다음의 후속 연구를 제안한다. 첫째, 장기 추적 연구를 통한 표준화된 방향성·거리감 검사 연계, 둘째, 개인화된 HRTF(Head-Related Transfer Function) 모델 적용 및 음원별 파라미터 정밀 조정을 통한 공간음향 엔진 고도화, 셋째, 반응 패턴 기반 적응형 난이도 알고리즘 구현, 넷째, 다양한 XR 기기 및 스피커 배열 환경 대상 비교 연구가 진행될 필요가 있다.

종합하면, 본 연구는 XR·Spatial Computing 기술 기반 공간청각 훈련 중심 청능재활 솔루션을 실증적으로 제안하였다. 연구를 통해 제안한 UX 설계 인사이트와 사용자 의견은 향후 XR 기반 감각 재활 시스템 개발의 이론적·실천적 기초 자료로 기여할 것으로 기대된다.

사사의 글

본 연구는 카카오임팩트 테크포임팩트 랩 2기(‘25) 프로그램의 지원을 받아 진행되었다.

참고 문헌

1. Coudert, Aurélie^{1,2,3,4}; Verdelet, Grégoire^{1,5}; Reilly, Karen T.^{4,6}; Truy, Eric^{1,2,3,4}; Gaveau, Valérie^{1,4}. Intensive Training of Spatial Hearing Promotes Auditory Abilities of Bilateral Cochlear Implant Adults: A Pilot Study. *Ear and Hearing* 44(1):p 61–76, January/February 2023. | DOI: 10.1097/AUD.0000000000001256
2. Shim L, Lee J, Han JH, Jeon H, Hong SK, Lee HJ. Feasibility of Virtual Reality–Based Auditory Localization Training With Binaurally Recorded Auditory Stimuli for Patients With Single–Sided Deafness. *Clin Exp Otorhinolaryngol*. 2023 Aug;16(3):217–224. doi: 10.21053/ceo.2023.00206. Epub 2023 Apr 17. PMID: 37080730; PMCID: PMC10471910.