시각장애인을 위한 실감콘텐츠의 이머시브 사운드 구축요소 및 검증

-인클루시브 디자인을 중심으로 -

Constructing and Validating Immersive Sound in Experiential Content for the Visually Impaired: A Focus on Inclusive Design

오 소 백

AI · 실감미디어콘텐츠학과

Keyword: 시각장애인, 접근성, 실감콘텐츠, 이머시브 사운드, 인클루시브디자인

1. 서론

1.1 연구 배경

· 사회적 배경

· 학술적 배경

1.2 연구 목적

1.3 연구 문제

1.4 연구 방법 및 범위

2. 이론적 배경

2.1 시각장애인의 이해

2.1.1 시각장애인의 정의 및 유형
2.1.2 시각장애인의 청각 기반 공간 인지

2.2 실감콘텐츠의 이해

2.1.1 실감콘텐츠의 정의 및 특성
2.2.2 실감콘텐츠와 시각장애인 접근성

2.3 인클루시브 디자인의 이해

2.3 인클루시브 디자인의 정의
2.3.1 인클루시브 디자인의 특성

2.4 이머시브 사운드의 이해

2.3 이머시브 사운드의 개념 및 기술적 특성
2.3.1 이머시브 사운드와 시각장애인 접근성

2.4 이머시브 사운드의 이해

2.5 이머시브 사운드 접근성 구축요소 체계
2.5.1 WCAG기반 구축요소 분류 체계
2.5.2 인식의 용이성 구축요소
2.5.3 운용의 용이성 구축요소
2.5.4 이해의 용이성 구축요소
2.5.5 견고성 및 포용성 구축요소

3. 연구 설계

3.1 연구 절차

3.2 수정 델파이 조사 설계

3.2.1 수정 델파이 조사 패널 구성
3.2.2 수정 델파이 설문 도구 및 분석 기준
3.2.3 수정 델파이 조사 절차

3.3 실감콘텐츠 제작 설계

3.3.1 구축요소 적용 시나리오 설계
3.3.2 이머시브 사운드 구현 설계

3.4 사용자 기반 구축요소 검증 설계

3.3.1 구축요소 적용 시나리오 설계
3.3.2 이머시브 사운드 구현 설계

4. 연구 결과 / 5. 결론

4.1 구축요소 검증 및 도출 결과

4.1.1 수정 델파이 1라운드 검증 결과
4.1.2수정 델파이 2라운드 검증 결과
4.1.3 수정 델파이 3라운드 검증 결과
4.1.4 이머시브 사운드 접근성 구축요소 최종 확정

4.2 이머시브 접근성 구축요소 적용 결과

4.2.1 구축요소 적용 시나리오
4.2.2구축요소별 적용 결과

4.3 사용자 기반 구축요소 검증 결과

4.3.1 참여자 특성
4.3.2 만족도 설문 결과
4.3.3 사고구술 데이터 분석 결과
4.3.4 종합 해석

5.1 연구 주요 결과

5.2 연구의 시사점

5.3 연구의 한계 및 향후 과제

사회적 배경

·2023년 WHO에 따르면 전 세계 인구의 약 16%가 장애를 지니고 있으며, 그중 시각장애 인구는 약 2억 명 이상으로 매년 증가 중(WHO,2023).

· 유럽·캐나다 등 선진국이 인클루시브 디자인 원칙을 법적 의무로 추진하며 디지털 접근성을 글로벌 의제로 격상(UN,2015).

· 국내 또한 등록 장애인 인구가 증가함에 따라, 이들의 디지털 접근권 및 평등권 확보가 국가적 및 사회적 책임으로 강력히 대두됨(Williams,2022).

· 실감 콘텐츠 시장이 전례 없는 속도로 성장하며 4차 산업혁명의 핵심 인프라로 자리매김하는 중(Wong et al., 2017).

· 시각장애를 가진 사용자는 VR/AR 환경의 구조적 장벽으로 인해 다른 장애 유형(청각, 발달 장애) 사용자들에 비하여 VR 사용이 최소 월 1회 이상 이용할 확률이 90% 낮음. (Creed et al., 2023)

·현실은 3차원 공간 인지 및 상호작용을 포괄하지 못하는 기존 표준의 기술적 간극과 이머시브 사운드 전략의 부재. (Montagud et al., 2020)

· 시각장애인은 시각 중심의 몰입형 콘텐츠에서 완전히 배제되는 구조적 차별을 경험하며, 이들의 디지털 접근권 문제가 가장 첨예하게 대두되는 중. (Ciccone et al., 2021)

학술적 배경

· 인클루시브 디자인의 실질적인 적용은 대부분 도시, 건축, 제품 등 현실 공간에 집중되어 왔음(Clarkson,2013).

· 디지털 접근성 영역에서는 W3C의 웹 콘텐츠 접근성 지침(WCAG)이 국제 표준으로 정립되어 있으며, 공동 연구를 진행 중인 캐나다 OCAD 대학 연구소를 비롯한 최신 연구들이 이를 실감 콘텐츠로 확장하고 있으나, 여전히 일반적 사용자 요구사항 수준에 머무르고 있음(Treviranus, 2020)

· 이로 인해 시각장애인에게 감각 대체가 필수적인 실감 콘텐츠 영역에는 청각 기반의 구체적 설계 원리 체계가 부재하여, 인클루시브 디자인의 이론적 프레임워크가 충분히 제공되지 못하는 학술적 공백이 존재함

본 연구의 학술적 차별성

연구 영역	적용 환경	한계점	본 연구의 차별성
인클루시브 디자인	도시·건축·제품 등 현실 공간	가상 환경의 감각 대체 문제 해결 불가	인클루시브 디자인 철학을 실감콘텐츠 환경으로 확장하여 포용성 확보
WCAG 기반 접근성	2차원 평면 (웹·모바일 UI)	3D 공간성·이머시브 사운드 등 매체 특성 미포괄	WCAG 4원칙을 매체 독립적 설계 원리로 재해석, 견고성·포용성으로 확장
본 연구	실감콘텐츠 (VR·3D 몰입형 환경)	위 두 영역의 학술 공백 통합 해결	이머시브 사운드 중심의 접근성 구축요소 체계 도출 및 사용자 실증 검증

연구 목적

본 연구는 인클루시브 디자인 관점에서 시각 장애인의 실감콘텐츠 환경 접근성을 강화하고 사용자 만족도를 향상시키는 것을 궁극적인 목표로 한다. 구체적으로, 이머시브 사운드를 시각 장애인을 위한 핵심 감각 대체 전략으로 검토하고, 이를 인클루시브 디자인 기반 이머시브 사운드 구축요소 체계로 도출하여 학술적, 실무적 활용 가능성을 동시에 확보하고자 한다. 구체적으로, 이머시브 사운드를 핵심 감각 대체 전략으로 검토하고 그 결과를 실감콘텐츠 구축 요소로 제시하고자 한다.

본 연구의 구체적인 세부 목적은 다음과 같음

첫째, 인클루시브 디자인 관점에서 실감콘텐츠 구축 시 시각장애인이 경험하는 핵심 접근성 저해 요인의 유형과 특징을 심층적으로 규명한다.

둘째, 이머시브 사운드를 중심으로 한 인클루시브 디자인 기반 접근성 구축요소의 이론적 개념과 체계를 도출한다.

셋째, 도출된 구축요소의 내용 타당성과 적절성을 인클루시브 디자인·접근성·실감콘텐츠 분야 전문가의 수정 델파이 조사(3라운드)를 통해 검증하고 최종 확정한다.

넷째, 최종 확정된 구축요소를 실감콘텐츠에 적용하고, 시각장애인 대상으로 사고구술법과 만족도 조사를 통해 사용자 경험의 실효성과 만족도를 실증적으로 분석한다.

연구 문제

[연구문제 1]	**인클루시브 디자인 관점에서 실감콘텐츠 구축 시 시각장애인의 접근성을 저해하는 핵심 요인은 무엇인가?** → 구축요소 선정을 위한 문제의 근본 원인과 범위 설정
[연구문제 2]	**인클루시브 디자인을 기반으로 실감콘텐츠의 이머시브 사운드 구축요소는 어떻게 체계화될 수 있는가?** → 저해 요인을 해결할 수 있는 실감콘텐츠 환경 특화 포용적 설계 프레임워크 제시
[연구문제 3]	**도출된 이머시브 사운드 구축요소의 내용은 타당한가?** → 이론적 구성요소가 전문가 의견에 부합하는지 학술적 신뢰도 확보
[연구문제 4]	**구축요소를 적용하여 제작된 실감콘텐츠 경험에 대한 시각장애인 사용자의 만족도는 어떠한가?** → 구축요소 적용을 통해 실제 사용자 경험의 효용성과 만족도가 확보되는지 실증 검증

1. 연구 방법

1

제 1장 서론

· 연구 배경 및 필요성 제시
· 연구 문제 및 목적 도출
· 연구 범위 및 방법 설정

2

제 2장 이론적 배경

· 시각장애·실감콘텐츠·인클루시브 D·이머시브 사운드 선행연구 고찰
· 이머시브 사운드 접근성 구축요소 체계 도출

3

제 3장 연구 설계

· 이머시브 사운드 접근성 구축요소의 타당성 및 적절성 검증을 위한 수정 델파이 조사
· 사고구술법 및 만족도 조사를 통한 실감콘텐츠 제작 및 사용자 검증 설계

4

제 4장 연구 결과

· 수정 델파이 결과를 통한 이머시브 사운드 접근성 구축요소의 분류 체계 및 타당성 검증 결과
· 만족도 조사 및 사고구술법을 통한 시각장애인 검증 결과

5

제 5장 결론

· 연구 결과 및 이론 및 실무적 시사점 도출
· 연구의 한계 및 후속연구 제언

2. 연구 범위

형식적 범위

연구 대상 · 시각장애인(전맹·저시력) 대상 실감콘텐츠 접근성 문제

조사 대상 · 인클루시브 디자인 ·접근성·실감콘텐츠 분야 전문가 12인 / 시각장애인 사용자

연구 방법론 · 타당성 검증: 도출된 구축요소의 내용 타당성을 검증하기 위한 전문가 대상 수정 델파이 조사(3라운드)에 한정함.
· 실효성 검증: 시각 장애인 대상 사고구술법 + 만족도 조사 병행으로 한정함.

내용적 범위

이론적 기반 · 인클루시브 디자인 및 WCAG 2.2 4대 원칙의 실감콘텐츠 환경 융합

접근성 전략 · 시각 정보 대체를 위한 이머시브 사운드 핵심 매개체 설정하고 이를 중심으로 한 구축요소의 유효성을 분석함

최종 결과물 · 수정 델파이 검증과 시각장애인 대상 사고구술법과 만족도 조사의 실증 분석을 거쳐 최종적으로 이머시브 사운드 구축요소 체계를 도출하는데 한정함

본 연구의 시각장애인 학술 정의

본 연구는 시각장애인을 교정 후에도 시각 기능 손상으로 일상·사회·디지털 환경 참여에 상당한 제한을 경험하는 사람으로 광의의 정의를 채택하며, 구체적으로 전맹(교정시력 0.02 미만) 및 저시력(교정시력 0.02~0.3) 사용자를 포함한다 (Dudley et al., 2023).

시각장애의 정의 및 유형

구분	분류	핵심 학술 기준 / 출처
정의	의학적	시력·시야 4단계 (WHO ICD-11, 2019)
	법적·복지적	국내 0.04 미만 / 미국 20/200 (Kirk 2012; 보건복지부 2023)
	교육적	0.3 이하 — 교육적 맹·저시력 (국립특수교육원 2006)
유형	기능적	전맹(0.02 미만) · 저시력(0.02~0.3)
	발생 시기별	선천성(시각 경험 부재) · 후천성(시각 기억 보유) (Schinazi 2016)
	원인별	백내장 · 녹내장 · 황반변성 · 당뇨망막병증 등

시각장애인의 청각 기반 공간 인지(5층위)

1. 물리음향적 기전

양이효과(ITD·ILD) · 잔향(RT60) · HRTF · 거리 감쇠 (Blauert 1997, Kolarik 2014, Katz 2012)

2. 청각 단서 유형

음원 정위 · 반향정위 · 음색 변화 (Thaler 2011)

3. 공간 인지 지도 형성

청각 정보의 인지적 통합 — 행동 기반 연속 처리 (Cattaneo 2008, Schinazi 2016)

4. 신경가소성·감각 대체

시각피질의 청각 재할당 → 우월적 처리 (Merabet & Pascual-Leone 2010, Voss 2008)

5. 본질적 한계

수직 지각 어려움 · 동시 다중 음원 제한 · 청각 피로 (Katz 2012, Cattaneo 2008)

→ 본 연구는 시각장애인 집단을 전맹과 저시력으로 구분하고, 두 유형 모두에 동등한 경험을 제공하기 위해 청각 채널을 핵심 보상 채널로 설정한다.
시각장애 유형은 후속 사용자 검증의 핵심 분석 변수로 작동한다.

본 연구의 실감콘텐츠 정의

본 연구는 실감콘텐츠를 사용자가 디지털 환경 안에 몰입하여 마치 실제 공간에 존재하는 것과 유사한 경험을 하도록 설계된 콘텐츠로 정의하며, VR·AR·MR을 포괄한다. 공간성·현존감·신체 기반 상호작용성·실시간 반응성·감각 간 시공간 정합성의 5가지 매체적 특성이 시각장애인에게는 구조적 접근성 문제로 작동한다(Slater & Sanchez-Vives, 2016; Creed et al., 2023).

선행연구 주요 논점

- **공간성** 실감콘텐츠는 공간 자체가 인터페이스로 기능. 사용자는 가상 공간에서 자신의 위치와 이동 방향을 지속적으로 파악해야 하며, 이는 콘텐츠 경험의 질을 결정 (Radianti et al., 2020).
- **현존감·몰입감** 현존감은 단일 감각 품질이 아니라 여러 감각이 일관되게 통합된 경험 구조의 결과. HRTF 기반 3D 공간 음향이 현존감 형성에 결정적 기여 (Slater, 2009; Katz et al., 2012).
- **감각 간 시공간 정합성** 두 감각 자극이 동일 시점·방향에서 제시될 때 일치성 확보. 결여 시 단일 감각 지각 정확도 저하 (Spence, 2011, 2020).
- **시각 중심 설계 편향** VR 콘텐츠가 시각적 인터페이스 메타포에 과도 의존. 시각장애인을 콘텐츠 경험 구조에서 구조적으로 배제 (Zhao et al., 2019; Creed et al., 2023).

실감콘텐츠의 주요 선행연구 정의

연구자(연도)	정의	핵심 강조점
Slater & Sanchez-Vives (2016)	사용자의 감각과 신체를 매개로 가상 공간과 상호작용하도록 설계된 몰입형 디지털 콘텐츠	공간 인지·신체 참여
Slater (2009)	사용자가 가상 환경을 실제 환경으로 받아들이는 정도·체화된 현존감(embodied presence)	감각 일관성·체화
Jerald (2016)	완전 현실에서 완전 가상에 이르는 연속적 스펙트럼·VR/AR/MR 차별	20ms 이내 실시간 반응성
Radianti et al. (2020)	VR 환경에서 공간 탐색이 사용자 경험의 핵심 과제·위치·방향 파악이 경험 질 결정	공간 탐색 핵심성
Spence (2020)	감각 자극의 시공간 일치성 결여 시 단일 감각 지각 정확도 유의미 저하	시공간 정합성

시각장애인의 실감콘텐츠 접근성 저해 요인

저해 요인	청각 중심 설계 함의
공간 인식의 차단	시각 그래픽·화면 배치 중심 → 청각 공간 음향 단서로 인지 지도 형성
사건·상태 인지의 차단	시각적 변화·아이콘 중심 → 청각 아이콘·이어콘으로 상태 변화 대체
상호작용 인터페이스의 배제	시선 기반 선택·시각 피드백 → 청각 피드백·행동 연동 신호로 재설계

실감콘텐츠의 매체적 특성(공간성, 현존감, 신체 상호작용)에 대응하여, 시각장애인의 접근성 저해 요인은 다음 세 가지 층위에서 발생함
시각장애인이 실감콘텐츠에서 배제되는 이유는 그들의 시각 결손이 아니라, 시각 정보만을 전제로 설계된 콘텐츠 구조 때문임
본 연구는 이머시브 사운드를 시각장애인 접근성 설계의 중심 요소로 재정의하고, 인클루시브 디자인 관점에서 그 구축요소를 체계화함

본 연구의 인클루시브 디자인의 정의

본 연구는 인클루시브 디자인을 사용자 다양성을 설계의 제약 조건이 아닌 핵심 전제로 삼는 철학이자, 기술 발전 과정에서 발생할 수 있는 구조적 배제를 사전에 완화하고자 하는 접근 방식으로 정의한다.
이는 시각장애인을 보조 기능의 수혜자가 아닌 동등한 사용자로 전제한다.

인클루시브 디자인의 주요 선행연구 정의

연구자(연도)	정의	핵심 강조점
Pullin (2009)	차이를 존중하고 이를 통해 새로운 경험 가치를 창출하는 설계 방식	차이의 가치화
Treviranus (2014)	다양성의 가치를 사회와 기술 체계 전반에서 구조화하는 메타 설계 접근	다양성의 체계적 내재화
Horton & Quesenbery (2014)	모든 사용자가 동등하게 의미 있는 경험을 할 수 있도록 설계 의도 자체를 포용적으로 구성	경험의 질·동등성
Persson et al. (2015)	사회적 형평성과 참여적 시민권 실현을 위한 설계 전략	형평성·시민권
Hamraie (2017)	사용자의 신체적·문화적 다양성을 설계 체계 안에 내재화하는 사회적 실천	사회적·정치적 실천
Dudley et al. (2023)	몰입형 미디어 환경에서 장애인 사용자 경험 중심으로 감각 대체와 사용자 주도 조정 내재화	감각 대체·사용자 주도

인클루시브 디자인 핵심 특성

· 사용자 다양성 전제 — 사용자의 신체적·감각적·인지적 차이를 설계의 출발점으로 삼는다. 평균적 사용자를 기준으로 설계한 후 사후적으로 보완하는 방식과 달리, 능력 분포 전반을 처음부터 설계 전제로 설정함으로써 장애와 비장애의 이분법적 구분을 해체한다 (Treviranus, 2014; Persson et al., 2015).

· 과정 중심 설계와 참여 — 결과물 중심이 아닌 설계 과정 자체에서 사용자 참여와 반복적 검증을 구조적으로 내재화한다. 사용자는 단순한 의견 제공자가 아니라 설계 지식을 함께 구성하는 공동 생산자로 작동하며, 장애인 사용자의 직접 참여가 설계의 질을 결정한다 (Bødker et al., 2018; Sanders & Stappers, 2008; Hamraie, 2017).

· 설계 책임 재배치 — 접근성 문제를 사용자 개인의 결손이 아닌 설계 실패의 결과로 인식한다. 시각장애인이 실감콘텐츠를 이용하지 못하는 원인을 사용자의 감각 결손으로 환원하지 않고, 콘텐츠의 구조와 인터페이스 그리고 감각 정보 배치 방식이라는 설계 구조 차원에서 진단한다 (Norman, 2013; Zhao et al., 2019).

· 감각 차이의 자원화 — 시각장애인의 청각·촉각 중심 인지 전략과 같은 감각 차이를 극복해야 할 장애가 아닌 설계의 중심 자원으로 인식한다. 장애 경험에서 비롯된 대안적 설계는 비장애인 사용자에게도 더 나은 경험을 제공하는 파급 효과를 가진다. (Pullin, 2009; Picinali et al., 2014).

· 맥락 민감성 — 단일한 접근성 기준을 모든 상황에 일괄 적용하기보다 상황별·맥락별로 조정 가능한 설계 구조를 지향한다. 동일한 사용자라도 사용 환경과 맥락에 따라 접근성 경험은 달라지며, 이는 사용자 능력과 환경 요구의 상호작용으로 결정된다 (Pullin, 2009; Persson et al., 2015).

본 연구는 인클루시브 디자인의 선별된 속성을 통해 연구의 철학적 토대를 마련하고, WCAG 4대 원칙을 ID 관점에서 재해석하여 실감 콘텐츠 접근성 구성요소의 대분류 틀을 확보한다.

본 연구의 이머시브 사운드 정의

본 연구는 이머시브 사운드를 3차원 공간에서 소리의 방향, 거리, 고도, 이동, 반사를 재현하는 음향 표현 방식으로 정의한다. 이는 단순한 몰입 연출 수단이 아니라 청각을 통해 공간 구조와 사건의 위치를 직접 지각하게 하는 인지적 인터페이스이며, 시각 정보가 결여된 상황에서도 공간 인식을 가능하게 함으로써 시각장애인 실감콘텐츠 접근성의 핵심 매개체로 기능한다 (Katz et al., 2012; Picinali et al., 2014).

[A] 시각장애인의 청각 인지 특성 (이론적 근거)

교차양식 가소성 Cross-modal Plasticity	청각 과부하 위험 Auditory Overload	HRTF 개인차 Individual HRTF Variability	멀티모달 정합성 Multimodal Integration
선천성 시각장애인의 시각피질이 청각·촉각 처리에 재할당되어, 공간 음향 처리·음원 위치 판단 정확도가 비장애인보다 높음	공간·사건·상호작용·서사 정보를 청각 단일 채널로 처리해야 하므로, 다중 음원 환경에서 처리 자원 고갈 및 인지 오류·지연 증가	범용 HRTF는 두부·이개 형태와 불일치 → 수직 방향 오류·전후 혼동·내재화. 시각 보상이 불가능한 전맹에게는 공간 탐색 실패로 직결	청각·촉각이 시공간적으로 일치하지 않으면 공간 인지 정확도 저하. HMD·컨트롤러 진동 등 촉각 자극과 이머시브 사운드의 동기화 필요
Merabet & Pascual-Leone (2010)	Kolarik et al. (2014)	Katz et al. (2012); Picinali et al. (2014)	Spence (2011); Gori et al. (2014)

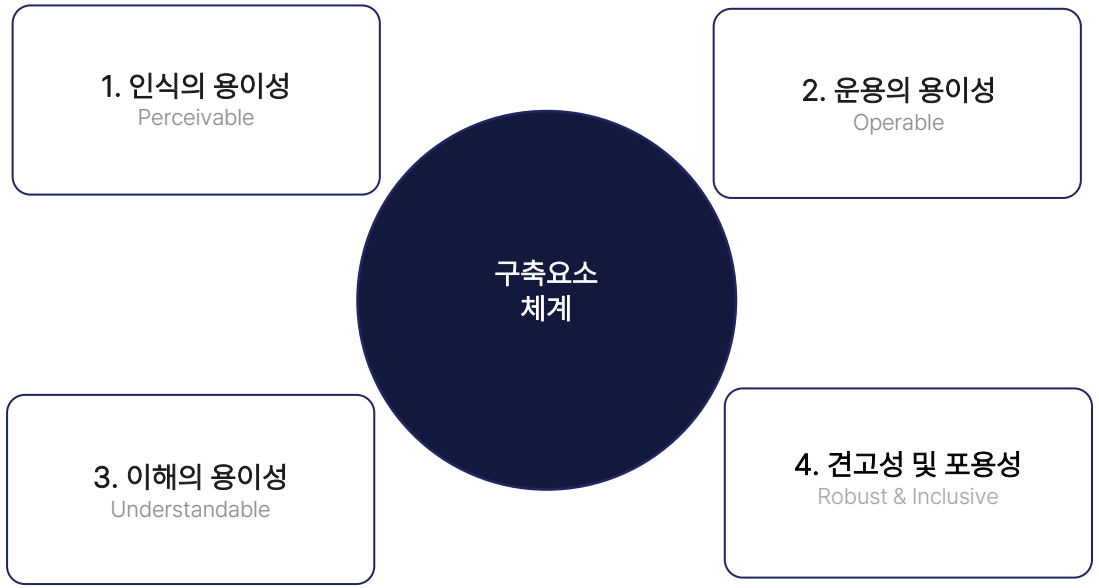
▼ 시각장애인의 청각 인지 특성이 이머시브 사운드 설계 원리로 전환됨

[B] 이머시브 사운드 설계 함의 (구축요소 체계의 이론적 근거)

정밀 음원 정위 설계	청각 정보 계층화	사용자 맞춤 음향 설정	청각·촉각 정합성
방위각·거리·고도 정보의 정확하고 일관된 설계 → 청각 공간 인지 능력 극대화	정보 우선순위 부여, 음원 간 음색·음고·공간 차별화 → 인지 과부하 방지	사용자 지각 특성에 따른 음향 조정 가능성 → 표준 음향이 아닌 개별화된 접근성 보장	이머시브 사운드와 진동·HMD 촉각 자극의 시공간적 동기화 → 공간 정보 신뢰도 확보
← [A] 교차양식 가소성 대응	← [A] 청각 과부하 대응	← [A] 개인화 HRTF 대응	← [A] 멀티모달 정합성 대응

→ 이머시브 사운드는 단순한 몰입 연출이 아닌 시각장애인의 공간 인지·이동·상호작용을 지원하는 접근성 핵심 채널로 작동하며, 본 연구 22 구축요소 체계의 직접 학술 토대가 된다.

본 연구는 WCAG 2.2의 POUR 4원칙을 실감콘텐츠 환경에 맞게 재해석하고, 견고성을 인클루시브 디자인 철학과 통합하여 견고성 및 포용성으로 확장함으로써 이머시브 사운드 구축요소 체계의 학술적 토대를 마련한다.



이머시브 사운드 접근성 구축요소 체계 (4 대분류)

. 구축요소 체계의 주요 특징 및 의의

· 사용자 중심의 구축요소 도출

시스템 기능이 아닌, 시각장애인이 실감콘텐츠 체험 과정에서 능동적으로 감각·인식·구성하는 주체적 체감 요소 단위로 정의 (청각 인지 특성 반영).

· 계층적 분류 체계

대분류(4) → 중분류(8) → 소분류(22)의 다층적 위계로 체계화하여 실질적인 분석·적용 틀 제공.

· 매체 특수성의 체계적 통합

360° 공간 음향, 헤드 트래킹 기반 음향 갱신, HRTF 개인화 등 이머시브 사운드 매체 고유의 설계 방식이 하위 구성요소로 직접 반영.

4대분류 핵심 정의

1 인식의 용이성

Perceivable

시각 정보를 청각으로 효과적 대체하여 시각장애인이 공간·객체·사건을 청각만으로 지각할 수 있게 함.

2 운용의 용이성

Operable

청각 안내를 통한 자율적 이동·상호작용을 보장하여 시각장애인이 실감콘텐츠를 능동적으로 운용할 수 있게 함.

3 이해의 용이성

Understandable

청각 정보의 계층화·서사 구조화로 시각장애인이 콘텐츠 흐름과 의미를 혼동 없이 이해할 수 있게 함.

4 견고성 및 포용성

Robust & Inclusive

본 연구의 핵심 학술 차별성. 기존 견고성(기술 호환)을 동등한 정서적·심미적 경험 보장으로 학술 외연 확장.

구축 요소 체계 선정 근거

계층	선정 원리	근거 학문 / 핵심 명제	주요 선행연구
대분류 (4)	WCAG POUR 보편성 + 견고성 확장	1. POUR는 ISO/IEC 40500으로 공식화된 디지털 접근성의 유일한 국제 표준이며 매체 독립적 보편 원리로 작동 2. W3C XAUR 워킹그룹이 POUR의 XR 환경 확장을 공식 진행 — 본 연구의 매체 확장 정합성 3. 견고성(Robust)을 견고성·포용성(Robust & Inclusive)으로 학술 확장	W3C (2023); Treviranus (2020)
중분류 (8)	각 대분류 원칙이 다루는 작동 구조를 분석하여 환원 불가능한 중분류 차원을 식별 청각 인지·HCI·인클루시브 디자인 3개 학문의 학제적 통합으로 도출	1. 인식: 정보 범주 차이 (공간적 vs 비공간적 정보 처리 분리) 2. 운용: 능동적 행동 3단계 (환경 인식→시스템 조작→결과 평가) 3. 이해: 정보 처리 시간 축 차이 (공시적 동시 처리 vs 통시적 서사 추적) 4. 견고성·포용성: 인클루시브 디자인 두 축 (정서적 동등성 + 청각 다양성 개별화)	Bregman (1990); Norman (2013); Bennett & Rosner (2019)
소분류 (16)	각 중분류의 학술적 정의에 정합하는 실효성 있는 구축요소 단위를 도출하기 위해 본 연구는 실증 기반성, 실감콘텐츠 매체 적용성, 시각장애인 사용자 적합성의 세 가지 기준을 동시에 적용	1.실증 기반성 — 학술적으로 검증된 청각 공간 지각 측정 단서 단위 (양이효과·잔향·HRTF·거리 감쇠) 2. 매체 적용성 — 현 VR 사운드 기술(Steam Audio 등)에서 실시간 구현 가능한 단위 3. 사용자 적합성 — 시각장애인의 청각 보상 메커니즘과 신경가소성 원리에 정합하는 단위	Katz et al. (2012); Picinali et al. (2014); Sanders & Stappers (2014)

인식의 용이성 ·운용의 용이성

1. 인식의 용이성 (Perceivable)

대분류	중분류	중분류 정의	소분류	선행연구
인식의 용이성	1.1 청각적 공간 매핑	시각장애인이 가상 공간의 위치·방향·거리·규모를 청각만으로 정확히 지각할 수 있도록 지원하는 구축요소	음원 정위 / 공간 규모 지각 / 거리 지각 / 헤드 트래킹 갱신 / 음향 차폐·투과	Blauert (1997); Katz et al. (2012)
	1.2 비시각 정보의 청각적 대체	시각장애인이 시각 기호로 전달되는 객체·사건·상태 정보를 청각만으로 인지하고 이해할 수 있도록 대체 제공하는 구축요소	청각 아이콘·이어콘 / 청각·촉각 동기화	Brewster (2008); Hoggan & Brewster (2010)

2. 운용의 용이성 (Operable)

대분류	중분류	중분류 정의	소분류	선행연구
운용의 용이성	2.1 공간 네비게이션 및 정위 보조	시각장애인이 가상 공간 내에서 목적지를 파악하고 자율적으로 이동 및 정위할 수 있도록 청각적으로 안내하는 구축요소	청각 안내 비콘 / 근접·충돌 경보	Walker & Lindsay (2006); Tran et al. (2000)
	2.2 상호작용 피드백 설계	시각장애인이 자신의 행동과 그 결과를 실시간으로 명확히 확인할 수 있도록 청각 피드백을 설계하여 제공하는 구축요소	사용자 행동 연동 실시간 피드백 / 인터랙션 결과 피드백 / 음성 해설·안내	Hoggan & Brewster (2010); Kane et al. (2011)

핵심 명제 인식의 용이성은 시각장애인의 청각 기반 공간 인지를 가상 환경에서 직접 지원하는 정보 수용 차원이며, 운용의 용이성은 청각 단서 기반 능동적 행위 차원이다. 두 대분류는 시각장애인 사용자의 '지각 → 행위' 흐름을 청각 채널로 보장한다.

이해의 용이성 · 견고성 및 포용성

3. 이해의 용이성 (Understandable)

대분류	중분류	중분류 정의	소분류	선행연구
이해의 용이성	3.1 청각 정보 구조화	시각장애인이 동시에 제공되는 여러 청각 정보를 효율적으로 처리하고 우선순위를 인식할 수 있도록 청각 정보를 구조화하는 구축요소	청각 정보 계층화 / 청각 신호 일관성 / 청각 흐름 분리	Bregman (1990); Kolarik et al. (2014)
	3.2 청각 서사 구조화	시각장애인이 콘텐츠의 시간적 흐름과 서사를 청각만으로 따라갈 수 있도록 청각 정보를 순차적으로 구성하는 구축요소	청각적 서사 순서화 / 청각적 전환 신호 / 비선형 청각 서사	Lopez et al. (2022); Mott et al. (2020)

4. 견고성 및 포용성 (Robust & Inclusive)

대분류	중분류	중분류 정의	소분류	선행연구
견고성 및 포용성	4.1 정서적 경험의 동등성	시각장애인이 비장애인과 동등한 수준의 정서적·심미적 경험을 향유할 수 있도록 청각 채널을 통해 보장하는 구축요소	심미적 실재감 설계 / 참여적 디자인 기반 반복 개선	Bennett & Rosner (2019); Sanders & Stappers (2014)
	4.2 개인화 음향 접근성	시각장애인이 자신의 청각 특성과 선호에 맞게 콘텐츠의 음향 환경을 조정할 수 있도록 지원하는 구축요소	개인화 HRTF 적용 / 청각적 사용자 맞춤 설정	Katz et al. (2012); Treviranus (2020)

핵심 학술 차별성 기존 WCAG의 견고성(Robust)을 '기술 호환·안정성'에서 '동등한 정서적·심미적 경험 보장 + 청각 다양성 개별화'로 학술 외연 확장하여, 인클루시브 디자인 철학을 구축요소 체계 내부에 직접 내재화한다.

연구 절차

본 연구는 4개 연구문제를 단계적으로 해결하기 위해, 문헌 연구 기반 잠정 구축요소 도출 → 수정 델파이 3라운드 전문가 검증 → 검증 콘텐츠 제작 → 시각장애인 대상 사용자 검증의 4단계 절차를 설계하였다.

1단계	2단계	3단계	단계
문헌 연구 및 이론적 고찰 [연구문제 1·2] 해결	수정 델파이 검증 (3라운드) [연구문제 3] 해결	검증 콘텐츠 제작 [연구문제 4] 준비	사용자 기반 검증 (파일럿 및 본 테스트) [연구문제 4] 해결
· 시각장애· 실감콘텐츠· 인클루시브 디자인· 이머시브 사운드 선행연구 종합 분석	· 전문가 12인 (각 분야별 4·4·4 균형)	· 성덕대왕신종 VR 시나리오 설계	· 시각장애인 7인 (전맹·저시력)
· WCAG 4원칙 매체 독립 재해석 프레임워크 구성	· 3라운드 합의 도출	· 확정된 구축요소 검증 콘텐츠 통합 적용	· 동시적 사고구술법 + 만족도 설문 병행
· 잠정 구축요소 초안 도출	· CVR / 합의도 / 수렴도 / CV / 평균 통계 검증	· 캐나다 OCAD 대학 인클루시브 디자인 연구소 공동 자문	· 연역 코딩 / 정량·정성 통합 분석
	· 최종 4·8·22 구축요소 확정		· 구축요소 실효성 실증 검증

따라서 본 연구는 4단계의 체계적인 과정을 통해 이론적 구성요소를 수정 델파이 조사를 통한 전문가 합의와 시각장애인 대상 만족도 조사를 통한 사용자 경험이라는 두 가지 축으로 검증하여, 실감 콘텐츠 접근성 구축요소의 실증적 효용성을 최종적으로 확보한다.

이머시브 사운드 구축요소 체계의 내용 타당도 검증을 위해 3라운드 수정 델파이 조사를 수행함

1. 조사 개요

조사 인원

인클루시브 디자인 · 이머시브 사운드 · 실감콘텐츠 분야 전문가 12명을 분야별 4·4·4 균형으로 구성. 효과적 델파이 패널 인원은 10~15인이 적정하며(Anderson, 1995), 본 연구는 12명 전원이 3라운드 모두 참여하여 100% 응답률을 확보하였다.

전문가 선정 기준

① 실감콘텐츠 제작 · 이머시브 사운드 · 접근성 및 인클루시브 디자인 분야 중 하나 이상에서 전문 경력을 보유한 자, ② 해당 분야의 논문 · 작품 · 프로젝트 등 전문 성과를 갖춘 자, ③ 3라운드 조사에 성실히 참여 가능한 자.

수정 델파이 채택 근거

전통 델파이가 개방형 질문에서 출발하는 귀납적 방식인 반면, 수정 델파이는 연구자가 선행연구를 통해 사전 구조화한 초안을 전문가 패널이 평가하는 방식이다. 이를 통해 초기 라운드 시간을 단축하고 전문가 이탈을 방지하며 더 집중된 논의가 가능하다(박현주, 2023).

조사 기간

2026년 2월 28일 ~ 3월 22일 (약 4주). 라운드 간 1~2주의 분석·피드백 준비 기간을 운영하여 전문가의 숙고된 판단을 유도하였다.

2. 라운드별 운영

라운드	조사 목적	주요 평가 항목
1라운드	잠정 4·9·20 구축요소 초안의 계층 구조와 개념 타당성에 대한 전문가 의견 수렴	· 명칭·정의의 개념 타당성 · 내용 적절성 (5점 척도) · 수정·보완·삭제·추가 의견
2라운드	1라운드 통계 피드백 반영 후 수정·보완 항목의 재평가 및 심층 의견 수렴	· 1라운드 통계 피드백 제공 · 합의 수준 낮은 항목 집중 평가 · 신규 제안 항목 검증
3라운드	정제된 구축요소에 대한 최종 동의 수준 및 합의 정도 검증	· CVR 수치 명시 평가 · 최종 합의 도출 · 이견 항목 종합 판단

3. 분석 기준

내용타당도비율 (CVR)	≥ 0.56	Lawshe (1975), N=12
합의도	≥ 0.75	이종성 (2001)
수렴도	≤ 0.50	배신영 (2020)
변이계수 (CV)	≤ 0.50	강용주 (2008)
평균	≥ 3.5	본 연구 적용 기준

검증 콘텐츠 기본 정보

구분	항목	내용
기본 정보 (Basic Info)	콘텐츠	성덕대왕신종(에밀레종) VR 체험
	대상	시각장애인 6인 (전맹 3·저시력 3) — ACM CHI/ASSETS 권위 학회 단일 VR 콘텐츠 검증 표준 (6~16인) 정합
	플랫폼	VR HMD 기반 실감콘텐츠 (몰입형) · 약 10분 (4 Scene)
	주요 목표	이머시브 사운드를 통해 종각·종의 공간 위치·크기 청각 인지 + 촉각·보조 조작으로 독립적 탐색·타종 상호작용 수행 (비장애인과 동등한 정서적 몰입)
연구 엄밀성 (Research Rigor)	협력 기관	캐나다 OCAD 대학 (인클루시브 디자인 분야 전문 연구소)
	협력 내용	실증 시나리오·기능 설계 공동 피드백·자문 — 인클루시브 디자인 적합성 검토로 학술 엄밀성 확보

검증 콘텐츠 설계 시나리오

Scene	명칭	이미지	설계 내용
Scene 1	유물 형태 인지		HMD 착용 전 성덕대왕신종 3D 프린팅 축소 모델의 촉각 탐색을 통해 용뉴·연곽·비천상·당좌 각 부위의 형태와 위치를 순차적으로 사전 인지
Scene 2	공간 진입 및 앰비언스		HMD 착용 후 가상 종각 공간에 진입하여 새소리(상단), 바람소리(전후), 잔향 (Cathedral RT60 3.5s)을 통해 공간 규모와 방향, 자연 환경을 청각적으로 지각
Scene 3	종으로 접근 (내비게이션)		64.4Hz 청각 안내 비콘을 따라 약 2보(약 1m) 이동하여 종 앞에 도달. 거리 감소에 따른 음량 증가와 LPF 해제로 방향·근접 지각. Trigger Collider 진입 시 자동 텔레포트
Scene 4	패턴 탐색 및 타종		용뉴→연곽→비천상→당좌 순서 서사 음성 + 악기 연주. 컨트롤러 타종 시 64.4Hz+168Hz 복합음, 9.1초 여음, 맥놀이 2.0Hz 전방위 재생 — 정서 절정

이머시브 사운드 접근성 구축요소 통합 적용 양상

구축요소	S1	S2	S3	S4	VR콘텐츠 적용 양상
1.1.1 음원 정위		●	●	●	좌우 패닝 + 부위 음원 신체 기준 고유 높이 정위
1.1.2 공간 규모 지각		●			RT60 3.5s 잔향 종각 규모 (직경 10m)
1.1.3 거리 지각			●		비콘 음량(-24→0dB) + LPF 해제 거리감
1.1.4 헤드 트래킹 갱신		●	●	●	Unity 헤드 트래킹 + 가상 음원 위치 유지
1.1.5 음향 차폐·투과				●	9.1초 잔향 종 내부 + 금속 표면 반사
1.2.1 청각 아이콘·이어콘			●	●	0.5m 도착 알림(10ms 어택) + 부위 큐
1.2.2 청각·촉각 동기화	●			●	가이드 음성 + 양손 촉각 탐색 정합성
2.1.1 청각 안내 비콘			●		64.4Hz 저주파 비콘 + 능동 2~3보 이동
2.1.2 근접·충돌 경보			●		Trigger 도착 + 15° 이탈 800Hz 신호
2.2.1 행동 연동 실시간 피드백			●	●	비콘 이탈 신호 + 타종 5ms 임팩트·햅틱
2.2.2 인터랙션 결과 피드백				●	64.4+168Hz 9.1초 여음 + 최대 2회 재타종

구축요소	S1	S2	S3	S4	VR콘텐츠 적용 양상
2.2.3 음성 해설·안내	●	●	●	●	ElevenLabs TTS 4 Scene 가이드 나레이션
3.1.1 청각 정보 계층화		●	●	●	AudioMixer 3계층 (0/-12/-6dB) 차등
3.1.2 청각 신호 일관성		●	●	●	앰비언스 배경 + 신호음 동일 패턴 일관
3.1.3 청각 흐름 분리				●	EQ 주파수 분리 + 부바키키 효과 변별
3.2.1 청각 서사 순서화	●			●	촉각 탐색 순서 → 청각 서사 동일 순서
3.2.2 청각적 전환 신호			●	●	장면 전환 알림 + 부위 전환 위치 큐
3.2.3 비선형 청각 서사				●	컨트롤러로 최대 2회 자유 재타종
4.1.1 정서적 동등 경험	●			●	종의 울림 및 여음 정서 절정
4.1.2 심미적 동등 경험		●		●	자연 음향 + 64.4+168Hz 2.0Hz 맥놀이 공명
4.2.1 청각적 사용자 맞춤	●				전맹 및 저시력별 사전 설정 프리셋
4.2.2 음향 파라미터 조절	●				체험 전 시연 및 합의 체험 중 구두 요청

본 적용 양상은 연구 결과에서 확정된 최종 이머시브 사운드 접근성 구축요소 4 대분류·8 중분류·22 소분류 체계가 검증 콘텐츠인 성덕대왕신종 VR 4 Scene에 어떻게 통합 적용되는지를 보여준다. 4 Scene은 각각 4 대분류의 핵심 검증 영역을 분담하면서도, 22 소분류 전체가 단일 콘텐츠 안에서 상호 보완적으로 작동하도록 설계되었다.

참여자 및 검증 방법

사용자 검증 테스트 개요

시각장애인 6~10인 (전맹 + 저시력 균형 모집). 시각장애 유형은 본 연구의 핵심 분석 변수로 작동하며, 유형별 청각 인지 전략 차이를 통합 분석한다.

구분	내용
연구 대상	시각장애인 (전맹·저시력) 7인
핵심 분석 변수	시각장애 유형 (전맹 vs 저시력)
참여 자격	실감콘텐츠 체험 경험 무관, HMD 착용 가능
파일럿 테스트	본 검증 전 시각장애인 2인 보조 절차
실시 일자	파일럿 2026.05.04 14:00~16:00 · 본 검증 2026.05.11~05.12 13:00~17:00
실시 장소	한경국립대 평택캠퍼스 (파일럿 + 본 1차) · 서울맹학교 용산캠퍼스 (본 2차)

검증 방법 1. 사고구술법 (Think-Aloud Protocol)

분석: 이론 기반 연역적 코딩 (Braun & Clarke, 2006) — 22 소분류 = 사전 정의 코드북, Cohen's Kappa ≥ 0.61 (Landis & Koch, 1977)

구분	동시적 사고구술	회고적 반구조화 인터뷰
시점	체험 중 (실시간)	체험 후 (회상)
학술 강점	인지 과정·오류 실시간 포착	몰입 보장, 전체 경험 반추
학술 한계	이중 과제 부하	기억 쇠퇴 가능
학술 인용	van den Haak et al., 2003	Guan et al., 2006

본 검증 방법론 · 수렴적 병렬 혼합연구 설계

본 연구는 **Convergent Parallel Mixed Methods Design** *(Creswell & Plano Clark, 2018)*에 기반하여 시각장애인 사용자의 만족도 분석과 사고구술 분석을 병행하는 **혼합연구를 설계**한다.

• 정량 자료:
만족도 조사 (5점 리커트, 8 중분류 측정 + 종합 만족도)
• 정성 자료:
사고구술법 (동시적 + 회고적 두 양식 병행)
• 통합 해석:
8 중분류 단위 4분면 매트릭스 (Joint Display)
→
수렴/발산 양상 학술 식별 + 방법론적 삼각검증

검증 방법 2. 만족도 조사 (Satisfaction Survey)

- 측정 도구: 5점 리커트 척도 (1: 전혀 그렇지 않다 ~ 5: 매우 그렇다)
- 측정 단위:
- 8 중분류 1:1 대응 (Q1~Q8) + 종합 평가 (Q9 실재감·Q10 전체 만족도)
- 시각장애인 접근성: 연구자 구두 낭독 + 응답 기록 방식
- 분석 방법: Mdn (IQR) 핵심 + M (SD) 보조 (순서형 자료, Boone & Boone, 2012)

검증 도구 및 분석 프레임

[1] 사고구술법 통합 적용 — 체험 시작 전 · 체험 중 · 체험 종료 후

시점	Scene / 도구	유니버설 프롬프트 / 안내문
체험 시작 전	사고구술법 사전 안내	약 10 분간 성덕대왕신종 VR 체험 — 머릿속 생각·느낌·소리 인상을 편하게 발화.
체험 중 (동시적 사고구술)	Scene 2 공간 진입·앰비언스	"지금 주변 공간이 어떻게 느껴지시나요?"
	Scene 3 종으로 접근 (내비게이션)	"지금 소리가 들리는 쪽으로 잘 가고 있다고 느껴지시나요?"
	Scene 4 문양 탐색 및 타종	"방금 타종을 하셨는데, 종소리가 울려 퍼지는 느낌이나 공간의 분위기에 대해 말씀해 주세요."
체험 종료 후	회고적 반구조화 인터뷰 (만족도 설문 직후)	체험 콘텐츠 회상 떠오르는 대로 자유 발화. 필요 시 "조금 더 말씀해주실 수 있을까요?" 추가 질문

학술 근거 Boren & Ramey (2000) 유니버설 프롬프트 원칙 — 특정 행동·해석 유도 회피 + 이중 과제 부하 최소화 (Ericsson & Simon, 1993; van den Haak et al., 2003)

[2] 만족도 설문 구성 (8 중분류 1:1 대응 + 종합 2 문항)

Q1 1.1 청각적 공간 인지	Q2 1.2 비시각 청각 대체	Q3 2.1 공간 네비게이션	Q4 2.2 상호작용 피드백
Q5 3.1 청각 정보 구조화	Q6 3.2 청각 서사 구조화	Q7 4.1 정서 동등성	Q8 4.2 개인화 음향
Q9 (종합) 실재감	Q10 (종합) 전체 만족도	측정 5 점 리커트 · 구두 낭독	분석 Mdn(IQR) + M(SD) 보조

[3] 정량 × 정성 통합 분석 —Joint Display 4분면 매트릭스

Convergent Parallel Mixed Methods Design (Creswell & Plano Clark, 2018) — 8 중분류 학술 교차 분석

→ Boren & Ramey (2000) 유니버설 프롬프트 + 5점 리커트 만족도 + Joint Display 4 분면이 방법론적 삼각검증 (Methodological Triangulation, Creswell, 2014)으로 구축요소 실효성을 다각 학술 검증한다.

이머시브 사운드 접근성 구축요소 수정 델파이 3 라운드 도출 결과

1. 라운드별 검증 결과 종합 (전문가 12인, 응답률 100%)

라운드	체계 변동	평균	CVR	합의도	수렴도	CV
1 라운드	4·9·20 → 4·8·21	4.21	0.71	0.79	0.42	0.31
2 라운드	4·8·24 → 4·8·22	4.45	0.83	0.86	0.31	0.22
3 라운드	4·8·22 (신규 4개) → 최종 합의	4.62	0.89	0.92	0.21	0.16
기준		≥ 3.5	≥ 0.56	≥ 0.75	≤ 0.50	≤ 0.50

2. 1라운드 주요 수정 및 보완 내용

[명칭 수정] 용어 적절성 및 개념 명료성 보완

- 1.1 청각적 공간 매핑 → 청각적 공간 인지
- 1.1.2 공간 크기 지각 → 공간 규모 지각
- 1.2 비음성 정보의 대체 → 비시각 정보의 청각적 대체
- 1.2.2 다감각 통합 → 청각-촉각 동기화
- 2.2 상호작용 피드백의 직관성 → 상호작용 피드백 설계
- 2.2.1 사용자 행동 기반 피드백 → 사용자 행동 연동 실시간 피드백
- 3.1 인지 부하 최적화 및 인지 구조화 → 청각 정보 구조화
- 3.1.1 청각 정보 우선순위화 → 청각 정보 계층화
- 3.1.2 사운드 메타포의 일관성 → 청각 신호 일관성
- 3.2 시간적 청각 구조화 → 청각 서사 구조화
- 4.1 경험의 가치 및 정서적 동등성 → 정서적 경험의 동등성
- 4.2.1 개인화 HRTF 적용 → 개인화 지각음향 적용

[구조 통합]
2.3 사용자 음향 제어 가능성 → 4.2 하위로 이동 (구조적 중복 해소)
[폐지·대체] 4.1.2 참여적 디자인 기반 반복 개선 → 심미적 실재감 설계로 대체 (제작 방법론 부적절)

3. 2라운드 주요 수정 및 보완 내용

[CVR 기준 미달 폐지] 기능적 중복으로 학술 정합성 미확보

- 4.2.1 개인화 지각음향 적용 폐지 (vCVR=0.50, aCVR=0.50)
  → 4.2.2 청각적 사용자 맞춤 설정과 기능적 중복 (기능 4.2.2로 통합)
- 4.2.4 사운드 선택적 활성화 폐지 (vCVR=0.50, aCVR=0.50)
  → 4.2.2 하위 기능 중복, 독립 소분류 학술 타당성 부족

4. 3라운드 주요 수정 및 보완 내용

[신규 추가 4개] 2라운드 패널 개방형 의견 반영

- 1.1.4 헤드 트래킹 기반 음향 갱신 (Head Tracking-Based Acoustic Update)
  ※ 용어 수정: 두부 운동 연동 음향 갱신 → 헤드 트래킹 기반 음향 갱신
- 1.1.5 음향 차폐 및 투과 (Acoustic Occlusion & Transmission)
- 2.2.3 음성 해설 및 안내 (Audio Description & Voice Guidance)
- 3.2.3 비선형 청각 서사 (Non-linear Auditory Narrative)

→ 전 항목 CVR ≥ 0.56, 합의도 ≥ 0.80, CV ≤ 0.17, 평균 4.77~5.00 학술 합의

수정 델파이 라운드가 진행될수록 CVR과 합의도가 지속적으로 상승하며 구축요소 체계의 타당성과 전문가 합의 수준이 안정적으로 강화됨.

최종 확정 구축요소 체계

이머시브 사운드 접근성 구축요소

1. 인식의 용이성 *Perceivable*

1.1 청각적 공간 매핑
- 음원 정위
- 공간 규모 지각
- 거리 지각
- 헤드 트래킹 갱신
- 음향 차폐·투과

1.2 비시각 정보의 청각적 대체
- 청각 아이콘·이어콘
- 청각·촉각 동기화

2. 운용의 용이성 *Operable*

2.1 공간 네비게이션·정위 보조
- 청각 안내 비콘
- 근접·충돌 경보

2.2 상호작용 피드백 설계
- 행동 연동 실시간 피드백
- 인터랙션 결과 피드백
- 음성 해설·안내

3. 이해의 용이성 *Understandable*

3.1 청각 정보 구조화
- 청각 정보 계층화
- 청각 신호 일관성
- 청각 흐름 분리

3.2 청각 서사 구조화
- 청각적 서사 순서화
- 청각적 전환 신호
- 비선형 청각 서사

4. 견고성 및 포용성 *Robust & Inclusive*

4.1 정서적 경험의 동등성
- 심미적 실재감 설계
- 참여적 디자인 기반 반복 개선

4.2 개인화 음향 접근성
- 개인화 HRTF 적용
- 청각적 사용자 맞춤 설정

파일럿 테스트 결과

정량 만족도 · 8 중분류 측정 (Mdn 핵심)

중분류 (문항)	Mdn (IQR)	range
1.1 청각적 공간 인지 (Q1)	5.0 (0.0)	5~5
1.2 비시각 정보 청각적 대체 (Q2)	4.5 (0.5)	4~5
2.1 공간 네비게이션 (Q3)	4.5 (0.5)	4~5
2.2 상호작용 피드백 설계 (Q4)	5.0 (0.0)	5~5
3.1 청각 정보 구조화 (Q5)	5.0 (0.0)	5~5
3.2 청각 서사 구조화 (Q6)	3.5 (0.5)	3~4
4.1 정서적 경험 동등성 (Q7)	5.0 (0.0)	5~5
4.2 개인화 음향 접근성 (Q8)	3.0 (0.0)	3~3
전체 평균 (종합)	4.75 (SD 0.55)	3~5

정성 사고구술 · 8 중분류 발화 빈도 (전체 81회)

중분류 (사고구술 발화)	P1 (회)	P2 (회)	합계 (회)
1.1 청각적 공간 인지	9	8	17
1.2 비시각 정보 청각적 대체	5	8	13
2.1 공간 네비게이션	2	4	6
2.2 상호작용 피드백 설계	5	6	11
3.1 청각 정보 구조화	4	3	7
3.2 청각 서사 구조화	4	5	9
4.1 정서적 경험 동등성	5	6	11
4.2 개인화 음향 접근성	3	4	7

정량 × 정성 4분면 매트릭스 · Joint Display

만족도 / 사고구술	긍정 발화	부정 발화 / 무발화
높음 (4~5점)	**실효성 확인 영역** 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 4.1 3.2 (P2)	**재해석 영역** 해당없음
낮음 (1~3점)	**척도 보완 영역** 해당없음	**개선 단서 영역** 3.2 (P1) 4.2 (P1·P2)

핵심 학술 발견 및 본 검증 전 수정·보완 사항

핵심 학술 발견 (Joint Display 4 분면 학술 양상)

본 연구 핵심 차별성 작동 (4.1 정서적 경험의 동등성)

• **정량** Mdn 5.0 (IQR 0.0) • **정성** 사고구술 발화 9 회 (4.1.1, 22 소분류 중 최다)

• **P1:** "어렸을 때 절 다녀왔을 때 장면이 생각났어요..."

• **P2:** "부모님이 데리고 간 적이... 박물관에서 자주 봤어서 그때 생각이 나면서 감동적이었어요..."

→ **실세계 문화·개인 기억 환기 정서적 몰입 메커니즘**

정량·정성 일관 수렴 (대분류 3 이해의 용이성)

• **정량** Mdn 4.5 (IQR 1.25) • **정성** 발화 16 회 — 4 대분류 중 **최저**

• 3.2 청각 서사 구조화 P1 만점 3점 + 부정 (개선 단서 영역) / P2 만점 4점 + 긍정 (실효성 확인 영역) — 사용자 특성별 분산

→ **이해의 용이성 영역 보완 필요 — 청각 서사 흐름·순서·전환 사용자 특성 따라 차별 인지**

정량·정성 일관 수렴 (개선 단서 영역) (4.2 개인화 음향 접근성)

• 정량 Mdn 3.0 (IQR 0.0) • 정성 회고 인터뷰 음량 부정 발화 공통 (P1·P2)

• **P1:** "마지막 타종 소리 작긴 했는데" **P2:** "종소리가 더 듣고 싶어서 아쉬웠어요 "

→ **만족도와 사고구술이 일관되게 수렴하는 4.2.2 음향 파라미터 조절 콘텐츠 보완 학술 단서**

본 검증 진행 전 수정·보완 사항

① **콘텐츠 보완 · 4.2.2 음향 파라미터 조절 강화** 타종 음량 학술 보완 + 개인화 음향 옵션 학술 강화 (P1·P2 음량 부정 발화 정합)

② **콘텐츠 보완 · 3.2 청각 서사 구조화 강화** 서사 흐름·순서·전환 학술 보완으로 사용자 특성별 차별 인지 학술 완화

③ **절차 학술 정합 · 사고구술 + 만족도 + 회고 인터뷰** 절차 적정성 학술 점검 완료, 본 검증 동일 절차 학술 적용

→ 본 파일럿은 인클루시브 디자인의 핵심 원칙인 참여적 설계 (Treviranus, 2014)에 근거하여 시각장애인 당사자 의견을 종합하여 학술 발화와 만족도 자료를 본 검증 진행 전 콘텐츠 및 절차 학술 보완에 직접 반영하는 것을 목적으로 한다.

본 테스트 결과

정량 만족도 · 8 중분류 측정

중분류	평균(SD)	중앙값(IQR)	Range
1.1 청각적 공간 인지	4.71 (0.49)	5.0 (0.5)	4~5
1.2 비시각 정보 청각적 대체	4.57 (0.79)	5.0 (0.5)	3~5
2.1 공간 네비게이션·정위	4.71 (0.76)	5.0 (0.0)	3~5
2.2 상호작용 피드백 설계	5.00 (0.00)	5.0 (0.0)	5~5
3.1 청각 정보 구조화	4.71 (0.49)	5.0 (0.5)	4~5
3.2 청각 서사 구조화	4.71 (0.76)	5.0 (0.0)	3~5
4.1 정서적 경험의 동등성	4.86 (0.38)	5.0 (0.0)	4~5
4.2 개인화 음향 접근성	4.57 (0.79)	5.0 (0.5)	3~5
전체 평균	4.74 (0.58)	5.0 (0.0)	3~5

정성 시각장애 유형별 사고구술 발화 양상

구분	전맹 (N=4)	저시력 (N=3)	양상
총 발화	56회	31회	전맹 1.81배 ↑ 시각 손상 ↑ = 발화량↑
긍정 발화	8/8 영역	8/8 영역	수렴 분면 광범위 (8 중분류 전 영역)
부정 발화	1건	-	2.2 상호작용 피드백 설계 ④ 발산
정서 표현 (감탄 및 여운)	10회	4회	4.1 본 연구 핵심 차별성 (합계 14회)

정량 × 정성 4분면 매트릭스 · Joint Display

분면	학술 명칭	학술 양상	만족도	사고구술	학술 의미	본 연구 사례
①	실효성 확인	수렴	높음 ↑	긍정	구축요소 작동 입증	**7/8 영역**
②	측정 척도 보완	발산	낮음 ↓	긍정	만족도 척도 한계 학술 단서	→ 5 장 학술 시사점
③	개선 단서	수렴	낮음 ↓	부정	콘텐츠 보완 학술 단서	→ 후속 연구 학술 단서
④	재해석 필요	발산	높음 ↑	부정	사회적 바람직성 응답 (Bryman, 2006)	**1/8 영역 (2.2상호작용 피드백 설계)**

→ 본 검증 결과 시각장애인 7인의 만족도는 M 4.74(SD 0.58)로 매우 높은 수준을 보였으며 (5점 81.4%, 8개 중분류 모두 Mdn 5.0), 사고구술은 87회 발화 + N=7 전원 일관 공통 패턴으로 광범위한 긍정 양상을 보임을 통해 이머시브 사운드 접근성 구축요소 사용자 경험 차원 실효성 입증한다.

본 검증 결과 핵심 학술 발견

핵심 학술 발견 (Joint Display 4 분면 학술 양상)

본 연구 핵심 차별성 작동 (4.1 정서적 경험의 동등성)

• **정량** M 4.86 (SD 0.38), Mdn 5.0 (IQR 0.0) • **정성** 사고구술 발화 14 회 (4.1 정서적 동등성, 견고성 영역 최다)

• **P5:** "경험의 밀도가 높아진다..." (전맹 1급, 후천적, 50대 여성)

• **P7:** "정신이 깨어나는 듯한 느낌..." (전맹 1급, 후천적, 50대 남성)

→ **본 연구 견고성 영역 확장 재정의 (정서적·심미적 동등 경험 보장 메커니즘)**

정량·정성 일관 수렴 (대분류 4 견고성 및 포용성)

• **정량** M 4.65, 8 중분류 모두 Mdn 5.0 • **정성** 발화 23 회 (26.4%) — 4 대분류 중 두 번째 빈도 수 높음

• 4.1 정서적 동등성 + 4.2 개인화 음향, 두 영역 모두 ① 수렴 분면 분포 (광범위 정합성 입증)

→ **본 연구 핵심 학술 기여 영역의 사용자 경험 차원 정합성 입증 — WCAG 견고성 확장 재정의 실증**

④ 발산 사례 (천장 효과 보완) (2.2 상호작용 피드백 설계)

• 정량 Mdn 5.0 (IQR 0.0), M 5.00 (SD 0.00), 7명 전원 만점 • 정성 컨트롤러 부정 발화 1건

• 컨트롤러 대신 실제 타종 동작 요구 (1건) • 컨트롤러 응답 시간 지연 (1건)

→ **정량 만족도 천장 효과를 사고구술법이 보완하는 학술 사례 (Bryman, 2006) — 혼합연구 방법론 정당성 입증**

본 검증의 학술 함의

1. **학술 차별성 · 견고성 영역 확장 재정의 실증** — WCAG 견고성을 정서적·심미적 동등 경험 보장으로 확장 재정의한 학술적 차별성이 P5·P7 핵심 인용으로 실증
2. **방법론 정당성 · 혼합연구 설계 학술 입증** — 2.2 영역 ④ 발산 사례로 정량 만족도 천장 효과를 사고구술법이 보완 (Bryman, 2006; Hertzum, 2024)
3. **4단계 체계 정당화 · 7/8 영역 ① 수렴 입증** — 문헌 연구 → 수정 델파이 → 콘텐츠 → 파일럿 반영의 4단계 체계가 본 검증 단계 광범위 긍정 양상으로 학술 입증

→ 본 검증 결과는 본 연구가 도출한 구축요소 체계의 사용자 경험 차원 정합성을 실증한 것으로 5장 결론과 시사점 도출의 학술적 토대로 직접 기능한다.

주요 발견점

01 WCAG 기반 4·8·22 분류 체계의 학술적·실증적 이중 타당화

수정 델파이 전문가 합의(12인 3라운드)와 시각장애인 사용자 검증(사고구술법 + 만족도 조사)을 통해 학술적 타당성과 실증적 효과성을 동시에 확보. WCAG 4원칙이 시청각 매체를 넘어 청각 중심 실감콘텐츠 영역에서도 효과적 분석 틀로 작동함을 실증함.

02 '견고성 및 포용성' 영역 재정의의 효과성 실증

본 연구가 동등한 정서적, 심미적 경험 보장 영역으로 재정의한 '견고성 및 포용성'이 시각장애인 사용자 만족도 평가에서 핵심 동인으로 작용함을 확인. 인클루시브 디자인 명제(Treviranus, 2014; 2020)의 이머시브 사운드 영역 적용 가능성을 입증함.

03 22개 구축요소 적용 콘텐츠에 대한 높은 사용자 만족도 도출

본 연구의 22개 구축요소를 적용한 실감콘텐츠 체험 결과, 시각장애인 사용자의 만족도가 인식, 운용, 이해, 포용의 전 영역에 걸쳐 높게 나타남. 사고구술법에서도 콘텐츠 몰입과 정서적, 심미적 경험에 대한 긍정적 반응이 일관되게 도출됨.

04 시각장애 유형(전맹·저시력)별 차별적 경험 양상 확인

전맹과 저시력 사용자 간 구축요소별 체감 우선순위에 차별적 양상이 관찰됨. 이는 시각장애를 단일 집단으로 간주하지 않고 유형별 특성을 반영한 세분화된 설계 원리가 필요함을 시사하며, 본 분류 체계가 그러한 후속 정교화의 토대가 됨을 보여줌.

→ 본 연구의 22개 이머시브 사운드 구축요소는 학술적 타당성(전문가 델파이)과 실증적 효과성(시각장애인 사용자 만족도)을 동시에 확보하며, 동등한 실감콘텐츠 경험을 위한 학술적·실무적 토대로 입증되었다.

학술적 함의 및 실무적 시사점

학술적 함의

1 WCAG 분류 체계의 3중 정합성 입증

'뼈대(theoretical framework), 그릇(structural fit), 언어(industry standard language)'의 3중 정합 구조를 통해 WCAG 4원칙을 시각장애인 실감콘텐츠 이머시브 사운드 영역의 분류 체계로 채택할 학술적 정당성을 확보함.

2 '견고성' 개념의 학술적 외연 확장

WCAG의 '견고성'을 보조기술 호환성에서 동등한 정서적, 심미적 경험 보장 영역으로 재정의하여, 인클루시브 디자인 이론을 이머시브 사운드 설계 원리로 구체화함.

3 인클루시브 디자인의 사운드 영역 확장

OCAD University Inclusive Design Research Centre(Treviranus, 2014; 2020)의 핵심 명제를 시각장애인 실감콘텐츠 이머시브 사운드 영역에 적용한 학술적 사례로서, 후속 연구의 이론적 토대를 제공함.

4 시각장애 사용자 경험 분석 틀 제시

'인식 — 운용 — 이해 — 견고성 및 포용성'의 4축 체계가 시각장애인 사용자 경험 연구의 분석 틀로서 효과적으로 적용 가능함을 실증적으로 확인함.

실무적 시사점

1 22개 구축요소 체크리스트 활용

시각장애인 대상 실감콘텐츠 기획, 설계, 평가 단계에서 직접 활용 가능한 22개 구축요소 체크리스트 형태의 가이드라인을 제공.

2 산업계 즉시 적용성 확보

WCAG에 대한 산업계의 높은 친숙성을 활용함으로써, 별도의 신규 분류 체계 학습 없이 즉시 적용 가능한 실무 지침을 마련함.

3 단순 접근성 보완을 넘는 설계 방향성

자막, 음성해설 등 사후적 보완이 아닌, 기획 초기 단계에서 동등한 정서적, 심미적 경험을 설계 목표로 통합하는 방향성을 제시.

4 직군 간 공통 언어 제공

콘텐츠 기획자, 사운드 디자이너, 접근성 전문가 간 협업 과정에서 공통의 분류 체계와 용어를 제공하여 의사소통의 효율성을 높임.

→ 시각장애인을 위한 인클루시브 이머시브 사운드 설계는 기술적 호환성을 넘어 동등한 정서적, 심미적 경험을 보장하는 영역으로 확장되어야 하며, 본 22개 구축요소가 그 학술적 토대와 실무적 지침을 동시에 제공한다.

연구의 의의, 한계, 향후 연구 제언

5.1 연구의 의의

첫째,

시각장애인을 위한 실감콘텐츠 이머시브 사운드 구축요소를 학술적으로 최초 체계화한 연구

둘째,

WCAG 4원칙을 분류 뼈대로 채택하여 학술적 정당성, 구조적 적합성, 산업계 호환성을 동시에 확보

셋째,

'견고성 및 포용성' 영역의 재정의를 통해 인클루시브 디자인 이론을 이머시브 사운드 설계 원리로 구체화

넷째,

문헌 연구, 수정 델파이, 사용자 검증의 3축 절차를 통해 분류 체계의 학술적 타당성과 실증적 효과성을 동시에 확보

5.2 연구의 한계

첫째,

사고구술법의 특성상 소수 심층 표본(6~10명)에 기반한 결과로, 광범위한 일반화에는 신중함이 요구됨

둘째,

VR, MR, XR 등 다양한 실감콘텐츠 장르별 특성에 따른 구축요소 가중치 차이는 본 연구 범위에서 충분히 반영하지 못함

셋째,

청각 채널 중심의 분석 틀로 한정되어, 촉각, 햅틱 등 다감각 통합 설계 원리는 본 연구 범위 외로 남김

넷째,

시각장애 외 타 장애 유형(청각, 지체)으로의 확장 적용 가능성은 본 연구에서 다루지 않음

5.3 향후 연구 제언

첫째,

실감콘텐츠 장르별(VR, MR, XR) 및 타 장애 유형(청각, 지체)으로의 구축요소 분류 체계 확장 연구

둘째,

AI 기반 실시간 음향 접근성 보조 기술과 본 22개 구축요소를 통합한 적응형 설계 방법론 연구

셋째,

도출된 구축요소를 기반으로 한 정량적 평가 도구 및 인클루시브 사운드 인증 체계 개발

넷째,

인클루시브 사운드 디자인 가이드라인의 실무 적용 사례 축적 및 비교 효과성 검증 연구

→ 본 연구는 시각장애인이 실감콘텐츠에서 비장애인과 동등한 정서적, 심미적 경험을 누릴 수 있는 인클루시브 이머시브 사운드의 학술적·실증적 토대를 마련하였으며, 후속 연구로 이어지는 출발점이 되고자 한다.

감사합니다.

연구자 오 소 백

지도교수 한 정 엽

홍익대학교 대학원 AI · 실감미디어콘텐츠학과