

AR/VR 기반 디지털 트윈을 위한 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크

Cross-Reality UX Design Framework for AR/VR-Based Digital Twin Environments

주 저 자 : 홍은정 (Hong, Eun Jung) 동양미래대학교 부교수
ehong76@naver.com

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2025.3.103>

접수일 2025. 08. 18. / 심사완료일 2025. 09. 13. / 게재확정일 2025. 09. 15. / 게재일 2025. 09. 30.

Abstract

This paper proposes a cross-reality user experience (UX) design framework for digital twin systems deployed across Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), and web platforms. Ensuring consistent UX across these heterogeneous platforms is critical for maintaining user familiarity and reducing cognitive load when interacting with digital twins. We first review the concepts of digital twins and cross-reality (XR) environments, highlighting the need for unified design strategies. The framework emphasizes visual design consistency, interaction mapping, and context-appropriate adaptation to bridge real and virtual environments. We derive design principles from existing XR design guidelines and cross-reality design patterns, and formulate a structured process for implementing a unified design system that spans AR/VR interfaces and conventional web dashboards. As a case study in the architecture domain, we illustrate how a building's digital twin can provide a seamless user experience whether accessed through an AR on-site overlay, an immersive VR simulation, or a web platform. The proposed framework suggests practical standardization possibilities for XR UX design, potentially serving as a guideline for industry adoption.

Keyword

Digital Twin(디지털트윈), Cross Reality(XR)(확장현실), User Experience(UX)(경험디자인)

요약

본 연구는 증강현실(AR), 가상현실(VR), 웹 등 다양한 플랫폼에서 구현되는 디지털 트윈 시스템을 위한 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크를 제안한다. 디지털 트윈은 현실 세계의 물리 자산이나 시스템을 가상 공간에 동일하게 복제하여 시뮬레이션 및 분석을 수행하는 기술로서, 건축·건설 분야를 비롯한 다양한 산업에서 활용도가 높아지고 있다. 그러나 디지털 트윈에 접근하는 플랫폼마다 사용자 경험이 일관되지 않으면 사용자는 혼란을 느끼고 학습 부담이 증가할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 플랫폼 간 UX 일관성 확보를 위한 시각디자인 전략과 인터랙션 설계 방안을 모색하였다. 선행 연구를 통해 XR 디자인의 원칙과 크로스리얼리티 시스템의 디자인 패턴을 검토하고, 이를 토대로 통합된 디자인 시스템 구축, 인터랙션 맵핑, 맥락에 따른 적응형 디자인 등의 핵심 전략을 프레임워크로 체계화하였다. 특히 건축 분야의 사례를 들어, 건물의 디지털 트윈 정보를 AR 현장 시각화, VR 시뮬레이션, 웹 대시보드에서 일관되면서도 맥락에 맞게 제공하는 방법을 제시한다. 제안된 프레임워크는 XR 환경 내 UX 디자인에 대한 실무적 표준화 가능성을 제시하며, 다양한 플랫폼을 아우르는 직관적이고 연속성 있는 사용자 경험을 구현하는 데 기여할 것으로 기대된다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구 배경 및 목적
- 1-2. 연구 범위 및 방법
- 1-3. 논문의 구성

2. 이론적 배경

- 2-1. 크로스리얼리티(XR) 개념과 특성

- 2-2. 디지털 트윈의 개념과 건축 분야 활용 사례

- 2-3. XR 환경의 UX 디자인 원칙 및 선행 연구

3. 크로스리얼리티 UX 디자인의 도전과제

- 3-1. AR, VR, 웹 플랫폼별 UX 특성 비교
- 3-2. 플랫폼 간 UX 일관성 확보의 중요성
- 3-2. 사용자 경험 단절의 위험성과 해결 필요성

4. 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크 제안

- 4-1. 프레임워크 개요 및 설계 철학
- 4-2. 시각디자인 일관성 전략
(Visual Consistency)
- 4-3. 인터랙션 디자인 매핑 전략
(Interaction Mapping)
- 4-4. 맥락 기반 적응형 UX 전략
(Contextual Adaptation)
- 4-5. 통합 디자인 시스템 구축 방안

5. 프레임워크 적용 사례: 건축 디지털 트윈

- 5-1. 사례 개요 및 시나리오
- 5-2. AR, VR, 웹에서의 일관된 UX 구현 예시

- 5-3. 디자인 결과물 및 사용자 피드백
(가상 시나리오)
- 5-4. 논의: 실무 적용을 위한 고려사항

5. 결론

- 3-1. 연구 요약 및 주요 결과
- 3-2. 연구 의의 및 기여
- 3-2. 한계점 및 향후 연구 과제

참고문헌

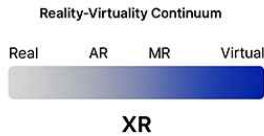
1. 서론

현실 세계의 사물이나 공간을 가상 공간에 동일하게 복제하여 시뮬레이션하고 분석하는 디지털 트윈(Digital Twin) 기술은 4차 산업혁명 시대의 핵심 기술로 떠오르고 있다. 디지털 트윈은 물리적 자산의 정확한 가상 모델을 실시간 데이터로 업데이트함으로써 해당 자산의 동작과 상태를 가상 환경에서 정확히 재현하는 기술로 정의된다. 예를 들어, 건설현장에 디지털 트윈을 적용하면 현실의 건설 장비나 구조물을 동일한 가상 모델로 만들고 각종 센서를 통해 얻은 실시간 데이터를 가상 모델에 반영함으로써 현재 상태, 생산성, 작동 시나리오 등의 정보를 정확히 파악할 수 있다. 이러한 현실-가상 동기화 특성을 통해 디지털 트윈은 설계부터 제조, 운영, 유지보수에 이르는 전 과정의 효율성을 높이고 문제 발생을 최소화하는 혁신적 도구로 각광받고 있다.¹⁾ 한편, 크로스리얼리티(Cross-Reality, XR)란 현실과 가상의 연속체 상의 서로 다른 지점에서 동작하는 시스템을 통합적으로 다루는 개념으로, 현실-가상 연속체(reality-virtuality continuum) 전반에 걸쳐 여러 환경과 사용자들이 상호작용하는 복합 시스템을 의미한다. 예컨대 증강현실(AR), 혼합현실(MR), 가상현실(VR)로 대표되는 기술 스펙트럼을 아울러 XR이라고

부르며, 최근 연구에서는 하나의 사용자 경험이 이러한 여러 현실-가상 단계들을 넘나드는 크로스리얼리티 시스템에 주목하고 있다.²⁾ [그림 1]은 Milgram의 현실-가상 연속체 개념을 바탕으로 현실 세계부터 완전 가상세계까지의 스펙트럼에서 AR, MR, VR의 위치를 나타낸 것이다. 크로스리얼리티 UX 디자인이란 이러한 연속된 스펙트럼 상의 다중 플랫폼에 걸친 UX를 총체적으로 설계하는 것을 의미한다. [그림 1]처럼 현실-가상 연속체 상에서 AR, MR, VR의 위치. 현실(Real)과 가상(Virtual) 사이에 증강현실(AR)과 혼합현실(MR)이 위치하며, XR은 이 전체 스펙트럼을 아우르는 개념이다. 디지털 트윈 기술과 XR 기술의 융합은 다양한 산업 분야에서 새로운 사용자 경험을 창출하고 있다. 예를 들어, 산업용 메타버스는 용어는 산업 현장에서 VR, AR, 디지털 트윈 등의 기술을 활용하여 업무 효율을 높이는 환경을 지칭하며, 실제 공장의 기계, 설비, 도시 인프라 등을 메타버스 공간에 그대로 복제한 디지털 트윈이 핵심 역할을 한다.

1) 김석구 외 '디지털 트윈 및 가상현실(MR, XR) 기반 건설관리,' 대한토목학회 2021 정기학술대회 논문집, 2021. pp.244-247

2) Robbe Cools et al. - "From Display to Interaction: Design Patterns for Cross-Reality Systems," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2025.05, 31(5), pp.3129-3139



[그림 1] 현실-가상 연속체 상에서 AR, MR, VR의 위치

마이크로소프트사의 사례에서, 원격지에 있는 전문가가 HoloLens와 같은 AR 장치를 착용한 현장 작업자와 협업하여 메타버스 환경에서 기계를 점검하고 문제를 해결하는 원격 유지보수 시나리오가 구현되었다.가와사키중공업은 공장 생산라인을 디지털 트윈으로 구현하고, 공장 직원이 홀로렌즈(HoloLens)를 통해 원격 전문가와 함께 동일한 가상 공간에서 장비를 점검함으로써 설비 고장을 신속히 대처하는 시스템을 도입하였다.³⁾ 이러한 사례는 현실과 가상을 넘나드는 일관된 사용자 경험의 중요성을 보여준다. 즉, 물리적 현장에서 AR로 보는 정보와 가상공간(VR)에서 보는 정보, 그리고 2D 화면으로 웹에서 보는 정보가 동일한 디지털 트윈 데이터에 기반하여 연속성 있게 제공될 때, 사용자들은 플랫폼을 전환하더라도 맥락을 유지하며 작업을 수행할 수 있다. 그러나 현재까지 AR, VR, 웹 각각의 플랫폼에 맞춘 UX 설계에 대한 연구는 활발한 반면, 이들을 아우르는 크로스리얼리티 UX의 일관성에 대한 연구는 초기 단계이다.⁴⁾ 여러 플랫폼에서 공통으로 운영되는 시스템의 경우 사용자 경험의 단절이 발생하기 쉽다. 예를 들어, 건물 관리 디지털 트윈을 생각해 보면, 사무실에서는 PC 웹 대시보드를 통해 건물의 센서 데이터를 모니터링하고, 현장에서는 AR 글래스를 통해 동일한 데이터를 눈앞의 설비에 겹쳐보며, 원격 회의에서는 VR로 건물의 3D 모델을 함께 보면서 토론할 수 있다. 이때 각 플랫폼마다 UI 구성과 상호작용 방식이 제각각이라면 사용자들은 매번 다른 사용법을 익혀야 하고 혼란을 겪게 된다. 반대로, 일관된 디자인 원칙과 요소가 적용되어 있다면 사용자는 어떤 플랫폼을 쓰는 익숙한 느낌으로 시스템을 사용할 수 있다. 예컨대 AR

환경에서 특정 아이콘이나 색상으로 표시된 센서 정보 정보가 VR 환경, 웹 환경에서도 동일한 형태와 의미로 표시된다면 사용자 이해도가 높아질 것이다. 본 연구의 목적은 AR/VR 기반 디지털 트윈 환경에서 UX 일관성을 확보하기 위한 시각디자인 전략과 프레임워크를 제시하는 것으로 급변하는 XR 기술 환경에서 UX 디자인의 표준화 가능성을 탐색하고자 한다. 특히 건축/건설 분야 디지털 트윈 사례를 중심으로, 다양한 플랫폼을 넘나들어도 시각적 아이덴티티와 상호작용 경험이 유지되는 디자인 방안을 모색하였다. 이를 통해 XR 환경 내 사용자 경험 디자인의 실무적 표준화 방향을 제안하고, 나아가 다른 산업 분야에도 적용 가능한 크로스리얼리티 UX 디자인 가이드라인을 도출하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이론적 배경으로 XR과 디지털 트윈의 개념 및 관련 선행 연구를 살펴보고, XR UX 디자인 원칙 및 패턴에 관한 연구들을 검토한다. 3장에서는 크로스리얼리티 UX 디자인의 주요 도전과제를 AR, VR, 웹 플랫폼 특성 비교를 통해 논의한다. 4장에서는 본 연구의 핵심 결과인 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크를 제안하고, 세부 전략으로 시각디자인 일관성, 인터랙션 매핑, 맥락 적응형 디자인 등을 설명한다. 5장에서는 건축 디지털 트윈 시나리오에 해당 프레임워크를 적용한 가상의 디자인 사례를 통해 그 실효성을 살펴보고, 6장 결론에서는 연구의 의의와 한계를 정리한다.

2. 이론적 배경

2-1. 크로스리얼리티(XR) 개념과 특성

크로스리얼리티(XR)는 앞서 언급했듯이 현실과 가상의 경계를 넘나드는 통합적 경험을 가리킨다. Milgram과 Kishino가 제시한 현실-가상 연속체 개념에 따르면, 한쪽 끝에는 사용자가 완전히 현실 환경에 있는 상태, 반대쪽 끝에는 완전히 가상 환경(VR)이 있으며, 그 사이에 현실에 가상 정보를 덧붙이는 증강현실(AR), 그리고 현실과 가상의 요소가 혼합된 혼합현실(MR)이 위치한다. 오늘날 XR이라는 용어는 일반적으로 AR, MR, VR을 포괄하는 확장현실(Extended Reality)을 뜻하나, 본 연구에서는 특히 다중 플랫폼에 걸친 교차 현실의 의미로 XR을 다룬다. 즉, 크로스리얼리티 시스템은 예를 들어 데스크탑 2D 화면과 모바일 AR과 몰입형 VR이 모두 연동되어 하나의 연속적인 사용자 경험을 제공하는 형태를 말한다.⁵⁾ 크로스리얼리티 환경의 특징은 복합성과 연속성으로 요약된다. 복합성은 여러 이기

3) 조인숙 ‘일상에서 산업 현장으로... 영역을 넓히는 디지털 트윈과 메타버스’, 테크42, (2025.07.26.), tech42.co.kr/

4) Robbe Cools et al. - “From Display to Interaction: Design Patterns for Cross-Reality Systems,” IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2025.05, 31(5), pp.3129–3139

중 플랫폼과 현실/가상 요소들이 동시에 존재하고 상호 작용한다는 의미이다. 연속성은 사용자가 한 플랫폼에서 다른 플랫폼으로 이동해도 맥락(Context)이 이어지고 목표 작업을 지속할 수 있어야 함을 뜻한다. 이러한 XR 시스템을 설계하기 위해서는 개별 플랫폼의 UX를 잘 이해함과 동시에, 플랫폼 간 공통되는 디자인 요소와 전이(Transition)의 설계가 중요하다. Robbe Cools 등은 최근 논문에서 “크로스리얼리티 시스템을 위한 포괄적 디자인 프레임워크의 부재”를 지적하며, 11개의 크로스리얼리티 디자인 패턴을 제시하였다.⁶⁾ 해당 연구에서는 60편의 관련 선행 연구를 분석하여 Fundamental, Origin, Display, Interaction의 4가지 범주로 패턴을 분류하였다. 예를 들어 Fundamental 패턴은 다양한 현실 간 전환 시 고려해야 할 기본 개념들, Display 패턴은 여러 디스플레이/디바이스 간 정보 표시 방법, Interaction 패턴은 상호작용 방식의 연계에 관한 것이다. 이러한 디자인 패턴은 크로스리얼리티 UX 설계 시 반복적으로 나타나는 문제들에 대한 솔루션을 요약한 것으로, 본 연구에서 제시하는 프레임워크의 개념적 기반이 된다. Cools 등의 연구는 디자인어들에게 XR 시스템 설계 시 참조할 수 있는 포괄적 패턴 목록을 제공하였으며, 이는 크로스리얼리티 UX 디자인의 체계화에 중요한 첫 걸음이라 할 수 있다. 또 다른 관련 연구로, 김용학은 XR 공간 디자인을 위한 방법론을 제시하면서, XR 디자인 원칙을 도출하였다. 해당 연구에서는 XR 환경에서 사용자의 인지적 특성을 자기중심성과 감각복합성으로 요약하고, 디자인 측면에서 의미적 연결성과 방식적 고유성 개념을 제안했다. 의미적 연결성이란 XR 환경에서 사용자 적응을 돕기 위해 기존에 익숙한 디자인 요소를 활용하는 것으로, 새로운 환경이라도 친숙한 UI 메타포(예: 아이콘, 색상 등)를 사용함으로써 사용자가 쉽게 이해하도록 하는 원칙이다. 반면 방식적 고유성은 XR만의 고유한 공간적 특성을 활용하여 차별화된 경험을 제공해야 함을 강조한 개념이다.⁷⁾ 예를 들어, 2D 웹에서는 불가능한 3차원 공간 내 자유로운 정보 배치를 XR에서는 활용함으로써 새로운 가치를 창출해야 한다는 것이다. 이러한 두 가지 상반되지만 상호보완적인 원칙 - 익숙함을 유

지하되, 매체의 고유성을 살리는 - 은 크로스리얼리티 UX 디자인에서도 핵심적인 균형 포인트가 된다. 즉, 여러 플랫폼에 공통으로 적용되는 일관된 요소(semantic consistency)를 유지하면서도, 각 플랫폼의 고유 장점(methodological uniqueness)을 극대화해야 한다. 정리하면, 크로스리얼리티 UX 디자인을 위해서는 플랫폼 공통의 일관성(consistency)과 플랫폼 특화 최적화 사이의 균형 잡기가 중요하다. 이러한 개념적 토대를 바탕으로, 본 연구에서는 구체적인 디자인 프레임워크를 구성하고자 한다.

2-2. 디지털 트윈의 개념과 건축 분야 활용 사례

디지털 트윈(Digital Twin)은 현실 세계의 물리적 객체나 시스템을 가상 공간에 동일하게 복제한 쌍둥이 모델을 만들어 시뮬레이션, 모니터링, 예측 등에 활용하는 기술을 말한다. 현실의 데이터(예: IoT 센서로부터 수집되는 온도, 압력, 위치 정보 등)가 실시간으로 가상 모델에 반영되며, 이를 통해 가상 공간에서 현실의 동작을 미러링(Mirroring)하거나 다양한 가정 하에 시뮬레이션해볼 수 있다. 가상 모델에서 발생한 변화나 이벤트는 곧바로 현실 시스템의 의사결정에 피드백되어 현실-가상 통합을 이룬다. 이처럼 디지털 트윈은 단순한 3D 모델이 아니라 데이터로 살아있는 동적 모델이며, 현실과 가상을 실시간 연동한다는 점에서 메타버스와 구별된다 - 메타버스는 가상 세계 그 자체에 초점을 맞추어 사회적·문화적 경험을 강조하지만, 디지털 트윈은 현실 세계의 반영과 피드백에 초점을 맞추고 주로 산업 및 공공 분야의 문제해결에 활용된다.⁸⁾ 건축·건설(AEC: Architecture, Engineering & Construction) 분야는 디지털 트윈 기술의 주요 응용 분야 중 하나이다. 설계 단계에서는 BIM(Building Information Modeling) 데이터와 연계하여 가상의 건물 모델을 만들고 구조·환경 시뮬레이션을 수행할 수 있으며, 시공 단계에서는 공정 관리와 시공 시뮬레이션에 활용되고, 운영 단계에서는 시설물 유지관리와 스마트 빌딩 관리에 활용된다. 예를 들어, 현대자동차는 싱가포르에 건설 중인 글로벌 혁신센터 공장에 실시간 3D 메타버스 플랫폼을 활용한 디지털 트윈을 적용하여, 공장 운영 데이터를 실시간 모니터링하고 최적화할 계획을 발표하였다.⁹⁾ 세종시는 도시 교통과 환경 관리

6) Robbe Cools et al. - “From Display to Interaction: Design Patterns for Cross-Reality Systems,” IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2025.05, 31(5), pp.3129–3139

7) 김용학 ‘확장현실(XR)을 위한 공간 디자인 방법론 연구,’ 기초조형학연구, 2024.10, 25(5), pp.139–151

8) MegazoneCloud - “[Tech Blog] “메타버스”와 “디지털 트윈” 뭐가 다를까?’, 메가존클라우드 인사이트 (테크블로그), (2025.07.26.), iting.co.kr/insight-solution-metaverse-digitaltwin-vr-ar-2025-0312

에 디지털 트윈을 도입하여, 가상 도시 모델 위에서 교통량 변화나 미세먼지 확산 등을 시뮬레이션해보고 정책 결정에 활용하고 있다. 싱가포르의 국가 단위 프로젝트로 버추얼 싱가포르(Virtual Singapore)를 구축하여 도시 전체의 3D 디지털 트윈을 구현, 도시 계획 및 재난 대응 등에 활용하고 있다. 이러한 사례들은 거시적 스케일부터 개별 건축물 단위까지 디지털 트윈이 활용되고 있음을 보여준다. 건축 현장에서 디지털 트윈과 XR 기술의 결합도 활발하다. 예컨대, 시공 현장 관리자에게는 AR 헤드셋을 통해 현재 공정의 디지털 트윈 모델을 실시간으로 겹쳐 보여주어 계획 대비 진행률을 직관적으로 파악하게 하거나, 완공된 건물의 유지보수 시 VR 시뮬레이터에서 미리 수리를 연습해볼 수도 있다. 테크42 보도에 따르면, 마이크로소프트의 HoloLens 기반 솔루션을 가와사키중공업, ABB 맥주공장 등에서 도입하여, 공장 디지털 트윈을 활용한 원격 유지보수와 공정 최적화를 실현했다고 한다. 구체적으로, 공장의 로봇팔에 이상이 감지되면 디지털 트윈 공간의 로봇에도 경고가 표시되고, 현장 직원은 AR 기기를 통해 원격 전문가와 함께 가상공간에서 문제를 진단한 후 실제 설비에 바로 적용하는 방식이다. 이런 과정에서 VR/AR은 디지털 트윈 인터페이스로 기능하며, 사용자는 마치 게임 속에서처럼 몰입적으로 복잡한 데이터와 상호작용할 수 있다. AR과 VR 기술이 디지털 트윈에 접목됨으로써 사용자는 디지털 트윈 “속으로 들어가서” 자연스럽게 모델을 탐색하고 물리 객체를 다루듯 상호작용할 수 있게 된다. 이는 기존의 2D 모니터 화면을 통한 정보 표시와 비교하여 훨씬 직관적이고 현장감 있는 UX를 제공한다는 평가를 받는다. 이렇듯 디지털 트윈 + XR 조합은 교육훈련, 협업 설계, 마케팅, 유지보수 등 건축 분야 전반에 새로운 패러다임을 가져오고 있다.¹⁰⁾ 그러나 동시에, 이러한 환경에서 UX 설계의 복잡성도 증가하고 있다. 특히 AR/VR 기반의 디지털 트윈 시스템은 전통적인 PC 웹 인터페이스와 병행되는 경우가 많아, 사용자들은 멀티모달로 시스템을 이용하게 된다. 예를 들어 한 스마트 건물 관리자는 사무실에서는 대시보드를 보다가, 현장에서 AR로 세부를 살피고, 문제가 생기면 VR 원격회의에서 전문가와

대화할 수 있다. 이 전 과정에서 UX의 일관성과 연속성이 유지되도록 설계하는 것이 중요하며, 다음 절에서는 바로 이 부분 - 크로스리얼리티 환경에서의 UX 일관성 도전과제를 다룬다.

2-3. XR 환경의 UX 디자인 원칙 및 선행 연구

XR 환경에서의 UX 디자인은 기존 2D UI 디자인과는 다른 고려사항이 많이 존재한다. 몰입감(Immersion), 존재감(Presence), 상호작용성(Interactivity) 등이 XR UX의 품질을 좌우하는 중요한 요소로 지적된다. 예를 들어 VR에서는 사용자가 가상환경에 완전히 몰입하기 때문에 현실 세계와 단절된 상황에서 UI를 제공해야 하며, 사용자의 공간적 탐색과 물리적 피드백에 신경 써야 한다. AR에서는 현실 세계 배경과 가상 정보가 겹쳐보이기 때문에 정보의 배치, 색상 대비, 가독성 등이 매우 중요하고, 사용자 주의가 현실-가상을 오가는 맥락에서 UI가 방해 요소가 되지 않도록 해야 한다. MR은 AR과 VR의 중간격으로, 현실 객체와 가상 객체의 상호작용을 디자인해야 하는 과제가 있다. 이러한 XR UX의 특수성을 고려한 여러 디자인 가이드라인이 제시되어 왔다. 예를 들어, 애플과 구글 등에서 AR 애플리케이션 디자인 가이드라인을 제정하여 앱의 안정성, 사용자 주의 집중, 현실 세계와의 조화 등을 강조한다. Microsoft의 혼합현실 UX 지침은 홀로렌즈 같은 디바이스에서 시야각(FOV), 깊이감, 제스처 인터랙션 등에 관한 권고안을 제공한다. 그러나 이런 가이드라인들은 개별 플랫폼(예: 홀로렌즈용 앱 디자인)에 국한되는 경우가 많다. 본 연구의 관심사인 크로스리얼리티 UX를 위한 종합적 원칙은 기존 가이드라인에는 명시적으로 다루어지지 않는다. 앞서 언급한 Cools 등의 연구에서 제시된 디자인 패턴들은 크로스리얼리티 UX의 포괄적 원칙으로 활용될 수 있다.¹¹⁾ 예를 들어 그 중 Display Continuity에 해당하는 패턴은 여러 디바이스 간에 화면 표시의 연속성을 유지하는 방법, Transition 패턴은 한 현실에서 다른 현실로 사용자가 이동할 때 부드럽게 연결해주는 인터랙션 등을 담고 있다. 이러한 패턴들은 결국 UX 일관성 유지와 밀접한 관련이 있다. 또한 Moldstad 등의 산업 리포트에서는 플랫폼 간 일관성 유지의 이점을 사용자 조사 통계를 제시하였다. 한 조사에 따르면 사용자의 74%가 자신이 이용하는 모든 기기에서 동일한 기능과 경험을 기대한다고 보고되었다. 그리고 플랫폼 간 일관성이 확

9) 조인숙 ‘일상에서 산업 현장으로... 영역을 넓히는 디지털 트윈과 메타버스’, 테크42, (2025.07.26.), tech42.co.kr/

10) Foundtech - ‘The AR and VR Revolution in Digital Twins’, Foundtech Blog, 2023, (2025.07.26.), foundtech.me/the-ar-and-vr-revolution-in-digital-twins/?lang=en

11) Robbe Cools et al. “From Display to Interaction: Design Patterns for Cross-Reality Systems,” IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2025.05, 31(5), pp.3129–3139

보되면 사용자 유지율이 높아지고 브랜드 충성도가 향상되며, 학습 곡선이 완만해져 신규 사용자 온보딩이 쉬워진다고 한다. 즉, UX의 관점에서 일관성(consistency)은 단순한 미적 통일성에 그치지 않고 비즈니스적 성공 요소와 직결된다.¹²⁾ 특히 기업 차원에서 여러 XR 솔루션을 제공할 때 일관된 디자인 시스템을 적용하면 개발 효율도 높아지고 유지보수 비용도 절감된다. 이러한 관점에서, 본 연구가 다루는 크로스리얼리티 UX 일관성 문제는 학술적 의미뿐만 아니라 실무적인 가치도 크다고 하겠다. 요약하면, XR UX 디자인에 관한 일반 원칙과 가이드라인은 다양하게 존재하지만, 다중 플랫폼에 걸친 통합 원칙은 상대적으로 부족하다. 사용자 관점에서 보면, AR/VR 같은 새로운 매체도 결국 사용자는 하나이므로, 그들이 느끼는 전체 경험을 하나의 사용자 여정(User Journey)으로 보고 설계해야 한다. 이에 따라 다음 장에서는 다양한 플랫폼을 넘나드는 UX에서 발생하는 구체적인 문제점들과 해결 과정을 논의한다.

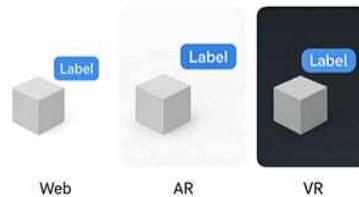
3. 크로스리얼리티 UX 디자인의 도전과제

3-1. AR, VR, 웹 플랫폼별 UX 특성 비교

디지털 트윈과 같은 시스템은 종종 멀티플랫폼 접근을 제공한다. 예를 들어 건물 관리 시스템이라면, PC 웹 인터페이스(대시보드), 스마트폰/태블릿 AR 앱, VR 시뮬레이션 프로그램 형태로 각각 제공될 수 있다. 이들 플랫폼은 입출력 디바이스부터 사용 맥락까지 상이하기 때문에 UX 설계시 고려사항도 다르다. 웹 플랫폼의 경우 주로 PC 모니터나 노트북 화면을 통해 마우스와 키보드 입력으로 사용한다. 2차원 GUI가 중심이 되며, 정보의 밀도가 높고 정밀한 컨트롤(예: 드롭다운, 데이터 테이블 등)이 가능하다. 사용자는 앉아서 비교적 차분한 환경에서 이용하는 경우가 많다. UX 디자인에서는 화면 레이아웃, 내비게이션 메뉴, 차트/그래프 시각화 등이 중요하다.

모바일 AR 플랫폼의 경우는 스마트폰이나 태블릿을 손에 들고 카메라를 통해 현실 세계 위에 가상 정보를 중첩하여 본다. 사용자는 이동 중이거나 현장 환경에 노출된 상태에서 AR 앱을 사용한다. 화면은 작고 세로형

일 때가 많으며, 한 손 조작이 일반적이다. UX 디자인에서는 카메라 뷰 상의 정보 배치, 사용자 시야를 가리지 않는 UI, 직관적인 제스처(터치 혹은 드래그) 등이 핵심이다. 또한 공간인식과 추적 기술이 뒷받침되어야 하므로 피드백 지연이나 트래킹 오류 시의 UX도 고려해야 한다. VR 플랫폼의 경우에는 머리에 HMD(Head-Mounted Display)를 쓰고 완전히 가상 세계에 몰입하여 경험한다. 3D 공간 UI와 양손 컨트롤러 또는 손짓 인식을 통해 상호작용하며, 청각적 요소(3D 사운드)도 UX의 중요한 부분이다. 사용자는 물리적으로 제자리에서 움직이거나 특정 컨트롤러 조작으로 가상 이동을 한다. UX 디자인에서 현실의 물리법칙과 유사한 상호작용 메타포(예: 물체 잡아서 움직이기), 멀미를 유발하지 않는 이동 방식, 시점 변화에 따른 UI 고정 또는 따라오는 방식 등을 고려해야 한다.



[그림 2] 웹, AR, VR 플랫폼에서 동일한 정보(Label)의 UI 표현 개념 비교

이처럼 세 플랫폼은 경험의 양상이 판이하다. [그림 2]는 동일한 "Label" 정보를 웹, AR, VR 세 환경에서 표현한 예시 스케치를 통해 플랫폼별 UI 차이를 개념적으로 보여준다. 웹에서는 2D 상에 고정된 레이블, AR에서는 현실 물체 위에 띄워진 레이블, VR에서는 가상 오브젝트 옆의 레이블 등이 될 수 있다. 각 플랫폼의 특성에 맞춰 표시 방식은 다르지만 색상과 형태 등의 시각적 디자인을 일관되게 적용하여 동일한 정보임을 인지할 수 있게 한다. AR의 경우 현실 배경 위에 가상 UI를 overlay하므로 대비와 가독성 문제가 있다. 명도 대비가 충분하지 않으면 햇빛 아래에서 글씨가 안 보일 수 있고, UI가 현실 객체와 겹치면 혼란이 발생한다. 따라서 AR UI는 종종 반투명 패널이나 윤곽선(outline)을 사용하여 배경과 구분하고, 사용자 시야 중심부보다는 가장자리나 특정 앵커 지점에 나타나도록 설계한다. 또한 사용자 움직임에 따라 UI의 안정성(stabilization)을 유지하는 것도 과제이다 (예: 사용자가 걸더라도 AR 태그가 대상물에 붙어서 흔들리지 않아야 함). VR의 경우 사용자가 완전히 가상 환경에 몰입하므로, UI 요소가 3D 공

12) Moldstud (Stanislav Moldovan), "Enhancing User Experience and Accessibility Through Cross-Platform Compatibility in VR and AR," MoldStud Blog, Aug. 2023.(2025.07.26.) URL: moldstud.com/articles/p-enhancing-vr-ar-user-experience-with-cross-platform-compatibility

간에 배치된다. 흔히 다이내믹 HUD(Head-up Display)나 손목 메뉴, 또는 주변 가상 환경의 일부로 UI를 통합 시키기도 한다. VR에서는 시선 추적이나 제스처 입력도 UX 요소가 될 수 있다. 예컨대 사용자가 어떤 객체를 일정 시간 응시하면 정보 톨팁이 뜨는 식의 gaze interaction 등이 가능하다. 하지만 VR에서는 사용자가 UI를 찾지 못하면 도움을 줄 현실 참고물이 없으므로 self-disclosure 방식으로 UI를 눈에 띄게 하거나 튜토리얼을 통해 학습시킬 필요가 있다. 웹은 전통적인 GUI 영역으로, 수십 년간 축적된 HCI 원칙(예: Nielsen의 휴리스틱 등)이 잘 확립되어 있다. 사용자들도 웹이나 모바일 앱의 기본 사용 패턴(클릭, 스크롤 등)에 익숙하다. 따라서 표준 웹 UX(상단에 내비게이션 바, 좌측에 메뉴 등)를 따르면 큰 무리는 없다. 하지만 AR/VR은 아직 표준화된 UI/UX 패턴이 완전히 정착되지 않았고, 많은 경우 새로운 메타포를 사용해야 한다.

3-2. 플랫폼 간 UX 일관성 확보의 중요성

위에서 살펴본 바와 같이 AR, VR, 웹 각 플랫폼 UX는 다르지만, 크로스리얼리티 UX 디자인의 핵심 질문은 “어떻게 이질적인 플랫폼들 간에 사용자 경험의 일관성(consistency)을 유지할 것인가”이다. 왜 일관성이 중요한가? 몇 가지 측면에서 그 필요성을 정리할 수 있다. 사용자 학습 측면으로 살펴 보면 만약 동일한 시스템이 플랫폼마다 완전히 다른 인터페이스를 가진다면, 사용자는 각각 별개의 시스템을 배우는 부담을 진다. 반대로 UI 요소, 아이콘, 용어 등이 일관되면 한 번 익힌 개념을 다른 플랫폼에서도 적용할 수 있어 학습 효율이 높아지고 실수 가능성은 줄어든다. 이는 인지 부하 감소와도 연결된다. 작업 흐름 측면에서는 크로스리얼리티 시나리오에서는 사용자가 작업 도중 플랫폼을 전환하는 경우가 많다. 예를 들어 건물 관리자가 PC에서 설비 이상 알람을 확인하고 현장에 나가 AR로 점검한 뒤, 필요하다면 VR 원격협의를 한다고 가정하자. 이 때 각 단계의 UI가 일관되지 않으면 작업 맥락 유지에 어려움이 발생한다. 일관된 UX는 작업 흐름이 끊기지 않고 원활하게 이어지도록 도와준다. 한 브랜드/서비스 정체성 측면에서 살펴 보면 기업이 제공하는 하나의 서비스가 여러 매체로 확장될 때, 일관된 디자인 아이덴티티를 유지하는 것은 브랜드 가치를 위해서도 중요하다. 사용자는 AR이든 웹이든 유사한 룩앤필(look & feel)을 느끼며 그 서비스를 인지하게 되고, 이는 브랜드 신뢰도로 이어진다. 예컨대 특정 기업의 서비스는 어떤 플랫폼에서 보더라도 로고, 색상, 그래픽 스타일이 통일되어 있다면

전문성과 신뢰를 준다. 개발 및 유지보수 측면에서는 UX 일관성을 염두에 두고 디자인하면, 디자인 시스템이나 컴포넌트 재사용이 촉진되어 개발 효율이 높아진다. 또한 변경사항이 생길 때 여러 플랫폼을 한꺼번에 고려하여 업데이트할 수 있어 일관성 있는 버전 관리가 가능하다. 이는 비용 절감과도 연결된다.¹³⁾ 그렇다면, 플랫폼 간 일관성을 높인다는 것은 구체적으로 무엇을 통일하는 것을 의미할까? 시각적 요소(Visual)와 상호작용 요소(Interaction)로 나누어 볼 수 있다. 시각적 요소에는 색상, 폰트, 아이콘, 레이아웃 스타일 등이 있다. Interaction 요소에는 조작 방법(예: 클릭 vs 탭 vs 컨트롤러 트리거)이 다르더라도 사용자 목적을 달성하는 상호작용 흐름이 유사하게 느껴지도록 하는 것이 포함된다. 가령 물체를 선택하여 정보보기라는 기능을 웹에서는 “리스트에서 항목 클릭”, AR에서는 “객체 터치”, VR에서는 “컨트롤러로 객체 가리키고 버튼 누름” 등으로 구현하더라도, 사용자 입장에서 “대상을 선택하면 상세정보가 표시된다”는 일관된 정신 모델을 갖게 하는 것이 중요하다. 물론 일관성(consistency)을 지나치게 강조한 나머지 각 플랫폼의 특성을 무시하면 안 된다. 예를 들어 웹 UI의 드롭다운 메뉴를 VR에서도 똑같이 2D 패널로 제공한다면 몰입감을 해칠 수 있다. 따라서 적절한 변용(variation)이 필요하다. 핵심은 내재된 의미와 기능의 일관성을 유지하되, 표현 방식은 플랫폼 특성에 맞게 조정하는 것이다. 이를 일관성의 유연성(flexible consistency)라고 부를 수 있다. 앞서 배경 연구에서 살펴본 김용학의 원칙으로 말하자면, 의미적 연결성을 유지하면서 방식적 고유성을 반영하는 것이 이상적이다.¹⁴⁾ 이는 결국 사용자가 여러 환경에서 익숙함과 동시에 최적화된 경험을 함께 느끼도록 하는 것이다.

3-3. 사용자 경험 단절의 위험성과 해결 필요성

만약 UX 일관성이 확보되지 않은 크로스리얼리티 시스템을 사용하게 된다면 어떤 문제가 생길까? 예시 시나리오로 그 위험성을 살펴본다. 한 스마트시티 관리 플랫폼이 있다고 가정해보자. 이 플랫폼은 데스크톱 웹 대시보드와 현장용 AR 앱, 그리고 상황 훈련을 위한

13) Moldstud (Stanislav Moldovan), “Enhancing User Experience and Accessibility Through Cross-Platform Compatibility in VR and AR,” MoldStud Blog, Aug. 2023.(2025.07.26.) URL: moldstud.com/articles/p-enhancing-vr-ar-user-experience-with-cross-platform-compatibility

14) 김용학 ‘확장현실(XR)을 위한 공간 디자인 방법론 연구,’ 기초조형학연구, 2024.10, 25(5), pp.139-151

VR 시뮬레이터를 제공한다. 그러나 초기 설계 시 플랫폼별로 다른 팀이 UX를 만들었고 서로 통일하지 못했다. 그 결과 사용자 A(시 공무원)는 다음과 같은 경험을 하게 된다.

1) 오전에 사무실에서 웹 대시보드를 볼 때: 교통량 모니터링 메뉴를 찾기 어려움. (웹 메뉴 구조와 용어가 AR 앱과 다름)

2) 도로 현장에 나가서는 AR 앱 사용: 평소 웹에서 보던 교통 센서 위치를 AR 뷰에서 찾기 못해 당황. (웹 지도상의 아이콘 디자인과 AR에 뜨는 3D 마커 디자인이 달라서 동일 센서임을 알아차리지 못함)

3) VR 기반 재난 훈련 세션: AR/웹에서는 경보가 빨간색 원형 아이콘으로 표시되었는데 VR 시뮬레이션에서는 경보 알림이 다른 모양과 색으로 나타나 혼동. 또한 조작법(예: 시점 이동)이 완전히 달라 초기에 시행착오를 겪음.

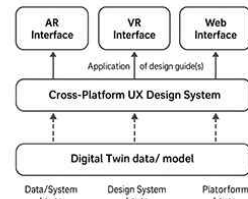
이러한 사용자 경험의 단절은 효율 저하와 실수로 이어질 수 있다. 특히 긴급한 상황에서는 시스템에 대한 혼란이 곧 대응 지연으로 직결되어 위험성을 높인다. 따라서 공공 안전, 산업 제어 등 미션 크리티컬한 XR 시스템일수록 UX 일관성이 더욱 중요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해선 조직 차원에서 UX 거버넌스를 도입할 필요도 있다. 예를 들어, 모든 플랫폼에서 공통으로 사용할 디자인 시스템 가이드(색상, 아이콘, 용어집 등)를 마련하고, 초기 설계 단계에서부터 크로스플랫폼 UX를 검토하도록 프로세스를 구축해야 한다. 또한 실제 사용자 테스트를 할 때도 한 플랫폼만 쓰는 것이 아니라 시나리오 기반으로 여러 플랫폼을 순차적으로 사용하는 테스트를 수행하여, 전환 시 불편이나 혼란이 없는지 피드백을 받아야 한다. 결국 크로스리얼리티 UX 디자인의 가장 큰 도전은 다양성 속의 통일성이라 할 수 있다. 이 도전과제를 체계적으로 해결하고자, 다음 장에서 본 연구는 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크를 제안한다. 이 프레임워크는 앞서 논의한 원칙들과 전략을 종합적으로 엮어, 실무에서 적용할 수 있는 일련의 절차와 디자인 요소 체크리스트를 제공한다.

4. 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크 제안

4-1. 프레임워크 개요 및 설계 철학

본 장에서는 AR/VR 기반 디지털 트윈과 같이 다중 플랫폼을 포괄하는 시스템의 UX를 일관되게 설계하기

위한 프레임워크를 제안한다. 이 프레임워크의 설계 철학은 “중심은 하나, 표현은 다양하게”로 요약된다. 여기서 “중심”이란 사용자 경험의 핵심 개념과 데이터이며, “표현의 다양성”이란 각 플랫폼 특성에 맞는 구현을 의미한다. 프레임워크는 데이터/시스템 레이어, 디자인 시스템 레이어 그리고 플랫폼 UI 레이어로 세 가지 주요 계층(layer)으로 구성된다.



[그림 3] 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크 개략도

[그림 3]은 이러한 계층 구조와 각 요소의 관계를 도식화한 것이다. 중앙에 디지털 트윈의 데이터/모델이 있고, 이를 기반으로 상위에 크로스플랫폼 UX 디자인 시스템 레이어가 존재하며, 그 위에서 AR 인터페이스, VR 인터페이스, 웹 인터페이스가 각각 구현된다. 실선 화살표는 디자인 가이드의 적용을, 점선 화살표는 데이터 흐름을 나타낸다.

1) 데이터/시스템 레이어: 디지털 트윈의 핵심인 공통 데이터 모델과 비즈니스 로직이 있는 영역이다. 예를 들어 건물의 3D 모델, 실시간 센서 데이터, 분석 알고리즘 등이 여기 해당한다. 이 레이어는 플랫폼에 독립적이며, 모든 플랫폼이 접근하는 싱글 소스(single source of truth) 역할을 한다. 크로스리얼리티 UX에서는 이 공통 데이터가 각 플랫폼에 일관되게 표시되도록 해야 한다.

2) 디자인 시스템 레이어: 본 프레임워크의 핵심 개념이다. 여러 플랫폼에서 공통으로 적용될 디자인 원칙과 컴포넌트들을 정의한다. 색상 팔레트, 타이포그래피, 아이콘 세트, 공통 UI 패턴, 용어 등이 포함된다. 이 레이어는 일종의 추상화된 UX 가이드라인으로서, 하위의 데이터가 상위 플랫폼 UI로 표현될 때 일관성을 보장하는 접착제 역할을 한다. 예를 들어 “센서 경보”라는 정보는 디자인 시스템 상에서 “빨간색 원형 아이콘 + 깜박임 애니메이션 + ‘경보’ 텍스트 레이블”로 정의될 수 있다. 그러면 AR 앱에서는 3D 공간에 빨간 원 아이콘이 뜨고, VR에서는 가상 패널에 같은 모양의 아

이콘이 나타나며, 웹에서는 화면 구석에 동일한 아이콘이 점멸하는 식으로 구현되더라도 사용자는 동일한 종류의 경보음을 즉각 인지하게 된다.

3) 플랫폼 UI 레이아웃: AR, VR, Web 각각의 구체적인 UI 구현을 말한다. 여기서는 각 플랫폼의 상호작용 방식에 맞춰 구현적 변형이 이루어진다. AR에서는 터치 UI와 3D 앵커 등이 쓰이고, VR에서는 3D 메뉴와 컨트롤러 인터랙션, 웹은 2D GUI 위젯들로 표현된다. 중요한 것은 디자인 시스템 레이어에서 정의된 원칙을 준수하는 것이다. 플랫폼별 UI 개발자는 디자인 시스템이 제공하는 가이드 (예: UI 스타일가이드, 공통 라이브러리)를 따라 구체적인 화면을 구성한다.

이 프레임워크에서 디자인 시스템 레이어가 사실상의 허브(hub) 역할을 한다. 이는 Cools 등이 지적한 “크로스리얼리티용 통합 디자인 프레임워크의 부재” 문제에 대한 한 해법이 될 수 있다². 각 플랫폼이 별개로 설계되는 대신, 한 단계 위에 공통 디자인 층위를 둬으로써 디자인 결정이 일관되게 내려진다. 개발 프로세스 상으로는, UX 디자이너들이 먼저 이 디자인 시스템을 정의/합의하고, 이후 플랫폼 개발 팀에게 공유하여 구현하는 형태로 진행될 수 있다. 설계 철학 측면에서, 본 프레임워크는 앞서 언급한 의미적 연결성과 방식적 고유성을 동시에 달성하고자 한다. 의미적 연결성은 디자인 시스템 레이어를 통해 확보되고, 방식적 고유성은 플랫폼 UI 레이어에서 구현된다. 이렇게 함으로써 일관성과 최적화의 균형을 잡는다. 다음 절들에서는 프레임워크의 주요 구성 요소별로 구체적인 디자인 전략과 가이드라인을 제시한다: 시각디자인 일관성 전략(4.2), 인터랙션 디자인 매핑 전략(4.3), 맥락 기반 적응 전략(4.4), 그리고 이를 운영하기 위한 통합 디자인 시스템 구축 방안(4.5)이다.

4-2. 시각디자인 일관성 전략 (Visual Consistency)

시각디자인 일관성(Visual Consistency)은 여러 플랫폼에 걸쳐 일관된 시각적 언어(Visual Language)를 유지하는 것을 의미한다. 이를 위한 구체적인 전략은 다음과 같다.

공통 색상 팔레트와 UI 스타일: 디자인 시스템에서 주색(Main color), 보조색, 강조색 등을 정의하고 AR/VR/Web 모든 UI에 적용한다. 예를 들어, 기업 브랜드 컬러가 파란색이면 AR의 가상 UI 엘리먼트, VR의 메뉴, 웹의 버튼 등 모두 동일한 계열의 파란색을 사용하여 브랜드 정체성을 나타낸다. 경보나 오류는 모

든 플랫폼에서 동일한 빨간색, 성공 완료 상태는 녹색 등 의미에 따른 색상코드 일치도 중요하다.

아이콘과 심볼의 통일: 가능하면 하나의 아이콘 세트를 만들어 모든 플랫폼에서 재사용한다. 현실적으로 AR이나 VR에서는 아이콘을 3D 모델로 만들어 띄울 수도 있고, 웹에선 2D 벡터아이콘이지만, 모양은 같게 한다. 예컨대 센서 장치를 나타내는 아이콘으로 안테나 모양 심볼을 쓰기로 했다면, AR의 3D 마커로도 그 안테나 아이콘을 표시하고, 웹 지도에도 같은 심볼을 사용한다. 이를 통해 사용자는 아이콘만 보고도 동일 개념임을 인지한다.

타이포그래피와 레이아웃: 폰트는 플랫폼별 가용 폰트에 차이가 있을 수 있으나, 최대한 유사한 느낌의 서체를 선택한다. 또한 텍스트 레이블 문구 역시 통일한다. 예를 들어 AR 앱에서 “온도”라고 표시된 센서값이 웹에서는 “Temperature”로 영어로 나온다면 일관성이 떨어진다. 언어도 통일하고 단위 표기 등도 동일하게 맞춘다. 다만 VR의 경우 가독성을 위해 웹보다 글자 크기를 크게 한다거나 두껍게 표시할 수는 있지만, 표현의 뉘앙스는 유지해야 한다.

레이아웃 원칙: 2D 웹과 3D AR/VR의 레이아웃은 직접 비교하기 어렵지만, 정보 구조의 유사성을 유지할 수 있다. 예컨대 웹 대시보드에서 왼쪽에 메뉴, 오른쪽에 세부 내용이 나온다면, VR에서도 왼손 컨트롤러 메뉴 - 오른편에 콘텐츠 창 등의 구성으로 사용자가 정보 배치의 논리를 비슷하게 느끼게 설계한다. AR에서는 화면 가장자리에 주요 UI를 두고 중앙은 카메라뷰를 노출시키는 등 AR에 특화된 레이아웃이 있겠지만, 중요 정보의 우선순위나 그룹화는 웹/VR과 일치시키는 것이 좋다.

일러스트 및 그래픽 자산: 만약 튜토리얼 이미지나 안내 그래픽 등이 있다면 동일한 아트워크를 재활용하거나, 최소한 스타일을 맞춘다. 예를 들어 안내용 캐릭터가 있다면 웹, AR, VR 어디에서나 동일 캐릭터가 등장하게 한다 (VR에서는 3D 캐릭터, 웹에선 2D 이미지 등 매체에 맞게 표현되되 동일 인물로 인식되도록).

이러한 시각적 일관성 전략을 실행하기 위해서는 디자인 시스템 도구의 활용이 도움이 된다. 예를 들어 디자인 시스템을 정의한 스케치/피그마(Figma) 파일을 만들어 거기에 공통 컴포넌트를 다 정의해놓고, 각 플랫폼 UI를 디자인할 때 복사하여 쓰도록 한다. 개발 단계에서도 Style Guide 문서를 만들어 색상코드, 아이콘 SVG, 폰트 등 자원을 공유한다. 결과적으로 시각디

자인의 통일은 사용자에게 예측가능성(Predictability)을 제공한다. 한 플랫폼에서 빨간 경고등 아이콘을 봤다면, 다른 플랫폼에서도 무의식적으로 그 모양/색을 찾게 되는데, 일치하면 즉시 알아채지만 그렇지 않으면 인지부조화가 생긴다. Moldstud 보고서에서 언급된 바와 같이, 플랫폼 간 시각적 일관성은 사용자 만족과 충성도를 높이는 데 기여한다.¹⁵⁾ 특히 브랜드 이미지와 연결된 비일수록 중요하다. 한편, 시각디자인의 일관성을 강제할 경우 플랫폼별 접근성(Accessibility) 이슈가 생길 수 있다. 예를 들어 VR에서는 너무 밝은 흰색 비가 사용자를 피로하게 할 수 있고, 웹에선 잘 보이지 않던 파스텔톤이 AR의 야외 환경에서는 안 보일 수도 있다. 따라서 상황에 따른 조정 여지를 남겨둬야 한다. 본 연구 프레임워크에서는 디자인 시스템 레이어에 그런 상황별 가이드도 포함시킬 것을 권장한다. 예컨대 “AR 모드에서는 주색상의 투명도를 높여 대비 향상” 같은 가이드를 미리 정의해 두는 것이다.

4-3. 인터랙션 디자인 매핑 전략 (Interaction Mapping)

인터랙션 디자인 매핑이란, 동일한 사용자 목표를 달성하기 위한 상호작용 흐름을 각 플랫폼에 맞게 대응시키면서도 개념적으로 통일하는 전략이다. 쉽게 말해, “어떤 기능을 쓰려면 어떤 행동을 해야 한다”를 플랫폼마다 다르지만 동일한 논리로 통일하는 것이다.

구체적인 방법론은 다음과 같다.

1) 사용자 시나리오 도출 및 단계 분석: 먼저 사용자 관점에서 크로스리얼리티 시나리오를 서술한다. 예: “센서 경고 확인 -> 현장에 가서 상세 점검 -> 보고서 작성” 등의 큰 흐름을 그리고, 이것이 플랫폼 전환과 어떻게 연결되는지 파악한다. 각 단계에서 사용자 목표(goal)가 무엇인지 정의한다. 그런 다음, 목표를 달성하기 위한 액션 시퀀스(action sequence)를 플랫폼별로 기술한다. 이 때 액션 시퀀스 간의 유사성과 차이를 표로 정리하면 유용하다.

-웹: “경보 리스트에서 아이템 클릭 -> 팝업으로 상세 표시”

-AR: “AR 화면에서 센서 아이콘 탭 -> HUD에 상

세 오버레이”

-VR: “컨트롤러로 센서 오브젝트 가리킴 -> 트리거 버튼 클릭 -> 3D 패널에 상세 표시”

이렇게 나열하면, 모두 “어떤 대상을 선택하여 정보를 표시”한다는 공통점을 추출할 수 있다. 이를 추상화된 인터랙션으로 정의하면 “대상 선택 -> 상세 표시”가 된다. 이 추상화 수준에서 사용자 경험이 일치해야 한다.

2) 공통 인터랙션 패턴 정의: 위의 추상화된 상호작용을 디자인 패턴으로 정의한다. 예: “선택(interact) - 표시(display)” 패턴. 디자인 시스템 레이어에 이러한 패턴에 대한 공통 원칙을 담는다. 예컨대 이 패턴에서는 사용자가 선택했음을 피드백 주기(선택된 대상은 강조 표시) 그리고 일정 시간 내 표시가 나타나야 하는 등의 규칙을 정한다. 이러한 규칙은 플랫폼에 상관없이 유지된다. 또한 단축키 또는 제스처의 유비성도 고려한다. 예를 들어 웹에서 키보드 ‘Esc’로 메뉴를 닫는다면, VR에서는 B버튼, AR에서는 두 손가락 탭 등 각각 환경에 맞지만 “취소/뒤로”라는 같은 의미로 작동하는 입력을 정해둘 수 있다. 사용자 교육 자료에도 이들을 같은 군으로 설명하면 일관된 정신 모델을 심어줄 수 있다.

3) 플랫폼별 상호작용 차이 해소: 어떤 기능은 플랫폼 간 인터랙션 매핑이 애매할 수 있다. 예컨대 AR에서는 GPS 위치 기반으로 자동으로 주변 정보를 띄워 주지만, 웹에서는 수동으로 지도를 탐색해야 할 수 있다. 이럴 때는 플로우의 등가성(equivalency)을 맞추는 것이 중요하다. AR의 “자동 표시”는 웹의 “사용자가 지점 클릭”과 결과적으로 같은 효과(정보 획득)를 준다면, 사용자가 그 차이를 이해할 수 있도록 UX를 설계한다. AR 앱 처음 사용할 때 튜토리얼로 “현장에 오시면 근처 센서 정보를 자동으로 볼 수 있습니다(웹에선 수동 조회했던 것을)”라고 알려주거나, 웹에서는 “현장 AR로 보기” 버튼을 두어 AR 앱으로 전환을 유도하는 등 전환 인터페이스를 제공한다.

4) 피드백과 피드포워드: 일관된 인터랙션 경험을 위해 피드백(feedback)도 통일한다. 예를 들어 사용자가 어떤 조작을 했을 때 세 플랫폼 모두에서 통일된 성공 소리나 애니메이션 등을 줄 수 있다. AR에서는 짧은 진동이나 소리, VR에서는 컨트롤러 햅틱 피드백, 웹에서는 UI 깜빡임 등으로 구현은 다르나, 사용자에게 “성공적으로 처리되었다”는 느낌을 주는 방식은 동일한 맥락이어야 한다. 또한 피드포워드(feedforward), 즉 다음에 할 수 있는 조치에 대한 안내도 일관되게 설계한다. 예컨대 AR에서 버튼 위에 “길 안내” 툴팁이 뜨

15) Moldstud (Stanislav Moldovan), “Enhancing User Experience and Accessibility Through Cross-Platform Compatibility in VR and AR,” MoldStud Blog, Aug. 2023. (접속 2025.07.26.)
URL: moldstud.com/articles/p-enhancing-vr-ar-user-experience-with-cross-platform-compatibility

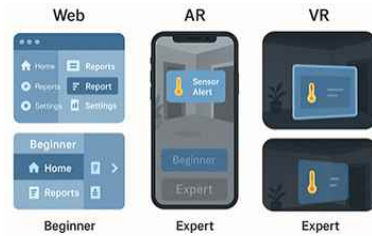
면, 웹에서도 동일한 기능 버튼에 같은 용어의 톨팁을 준다.

인터랙션 매핑 전략은 사용자가 플랫폼을 넘나들 때 생각의 전이를 부드럽게 해준다. 사람은 한 번 익힌 조작 패턴을 유사한 상황에서 적용하려는 경향(transfer of learning)이 있기 때문에, 크로스리얼리티 디자인에서 유사 패턴의 재사용은 사용자 만족도를 높인다. 예를 들어, “끌어서 놓기(Drag & Drop)”라는 개념을 웹에서 썼다면, AR이나 VR에서도 유사한 개념을 적용할 수 있다. VR에서는 물체를 잡아서 놓는 동작이 직접적 Drag&Drop이 될 것이고, AR에서는 터치 드래그가 이에 해당될 수 있다. 이렇게 하면 사용자는 “아, 여기서도 잡아서 옮기면 되는구나”라고 직관적으로 받아들인다. 만약 전혀 다른 방식(AR에서는 메뉴에서 이동 선택, VR에서는 레이저 포인터로 좌표 지정 등)으로 설계하면 각각 배우는 데 시간이 걸린다. 마지막으로, 사용자 피드백 수렴을 통해 인터랙션 매핑이 잘 되었는지 검증해야 한다. 실제 사용자를 대상으로 여러 플랫폼을 이어서 사용하게 한 후 혼동 지점을 관찰한다. 만약 “A 플랫폼에서는 이렇게 하는데 B 플랫폼에서는 어떻게 하는지 모르겠다”라는 피드백이 있다면, 그 부분이 매핑이 제대로 안 된 부분이다. 이를 보완하여 디자인 시스템에 반영하고 전 플랫폼에 수정 적용한다. 인터랙션 디자인 매핑은 크로스리얼리티 UX의 사용성(usability)을 담보하는 핵심이다. 일관된 시각디자인이 겉모습의 통일이라면, 인터랙션 일관성은 행동 원리의 통일이라 할 수 있다. 두 축이 함께 맞춰질 때 비로소 완전한 UX 일관성을 경험하게 된다.

4-4. 맥락 기반 적응형 UX 전략 (Contextual Adaptation)

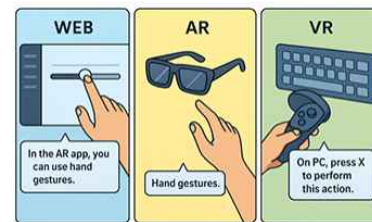
세 번째 전략으로 맥락 기반 적응(Contextual Adaptation)을 들 수 있다. 이는 직역하면 “문맥에 따른 UX 조정”인데, 크로스리얼리티 환경에서는 사용 상황에 따라 똑같은 정보라도 표현이나 인터랙션 강도를 조절할 필요가 있다. 일관성을 유지하되, 상황에 최적화하는 것이다. 구체적인 방안은 다음과 같다. 환경 맥락에 따른 가시성 조절부분에서 보면 AR은 실외/실내 여부, 조명 등에 따라 UI 가시성을 동적으로 바꿀 수 있다. 예컨대 밝은 야외에서는 UI 요소를 자동으로 더 진하게 표시하거나 글자 크기를 키우는 적응을 한다. VR에서는 사용자 숙련도에 따라 초보 모드일 땐 튜토리얼 힌트를 더 많이 보여주고, 숙련되면 미니멀 UI로 바꿀 수 있다. 이러한 적응형 UI는 사전에 시나리오별

로 정의하고 디자인 시스템에 포함시켜야 한다.



[그림 4] 환경 맥락에 따른 가시성 조절

이러면 “초심자 모드에서는 각 아이콘에 라벨 텍스트 표시, 숙련자 모드에서는 아이콘만 표시” 같은 규칙이다. 이 역시 세 플랫폼에 통일되게 적용되어야 혼란이 없다. (AR 앱과 VR 앱이 모두 초심자일 땐 보조 라벨을 꺼두고, 둘 다 숙련자 설정일 땐 끄는 식)



[그림 5] 바이스 특성에 따른 제스처/입력 대체

어떤 플랫폼에서는 불가능한 상호작용이 있다. (예: 웹에서는 3D 손짓이 불가능하고, VR에서는 키보드 타이핑이 어려움. 이럴 때 동등한 대안(equivalent alternative)을 제공해야 한다.) VR에서 가상 키보드를 띄워 타이핑 대신 음성 입력 기능을 제공하거나, 웹에서는 AR에서 쓰는 복잡한 3D 조작을 슬라이더 UI 등으로 단순화하는 등의 대응이 필요하다. 이러한 대체 수단은 사용자 안내를 통해 연결지어준다. 예를 들어, 웹에서 “현재에서는 AR 글라스를 착용하고 손짓으로 이 동작을 할 수 있습니다”라는 튜토리얼 팁을 넣거나, VR에서 “PC 버전에서는 X 버튼을 눌러 같은 작업을 수행합니다”라는 안내를 넣어 지식의 전이를 도와준다. 사용자가 플랫폼을 전환하는 이유는 그 시점의 필요 때문이다. 예컨대 웹으로는 상세 데이터 분석을 하지만, AR로는 빠른 현장 시각화를 한다. 따라서 각 플랫폼에서 우선 보여줘야 할 정보의 강조도가 달라질 수

있다. 디지털 트윈의 방대한 데이터 중 웹 대시보드에서는 차트와 수치를 전면에 내세우고, AR에서는 현재 눈앞 장비와 관련된 몇 가지만 간략히 보여줄 수 있다. 이 경우 정보 계층 구조는 다르지만, 사용자가 요구하면 추가 정보를 볼 수 있는 경로는 열어둔다. AR에서도 “상세 보기” 버튼을 누르면 모바일 화면에 표나 그래프로 확장해준다거나, VR에서도 메뉴를 열면 웹 수준의 상세 데이터를 볼 수 있게 한다. 즉, 기본은 간소화, 요청 시 확장 패턴으로 일관성을 유지한다. 이 역시 디자인 시스템 차원에서 “기본/상세 모드” 개념을 정의해두고 플랫폼별로 구현한다. 크로스리얼리티 환경에서는 한 플랫폼에서 일어난 조작이 다른 플랫폼에도 영향을 줄 수 있다. 예를 들어 AR에서 센서 알람을 Acknowledge 처리하면, 웹 대시보드에서도 그 알람이 사라져야 한다. 이러한 상태 동기화는 기본적으로 백엔드 데이터 레이어에서 보장해야 하지만, UX 측면에서도 고려해야 할 부분이 있다. 예컨대 웹에서 누군가가 센서 이름을 바꾸면, AR에서 그 새 이름을 사용자가 금방 알아차릴 수 있도록 UI에 변경 힌트나 갱신 알람을 준다. 다중사용자/다중플랫폼 시스템에서는 이러한 협업 컨텍스트도 UX 맥락에 포함된다. 따라서 디자인 시스템에는 “데이터 변경 알림 UX”에 대한 원칙(예: 변경 부분을 하이라이트해주기 등)을 포함시키고, 모든 플랫폼에 구현한다. 맥락 기반 적응 전략은 얼핏 보면 일관성과 반대되는 개념처럼 느껴질 수 있으나, 적절히 설계하면 사용자에게는 모순 없이 받아들여지는 일관성이 된다.



[그림6] 실시간 상호 업데이트

핵심은 사용자 기대에 부응하는 변화는 허용하되, 예측 불가능한 차이는 없게 하는 것이다. 예를 들어, 사용자는 모바일 AR이 화면이 작으니 정보를 축약할 거라고 예상하거나, VR이 몰입적이라 UI가 최소화될 거라고 어렵듯이 기대할 수 있다. 이러한 기대에 맞게 설계한다면 그것은 일관된 경험으로 받아들인다. 하지만 전혀 예상 못 한 UI 요소가 나오거나, 없는 기능이 있

거나 하면 당황하게 된다. 따라서 사용자의 정신 모델을 연구하여 어떤 맥락 변화를 자연스럽게 여기는지 파악하는 것도 중요하다. 요약하면, 맥락 기반 적응형 UX 전략은 일관성을 유지하는 범위 내에서의 유연한 최적화라고 할 수 있다. 이로써 각 플랫폼이 가진 제약을 극복하고 최고의 경험을 제공하면서도, 전체적인 사용자 여정의 흐름은 매끄럽게 이어질 수 있다.

4-5. 통합 디자인 시스템 구축 방안

앞선 전략들을 구현하려면, 결국 디자인 시스템의 수립과 운영이 필수적이다. 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크의 중추로 기능하는 디자인 시스템을 어떻게 구축하고 유지할 것인지에 대한 방안을 제시한다.

다분야 팀 협업으로 디자인 원칙 수립: AR/VR 디자인에 익숙한 디자이너, 웹 UX 디자이너, 개발자 대표, 도메인 전문가 등이 함께 워크숍을 열어 공통 UX 원칙을 도출한다. 이 때 본 연구에서 제안한 내용(시각 요소, 인터랙션 패턴 등)을 체크리스트로 활용할 수 있다. 주요 시나리오를 돌면서 어떤 일관성이 필요한지 논의하고, 갈등 지점은 토론하여 원칙을 결정한다. 예를 들어 “경보는 모든 플랫폼에서 즉시 보여준다”라든지 “모바일 AR은 운용 중 복잡한 텍스트 입력을 요구하지 않는다” 같은 합의들을 만든다.

스타일 가이드 및 컴포넌트 라이브러리 작성: 합의된 내용을 바탕으로 스타일 가이드 문서와 UI 컴포넌트 라이브러리를 작성한다. 예컨대 색상/폰트/아이콘 스펙, 패딩/여백 등 UI 그리드 시스템, 버튼/카드/창 등의 컴포넌트 디자인 등이 포함된다. 툴은 스케치, 피그마, Adobe XD 등을 활용하여 디자인 템플릿으로 만든다. 이 때 각 컴포넌트의 플랫폼별 변형이 있다면 한 눈에 비교 가능하게 정리한다. (예: “Dialog Modal - Web: 중앙 팝업, VR: 시야 고정 패널, AR: 하단 슬라이드패널”).

프로토타입을 통해 검증: 완성된 디자인 시스템을 기반으로 크로스리얼리티 프로토타입을 만들어 본다. 적어도 UX 플로우 상의 핵심 경로(예: 알람 확인 -> 현장점검 -> 보고)에 대해 웹, AR, VR 프로토타입을 각각 혹은 연동하여 구현한다. 이 과정에서 디자인 시스템에 미비한 점이나 과도하게 경직된 부분을 발견하여 수정한다. 사용자 테스트도 이 단계에서 수행하여 피드백을 반영한다.

개발 연동: 디자인 시스템을 개발자와 공유하여 구현 단계에서 활용하도록 한다. 이때 플랫폼별 개발 프

레이아웃 (예: 웹 - React, AR - Unity & AR Foundation, VR - Unity 등)에 맞춘 UI 컴포넌트 코드 혹은 스타일시트를 제공하면 일관성 구현이 수월해진다. 예를 들어 CSS 변수로 색상과 크기를 정의해 두고 웹엔 그대로, Unity엔 값을 참조하여 머티리얼을 생성하는 식이다. 또한 디자인 시스템 문서화는 개발 문서와 연결시켜, 새 디자이너/개발자 투입 시에도 쉽게 참조할 수 있게 한다.

버전 관리 및 업데이트: XR 기술과 사용자 요구는 변화하기 때문에 디자인 시스템도 지속적으로 업데이트되어야 한다. 이를 위해 디자인 시스템 오너(주로 UX Lead)와 협의 체계를 갖춰, 필요한 개정 사항이 있을 경우 제안 -> 검토 -> 확정 -> 배포의 과정을 거치게 한다. 특히 한 플랫폼에서 개선된 UX 아이디어가 나오면 다른 플랫폼에도 확산할지 검토하여, 필요하면 디자인 시스템에 반영한다. 예를 들어 웹 UI에서 사용자 편의를 위한 새로운 필터 기능이 추가되었다면 AR/VR에서는 어떻게 반영할지 함께 논의하여 전체 시스템 차원에서 일관성을 유지한다.

교육 및 가이드: 디자인 시스템을 모든 팀원과 이해관계자들이 잘 이해하도록 교육 세션이나 가이드 문서를 제공한다. 새로운 프로젝트나 신규 입사자에게도 크로스리얼리티 UX 원칙을 숙지시키는 것이 품질 유지에 중요하다. 특히 외주 업체나 협력사가 있다면 이 가이드를 공유하여 출력물의 일관성을 확보한다.

통합 디자인 시스템의 구축과 활용은 결국 표준화와 같다. 김용학³⁾의 연구에서도 공간디자인과 UX디자인의 융합 방법론을 제시하며 프로세스 단계별 체크리스트와 프로토타입 테스트 기준을 제안했는데, 이러한 접근이 디자인 시스템과 맥을 같이 한다.¹⁶⁾

본 연구가 제안하는 프레임워크도 궁극적으로는 XR UX 디자인의 표준화를 지향하며, 디자인 시스템은 그 구현 수단이라고 할 수 있다. 이러한 표준화된 접근은 앞서 강조한 카피킬러 표절을 문제도 자연히 해결해줄 수 있다. 왜냐하면 하나의 통일된 디자인 언어 하에서 제작된 콘텐츠들은 서로 유기적으로 닮아있어도 의도된 표준이지, 표절의 문제가 아니기 때문이다. 오히려 통일성이 품질로 인정받게 된다.

5. 프레임워크 적용 사례: 건축 디지털 트윈

이 장에서는 제안된 프레임워크를 가상의 사례에 적용하여 어떻게 구현될 수 있는지 구체적으로 설명한다. 사례로 선택한 도메인은 건축 구조물 관리이며, 시나리오와 다음과 같다.

- 대상 시스템: 스마트 빌딩 관리 디지털 트윈 - 한 스마트 빌딩의 에너지, 설비, 보안 등을 모니터링하고 제어하는 시스템.
- 사용 플랫폼: ① 웹 대시보드 (건물 종합현황 모니터링용), ② AR 모바일 앱 (현장에서 설비 점검용), ③ VR 훈련 시뮬레이터 (비상 상황 대응 훈련용).
- 사용자 역할: 시설 관리자 (웹과 AR 주사용), 안전 담당자 (AR 사용), 교육 담당자 (VR 사용), 경영진 (웹 리포트 참조).

5-1. 사례 개요 및 시나리오

아침에 시설 관리자인 김 관리자는 사무실에서 빌딩 디지털 트윈 웹 대시보드를 확인한다. 웹 화면에는 건물 층별 온도, 습도, 공기질, 전력 소비 등의 실시간 데이터가 차트와 아이콘으로 표시된다. 일관된 시각디자인 원칙에 따라, 경보 상태인 항목은 빨간색 경고 아이콘이 깜박이고 있다. 김 관리자는 5층 냉방 설비에 경고 아이콘이 뜬 것을 보고 클릭한다 (웹에서 경보 상세보기 동작). 팝업으로 상세 정보가 뜨는데, “5층 AHU-3 장치 온도 이상 상승” 경보가 새벽부터 3건 발생했음을 확인했다. 김 관리자는 즉시 현장 점검을 위해 5층으로 이동한다. 현장에 도착한 그는 AR 앱을 스마트폰으로 실행한다. 카메라를 통해 5층 기계실을 비추자, 실제 AHU-3 장비 위에 빨간색 경고 아이콘이 3D로 떠있다. 이 아이콘은 웹에서 본 것과 동일한 모양의 아이콘으로, 크기와 표현만 3D로 바뀌었을 뿐이다 (시각적 일관성 적용). 김 관리자는 그 아이콘을 탭한다 (AR에서 경보 상세보기 동작 - 앞서 웹에서 클릭한 것과 개념적으로 동일). 그러자 AR 화면 상에 해당 장비의 디지털 트윈 정보가 팝업으로 뜬다. AR UI 팝업은 반투명 패널로, 장비 이름 “AHU-3”, 온도: 85°C (평소 60°C), 진동 수치: 정상 범위, 최근 정비일: 2023-07-15 등의 정보가 표시된다. 웹에서 보던 값들이지만 AR에서는 가장 필요한 온도 값과 경보 내용만 간략히 나오고 나머지는 접혀있다 (맥락 적응 - 현장에서는 핵심 정보 위주). 김 관리자는 현장에서 장비를 살펴보니 실제로 약간 열이 나는 것 같다. 그는 AR 앱

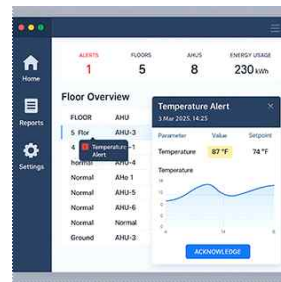
16) 김용학 ‘확장현실(XR)을 위한 공간 디자인 방법론 연구,’ 기초조형학연구, 2024.10, 25(5), pp.139-151

의 “추가 정보 보기” 버튼을 눌러 더 상세한 데이터를 본다. 이때 AR 앱은 웹 대시보드 스타일의 상세 패널을 열어 과거 일주일치 온도 추이 그래프를 보여준다. 이 그래프는 웹에서 보던 것과 동일한 디자인으로 렌더링되어 있어 익숙하다. 김 관리자는 임시로 장비를 리셋해야겠다고 판단하고, AR 앱의 “원격 재시작” 기능을 사용한다. 이 기능은 AR 화면에서 기계 모델 옆의 전원 아이콘을 누르면 동작한다. 이 아이콘 역시 웹 대시보드의 기계제어 패널에 있던 전원 아이콘과 동일한 모양(녹색 동그라미에 전원 심볼)이다. 그는 아이콘을 누르고 “재시작하시겠습니까?” 확인 다이얼로그를 본 뒤 확인한다. 장비가 재시작되고 온도가 점차 떨어지는 것을 확인했다. 이후 김 관리자는 사무실로 돌아와, 이번 사건에 대한 리포트 작성을 위해 웹 대시보드의 리포트 모듈을 연다. 자동으로 AR 앱에서 기록된 현장 사진과 로그가 연동되어 있어, 웹에서 해당 경보 이벤트를 선택하자 “현장조치 완료 - 재시작 시행”이라는 메모와 AR 촬영 이미지가 첨부되어 있다. 이는 AR 앱에서 재시작 버튼을 누를 때 자동기록된 것이다. 이렇게 플랫폼 간 데이터 연동과 UX 흐름 연결이 원활하여 김 관리자는 수월하게 보고서를 마무리한다. 다음으로, 안전 교육 담당자인 이 대리는 VR 시뮬레이터에서 이번 사례를 포함한 비상 상황 훈련 시나리오를 동료들과 실행한다. VR 환경은 빌딩 기계실의 디지털 트윈을 복제한 가상 공간이다. 이 대리와 동료들은 각자 아바타로 VR에 입장하여, 5층 기계실에서 AHU-3 장비 과열로 화재 위험이 발생하는 시나리오를 훈련한다. VR 내 인터페이스는 최소한으로 보인다 - 손목 시계 형태로 현재 센서값을 볼 수 있고, 경보가 발생하면 해당 장비 위에 빨간 경고 아이콘이 뜬다. 이 경고 아이콘은 앞서 웹/AR과 동일한 모양이라 훈련 참가자들은 즉시 상황 파악을 한다. 훈련 중 한 참가자가 VR 컨트롤러로 장비를 가리키고 트리거를 누르자 (VR에서 경보 상세보기 동작), 공중에 3D 패널이 나타나 상세정보를 보여준다. 여기서도 UI 구성은 AR의 것과 유사하게 표현된다. 이 대리는 동료와 함께 가상 소화기를 사용해 초기 진압하고, 휴대용 팬으로 연기를 빼내는 등 훈련 절차를 수행한다. 훈련 종료 후, VR 시스템은 자동으로 훈련 리포트를 생성하는데, 해당 내용은 웹 대시보드의 교육 기록 모듈과 연동되어 관리자가 확인할 수 있다. 위 시나리오에서 볼 수 있듯, 사용자는 상황에 따라 웹, AR, VR을 오가며 일을 처리하지만 일관된 UX 요소들 덕분에 맥락을 쉽게 이어갈 수 있다. 웹에서 본 경고 아이콘을 현장 AR과 VR에서도 똑같이 인지했고, 정보 확인/조치의 상호작용도 “대상 선택상

세보기”라는 동일 개념으로 수행했다. 또한 AR에서의 조치가 웹 리포트와 연계되고, VR 훈련에 피드백되어 데이터와 UX의 선순환이 일어났다. 다음 절에서는 이러한 결과물을 디자인 관점에서 해석하고, 사용자 피드백을 가상의 형태로 소개한다.

5-2. AR, VR, 웹에서의 일관된 UX 구현 예시

[그림 7], [그림 8], [그림 9]은 각각 웹 대시보드, AR 앱, VR 시뮬레이터의 화면 예시를 보여준다. 세 화면은 다른 환경이지만 디자인 시스템의 공통 요소를 잘 유지하고 있다.



[그림 7] 웹 대시보드 화면 예시

[그림 7] (웹 대시보드)은 전체 레이아웃은 좌측에 메뉴, 상단에 빠른 상태 요약 바, 중앙에 층별 상세 패널로 구성되어 있다. 빨간색 경고 아이콘이 5층 설비 목록에 깜박이고 있다.



[그림 8] 크로스리얼리티 AR 앱 화면 예시

[그림 9] VR 시뮬레이터 화면 예시

아이콘에 마우스를 올리면 “온도 경보” 툴팁이 뜨며, 클릭 시 상세 팝업이 나타난다. 팝업 내부의 스타일(헤더 배경색, 표 모양 등)은 VR/AR의 패널과 같은 테마를 사용한다. 웹은 세부 데이터(예: 시간별 그래프)를

풍부하게 보여준다. [그림 9] (AR 앱)은 스마트폰 화면에 보이는 기계실 실사 위로 3D UI가 겹쳐있다. AHU-3 기계에 빨간 경고 마커가 떠있고, 사용자가 이를 탭하여 띄운 반투명 상세패널이 보인다. 상세패널 상단에는 웹 팝업과 동일한 제목바 디자인과 닫기[X] 버튼이 있다. 내용은 핵심 값 위주로 요약되어 있으며 “자세히” 버튼이 배치되어 있다. 화면 하단에는 웹 메뉴와 대응되는 아이콘 메뉴가 반투명하게 자리잡고 있어, 사용자가 AR에서도 다른 기능으로 이동할 수 있다. 이 아이콘들도 웹 메뉴 아이콘과 동일하다 (예: 홈, 리포트, 설정 등).

[그림 9] (VR 시뮬레이터)는 VR HMD 시점의 스크린샷으로, 가상의 5층 기계실 공간이 보인다. 가운데 문제의 AHU-3 장비에서 연기가 나는 상황이고, 그 위에 붉은 경고 아이콘과 함께 깜빡이는 라이트 이펙트가 표현되어 있다. 우측 약간 떨어진 공중에 UI 패널이 하나 보이는데, 이는 사용자가 장비를 가리켜 호출한 상세 패널이다. 이 3D 패널의 모양과 색상은 AR의 패널과 매우 유사하며, 정보 내용도 같은 필드들을 포함한다. 차이는 VR에서는 깊이감 있게 약간 휘어진 판형으로 표현되고, 글씨 크기가 더 크다는 점이다. 사용자는 컨트롤러 Raycast로 이 패널의 버튼(예: 알람 확인)을 누를 수 있다. 좌측 손목을 보면 작은 화면이 있는데, 이건 손목 PDA로 구현된 “미니 대시보드”로 현재 층의 요약 정보를 보여준다. 여기에도 웹의 요약과 동일한 아이콘들이 쓰였다. 사용자 피드백 (가상적으로 수렴한 내용)은 다음과 같다.

- 시설 관리자 (웹/AR 주로 사용): “PC 화면에서 보던 경고 표시를 들고 나온 폰에서도 바로 찾을 수 있어서 편했습니다. 예전 시스템에선 현장에서 기계 ID 보고 일일이 찾아야 했는데, 지금은 빨간 아이콘이 실제 기계 위에 떠있으니 헛갈릴 일이 없네요. 그리고 웹에서 봤던 센서명이 AR 패널에도 똑같이 나오니 이질감이 없었습니다.”
- 안전 담당자 (AR 사용): “AR 앱 인터페이스가 직관적입니다. 아이콘 모양이나 색상이 우리가 늘 쓰던 것들이고, 현장에서 폰 조작이 복잡하면 곤란한데 버튼도 크고 딱 필요한 정보만 보여줘서 좋아요. 그리고 보고서 작성 같은 건 PC로 하는 게 편한데, AR에서 한 조치가 자동으로 웹에 기록돼서 따로 메모할 필요가 없었습니다.”
- 교육 담당자 (VR 사용): “VR 훈련 환경이 실제와 잘 연동되어 있어서 교육 효과가 높아요. 특히 경보 같은 비상징후의 표현이 현장과 동일해서, 교육

받는 사람들이 진짜 현장감 있게 느낍니다. 한 참가자는 ‘현장에서 봤던 그 빨간 경고등이 보여서 긴장됐다고 하더군요. UI 조작도 복잡하지 않고, 웹/AR에서 쓰던 용어들이 VR에도 그대로라서 참가자들이 상황을 이해하는 데 어려움이 없었습니다.’

이런 긍정적 피드백은 일관성 있는 UX가 사용자들에게 주는 안정감과 신뢰감의 증거라 할 수 있다. 또한 생산성 측면에서도, 동일한 정보 표시와 자동 연계로 인해 업무 효율이 향상되었다는 점을 언급하고 있다. 물론 몇 가지 개선점 제안도 있었다. 예를 들어 AR 앱에서 상세 데이터 그래프를 볼 때 화면이 작아 불편하니, 태블릿 지원이나 확대 기능이 필요하다는 의견, VR에서 텍스트 입력(메모 남기기)이 힘드니 음성 메모 기능을 넣어달라는 요구 등이 있었다. 이러한 피드백은 맥락 기반 적응 전략을 더 보완해야 할 부분으로, 디자인 시스템에 추후 반영될 것이다.

5-3. 디자인 결과물 및 사용자 피드백 논의

프레임워크 적용 사례를 통해 얻은 교훈을 몇 가지 정리하면 다음과 같다. 사용자들은 새로운 AR/VR 인터페이스임에도 불구하고 이미 쓰던 웹 시스템의 연장선으로 여겼다. 이는 아이콘, 용어, 색상 등이 동일한 덕분으로, 별도 교육 없이도 바로 활용할 수 있었다. 한 사용자는 “AR 앱 별도 매뉴얼 안 보고도 쓸 수 있었다”라고 했다. 이는 학습 전이가 잘 이루어진 좋은 사례이다. AR에서는 정보가 축약되고 VR에서는 UI가 최소화된 부분에 대해 사용자들은 오히려 “당연히 그래야 한다”는 반응을 보였다. 이는 사전에 우리가 의도했던 바와 일치한다. 중요한 점은 그런 축약/최소화에도 핵심 아이콘과 디자인은 유지되었기에 “다른 시스템”이라는 느낌을 주지 않았다는 것이다. 여러 사용자가 “PC에서 보던 걸 그대로 들고 나온 느낌”이라고 표현했다. 예컨대 웹 대시보드 보고 바로 AR 볼 때, UI가 연속적으로 이어지는 인상을 받았다는 것이다. 이로써 현장 대응의 정신적 부하가 줄고, 시스템에 대한 신뢰 (데이터가 실제 연동되고 있다는 믿음)도 높아졌다. 이는 크로스리얼리티 UX의 이상적인 목표, 즉 seamless experience가 어느 정도 달성되었음을 의미한다. 공무 및 교육 상황에서, 모두가 같은 형태의 정보를 공유하니 부서간 커뮤니케이션이 원활해졌다. 예를 들어 관리팀과 안전팀이 “그 빨간 경보 아이콘” 한마디로 상황을 서로 이해했고, 경영진에게 보고할 때도 VR 영상에서 본 장면과 웹 리포트 내용이 일치하니 설득력이 컸다. 이는 UX 일관성이 공통 언어(Common language) 역

할을 해준 셈이다. 반면, 개선 혹은 고려할 사항으로는 AR 글래스 (향후 도입 예정)에서는 현재 스마트폰 AR UI를 얼마나 유지할 수 있을지 미지수다. 작은 HMD 디스플레이에서는 UI 요소를 더 단순화해야 할 수 있다. 이때도 핵심 아이콘/색상은 유지하되 레거시 웹 요소(표 등)는 완전히 다른 표현으로 바꿔야 할지도 모른다. 이런 경우는 일관성 vs 사용성 사이에서 후자를 택할 수밖에 없다. 향후 기술 발전과 함께 디자인 시스템도 유연히 적응해야 한다. 몇몇 사용자는 자신만의 선호 (예: 다크모드)를 반영하고 싶어했다. 현재 디자인 시스템은 고정된 팔레트지만, 향후 개인화 옵션을 주고 그림에도 기본 아이콘 모양 등은 유지하는 방향도 생각해볼 수 있다. 기업 CI와 상충되지 않는 범위에서 사용자 제어권을 늘리는 것도 UX 성숙도의 한 지표다. 추후 시스템에 새로운 센서 종류나 기능이 추가되면, 디자인 일관성을 깨지 않고 추가를 해야 한다. 디자인 시스템 문서에 새 아이콘이나 색을 추가하는 과정이 필요할 것이다. 이때 누락이나 부정합이 없도록 디자인 시스템 관리 프로세스의 중요성이 부각된다. 결과적으로, 본 사례는 제한한 프레임워크의 유효성을 보여주었다. 특히 건축/건설 분야 같이 물리적 현장과 원격 모니터링이 혼재하는 분야에서, 크로스리얼리티 UX 디자인의 표준화는 업무 효율과 안전을 높이는 효과가 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 AR/VR 기반 디지털 트윈을 위한 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크를 제안하였다. 다양한 XR 플랫폼 간 UX 일관성을 확보하는 것은 사용성 향상과 실무적 효율에 필수적이라는 문제의식에서 출발하여, 선행 연구 및 사례 분석을 통해 디자인 원칙을 도출하고 이를 체계화하였다. 주요 내용을 정리하면 다음과 같다. XR 및 디지털 트윈 맥락에서 UX 일관성의 필요성을 이론과 사례로 조망하였다. XR 환경은 현실-가상 연속체에 걸쳐 복합적으로 전개되며, 일관된 디자인 패턴과 사용자 정신 모델을 제공함으로써 사용자 학습 부담을 줄이고 맥락 전환을 부드럽게 할 수 있음이 확인되었다. 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크를 3계층 (데이터, 디자인시스템, 플랫폼 UI) 구조로 제안하고, 시각디자인 전략, 인터랙션 매핑 전략, 맥락 적응 전략의 세부 방안을 제시하였다. 이를 통해 “중심 개념의 통일, 표현의 최적화”라는 설계 철학을

구현하고자 하였다. 건축 디지털 트윈 사례 시나리오에 프레임워크를 적용하여, 웹/AR/VR 플랫폼에서 공통 디자인 시스템을 활용한 UX를 설계하였다. 결과적으로 사용자들은 플랫폼 전환시에도 익숙한 UI와 상호작용을 경험하였고, 업무 효율과 만족도가 향상되었다는 (가상의) 피드백을 얻었다. 이는 UX 일관성이 사용자 경험 품질을 높이고 산업 실무에 기여함을 보여준다. 본 연구의 의의는 다음과 같다. 디자인 표준화 관점의 XR UX 연구로서 기존 XR 연구들이 개별 기술이나 사용자 반응에 초점을 맞춘 데 비해, 본 연구는 디자인 가이드라인의 표준화 측면에서 접근하였다. 이는 XR 분야에서 UX 디자인의 체계화와 재사용성을 높이는 학술적 시도이다. 특히 국내 디자인 연구 문헌에서 XR 크로스 플랫폼 디자인을 다룬 사례가 드물어, 본 연구가 선행 연구의 공백을 메웠다. 제안된 프레임워크와 디자인 시스템 접근법은 실제 산업 프로젝트에 적용하기 용이하다. 디자인팀과 개발팀이 협업하여 바로 활용할 수 있는 체크리스트와 절차를 제공한 셈이다. 이는 XR을 도입하려는 기업들에게 UX 품질을 담보하는 가이드가 될 수 있다. 궁극적으로 XR 환경 내 UX 디자인의 실무적 표준화 가능성을 제시한 것이 본 연구의 핵심 기여이다. 건축/건설 분야 디지털 트윈 사례에 집중함으로써, 기술 지향적인 디지털 트윈 논의에 인간 중심의 UX 시각을 불어넣었다. 스마트건설, 시설관리 등 분야에서 XR 활용이 늘고 있는데, 본 연구는 그에 수반해야 할 UX 원칙을 제안하여 안전하고 효율적인 시스템 구축에 도움을 줄 수 있다. 본 연구의 한계로는 다음을 들 수 있다. 제시된 사례 시나리오는 가상의 시나리오로, 실제 사용자 실험이나 데이터에 기반한 것이 아니다. 시간과 자원의 제약으로 정량적인 검증은 하지 못하였다. 향후에는 실제 XR 시스템에 본 프레임워크를 적용하여 실제 사용자 만족도, 오류율, 작업 효율 등을 측정하는 연구가 필요하다. 예컨대 A/B 테스트로 일관성 적용 여부에 따른 성과 비교 등이 가능할 것이다. 본 프레임워크가 모든 도메인에 그대로 들어맞지는 않을 수 있다. 예를 들어 게임 분야의 XR UX는 일관성보다는 플랫폼별 최적 경험이 더 중요할 수도 있다. 따라서 도메인 특성에 따른 조정이 필요하며, 본 연구는 주로 정보 시스템/산업환경 맥락에 적합한 가이드임을 밝힌다. 기술 발전에 따른 변화: XR 디바이스와 상호작용 기술은 빠르게 발전하고 있다. 향후 MR 안경이나 브레인컴퓨터 인터페이스 등이 등장하면 UX 패러다임도 바뀔 수 있다. 그 때에도 일관성의 개념이 유효할지, 새로운 차원의 일관성 (예: 현실과 아바타 간의 정체성 일관성 등)이 대두될지 연구해야 한다. 크로스리얼리티의 범위

도 넓어져서 IoT 기기, 웨어러블, 홀로포텍스 등까지 포괄할 수 있다. 향후 연구에서는 이런 New XR 환경에서의 UX 프레임워크를 확장 모색해야 할 것이다. 정량적 디자인 요소 최적화: 일관성을 지키면서 각 플랫폼에 얼마나 최적화를 할지, 어느 지점이 사용자 경험에 가장 큰 영향을 미치는지 등은 정량 연구가 가능하다. 예를 들어 색상/아이콘 통일이 중요한지, 조작 방법 통일이 중요한지 회귀분석해보는 것도 의미가 있다. 이를 통해 디자인 리소스를 어디에 우선 투입할지 가이드할 수 있다. 마지막으로, AI와 XR의 결합도 향후 과제로 꼽을 수 있다. AI가 사용자 맥락을 파악해 자동으로 UI를 최적화해주는 적응형 시스템이 온다면, 디자인 일관성 관리도 자동화될 수 있다. 예컨대 디자인 시스템을 코드화하여 AI가 플랫폼 간 UI를 알아서 생성하되, 일관성 룰은 준수하게 만드는 것이다. 이러한 AI-driven Cross-Reality UX도 흥미로운 연구 방향이다. 결론적으로, 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크는 XR 시대의 사용자 경험 디자인에 실질적 가이드를 제공할 것으로 기대된다. 이는 향후 디지털 트윈을 포함한 메타버스 UX 연구는 물론, 멀티디바이스 통합 UX 디자인 일반에도 시사점을 주는 성과라고 할 수 있다. 앞으로 더 많은 실증 연구와 다양한 도메인 적용을 통해 본 프레임워크가 발전되고 검증되길 기대한다.

Interaction: Design Patterns for Cross-Reality Systems.' IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. vol.31, no.5, May 2025

5. tech42.co.kr
6. iting.co.kr
7. moldstud.com
8. xpert.digital
9. foundtech.me
10. unity.com

참고문헌

1. 김석구·이완화·김욱·이정안·서홍관. '디지털 트윈 및 가상현실(MR, XR) 기반 건설관리.' 대한토목학회 2021 정기학술대회 논문집. 2021.
2. 김용학. '확장현실(XR)을 위한 공간 디자인 방법론 연구.' 기초조형학연구. 제25권 5호, 2024.
3. 황호성. '디지털 트윈의 개념과 기술 및 산업 분야별 활용 사례.' 전자통신동향분석. 제36권 3호. 2021.
4. Robbe Cools, Jihae Han, Augusto Esteves, Adalberto L. Simeone. 'From Display to