

VR 가상 프로토타입 평가 방법을 활용한 디자인 프로세스 개선 -조명 디자인을 중심으로-

Design Process Improvement through VR-Based Virtual Prototype Evaluation -focusing on Lighting Design-

신상일, 홍익대학교 스마트디자인엔지니어링 / 송혜원, 홍익대학교 디지털미디어디자인 / 차재훈, 홍익대학교 기계공학과 / 박효상, 홍익대학교 디자인학 / 박기철(교신저자), 홍익대학교 기계시스템디자인공학

Shin, Sang Il_Hongik University, IDAS, Smart Design Engineering / Song, Hye Won_Hongik University, IDAS, Digital Media Design / Cha, Jae Hoon_Hongik University, Dept. of Mechanical Engineering / Pak, Hyo Sang _Hongik University, IDAS, Design Studies / Pak, Ki Cheol(Corresponding author)_Hongik University, Dept. of MSDE

차례

1. 서론
 - 1.1. 연구 배경
 2. 연구 목적 및 방법
 - 2.1. 연구 목적
 - 2.2. 연구 방법
 - 2.3. 조명 특성의 사전파악 : FGI
 3. 실험 설계
 - 3.1. 실험 대상
 - 3.2. 이미지 제작 : GenAI 활용
 - 3.3. 평가용 모델 제작
 - 3.4. 평가 요소 도출
 4. 결과
 - 4.1. 사용자 평가
 - 4.2. 심층 인터뷰(IDI)
 - 4.3. 연구 결과
 5. 결론
 - 5.1. 연구 결론
 - 5.2. 후속 연구 및 제안

References

VR 가상 프로토타입 평가 방법을 활용한 디자인 프로세스 개선 -조명 디자인을 중심으로-

Design Process Improvement through VR-Based Virtual Prototype Evaluation -focusing on Lighting Design-

신상일, 홍익대학교 스마트디자인엔지니어링 / 송혜원, 홍익대학교 디지털미디어디자인 / 차재훈, 홍익대학교 기계공학과 / 박효상, 홍익대학교 디자인학 / 박기철(교신저자), 홍익대학교 기계시스템디자인공학

Shin, Sang Il_Hongik University, IDAS, Smart Design Engineering / Song, Hye Won_Hongik University, IDAS, Digital Media Design / Cha, Jae Hoon_Hongik University, Dept. of Mechanical Engineering / Pak, Hyo Sang _Hongik University, IDAS, Design Studies / Pak, Ki Cheol(Corresponding author)_Hongik University, Dept. of MSDE

요약

본 연구는 제품 디자인 프로세스의 검증 단계에서 ‘공간 장악력’이 있는 조명을 가상 현실(Virtual Reality, VR)을 활용한 가상 프로토타입 평가 방식으로 실제 평가 방식의 대체 적용 가능성과 이점을 규명하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 Gen AI를 활용하여 조명 디자인 시안을 생성하고, VR을 디자인 검증 단계에 적용하여 가상 환경에서의 조명 프로토타입 평가 도구로 활용하였다. 38명의 피험자를 대상으로 실험을 진행한 결과, 실제 프로토타입 평가 방법(A)과 가상 프로토타입 평가 방법(B)의 비교를 통해 만족성(Happy), 인체공학성(Ergonomic), 신뢰성(Reliable), 실현성(Feasible)의 네 가지 요소를 중심으로 각 환경의 장단점을 평가하였다. 분석 결과, B 평가 방법은 피드백 처리의 신속성, 수정 기능의 용이성, 광량 및 색온도의 실시간 조절 가능성, 다양한 테스트 환경 설정 등의 강점을 보이며 해당 영역에서 가상 평가 방법의 적용 가능성 및 이점을 확인하였다. 그러나 A에 비해 낮은 현실감으로 인해 명확한 크기 및 무게감 파악의 어려움, 빛을 자연스럽게 구현하기 어려운 한계, 초기 조작의 복잡성이 단점으로 확인되었다. 반면, 실제 환경(A)은 인체공학성, 신뢰성, 실현성에서 우수한 평가를 받았으며, 물리적 상호작용과 빛의 반사 및 확산 경험의 자연스러움이 주요 강점으로 작용하였다. 신뢰성과 실현성의 평가 항목에서 주요 특징이 중복되는 경향을 보여, 두 요소를 구체적으로 정의하고 명확히 구분할 것을 후속 연구로 제안하였다. 또한 실험 결과 분석을 통해 기존 선행 연구의 주장을 뒷받침하였으며, 실제 환경과 가상 환경의 프로토타입 평가 방식을 비교하여 각 환경의 강점과 한계를 규명하였다. 이를 기반으로 가상 환경 프로토타입 평가 방식의 장점을 더욱 강화하고, 단점은 보완할 수 있는 구체적인 개선 방향을 제시하였다. 본 연구는 가상 환경 평가가 기존의 단순 형상 판단에서 벗어나 조명의 다양한 속성을 평가할 수 있음을 알리고 향후 조명 디자인 프로세스의 효율성과 실용성을 향상하는데 이바지할 것으로 기대한다.

중심어

디자인 프로세스
가상 현실
UX 평가
공간 장악력
생성형 AI

ABSTRACT

This study aims to evaluate the feasibility and advantages of replacing traditional physical prototype evaluation methods with virtual prototype evaluation methods using Virtual Reality (VR) in the verification stage of the product design process. Specifically, the study focuses on evaluating lighting with ‘Spatial Dominance’ characteristics. Gen AI was employed to generate initial lighting design concepts, which were subsequently integrated into the VR-based evaluation process to serve as tools for assessing lighting prototypes in virtual environments. An experiment involving 38 participants was conducted to compare physical prototype evaluation (Method A) and virtual prototype evaluation (Method B), focusing on four key factors: ‘Happy’, ‘Ergonomic’, ‘Reliable’, and ‘Feasible’. The analysis revealed that Method B demonstrated strengths in rapid feedback processing, ease of modification, real-time control of light intensity and color temperature, and flexibility in test environment configurations. These advantages highlighted the potential of virtual evaluation methods in these domains. However, Method B exhibited limitations compared to Method A, such as lower realism, difficulty in accurately perceiving size and weight, challenges in natural light representation, and the complexity of initial manipulation. In contrast, Method A was rated higher in ‘Ergonomic’, ‘Reliable’, and ‘Feasible’, attributed to the ability to perform physical interactions and naturally experience light reflection and diffusion. This study underscores the potential of VR-based evaluation methods to move beyond simple shape assessment, enabling comprehensive evaluations of diverse lighting attributes. The findings are expected to contribute to improving the efficiency and practicality of lighting design processes in the future.

Keywords

Design Process
Virtual Reality
UX Evaluation
Spatial Dominance
Generative AI

이 연구는 2025년도 산업통상
자원부 및 한국산업기술기획
개발(KEIT) 연구비 지원에 의한
연구임.
(202401620001)

1. 서론

1.1. 연구 배경

조명은 일반 제품과 달리 ‘광원’을 활용해 공간의 분위기와 사용자 경험에 직접적으로 영향을 미친다. 조명의 색온도 조절은 공간의 분위기를 변화시켜 인간의 감정과 행동에 영향을 준다(Choo & Yoo, 2011). 또한, 조명은 시간대에 따라 그 효과가 달라질 수 있다(An, 1991). 본 연구에서는 광원이 공간의 분위기와 사용자에게 다양한 영향을 미칠 수 있는 힘을 ‘공간 장악력’으로 정의하고, 조명 디자인 프로세스에서는 사용자와 조명이 공간 내에서 어떻게 상호작용하는지 여부를 확인하기 위한 실시간 평가의 중요성을 피력한다. 실시간 평가 방법 정의를 위한 선행 연구로서, 가상현실(VR)의 다양한 특징이 언급될 수 있다. 김현정(Kim, 2023)에 따르면, VR은 사용자에게 몰입감을 제공하고 인터랙션을 가능하게 하며, 다양한 공간을 포함한 상황에서 빛의 영향을 시각적으로 시뮬레이션할 수 있는 기능을 제공한다. 또한, 재런 러니어(Lanier, 2017)는 VR을 컴퓨터로 생성된 3D 환경으로서 사용자가 몰입해 다양한 행동이 가능한 기술로 정의하며, 기술 발전에 따라 인간의 오감과 상호작용하는 환경을 제공하는 데 중점을 둔다고 주장한다. 현재, VR은 제품 디자인, 건축, 교육, 의료 등 다양한 분야에서 중요한 도구로 활용되고 있으며(Jeon et al., 2017), 이 외 VR을 활용한 디자인 관련 사례를 <Table 1>로 정리하였다.

<Table 1> Examples of Design Areas Using VR

Hackrod, Simmens 의 ‘La Bandita’		
	분야	자동차 산업
	특징	AI 설계 및 VR 검증을 통한 사용자 맞춤형 디자인
	장점	물리 프로토타입 없이 설계 및 제작, 비용절감
	평가대상	크기, 부피감, 색상, 시각적 질감 확인
Ford의 Gravity Sketch		
	분야	자동차 산업
	특징	실물 크기의 차량 설계 및 디자인 검증 시스템
	장점	자동차 개발 시간 단축 및 반복적인 설계 축소
	평가대상	크기, 부피감, 색상, 시각적 질감 확인
IKEA VR Showroom		
	분야	인테리어 디자인
	특징	VR 제품 배치 시뮬레이션
	장점	고객이 가상으로 가구 배치해 시간단축
	평가대상	공간감, 제품배치
Adidas One Zero VR Showroom		
	분야	패션산업
	특징	가상 쇼룸을 통한 제품 테스트 및 시각화
	장점	건축 비용절감
	평가대상	공간감, 제품배치
Nvidia Omniverse		
	분야	건축, 엔지니어링
	특징	실시간 협업 및 시각화 플랫폼
	장점	장소 제한 없는 실시간 협업기능
	평가대상	공간감

<Table 1>에 따르면, VR은 다양한 분야에서 가상 프로토타입을 평가하기 위한 도구로 활용되고 있다. 에핑거와 울리히(Eppinger & Ulrich, 2016)는 프로토타입 평가 방법이 설계 아이디어의 시각화, 기술적 성능의 검증, 그리고 고객 피드백을 수집하기 위한 중요 도구로 사용될 수 있음을 주장하였다. 특히, 이창선(Lee & Lee, 2006)은 제품 디자인 구현 과정의 사용자 경험(UX) 요인 평가 시 가상 프로토타입 평가 방법이 실제 환경에서의 프로토타입을 활용한 평가에 비해 시간과 노력을 대폭 절감할 수 있다고 주장하였다. 이에 따라, VR을 활용한 가상 프로토타입 평가는 다양한 장점을 가진 방법으로 판단하였다. 기능의 활용을 위해 관련 프로그램을 사전에 분석하였으며 다음과 같이 <Table 2>로 정리하였다.

<Table 2> Summary of VR Program Features

항목	V-ray	Keyshot	Twinmotion	Lumion	Enscape
VR 지원	지원	지원	지원	지원	지원
주요 특화기능	건축 디자인, 제품 디자인, 게임 디자인 등	제품 디자인, 마케팅 이미지, 애니메이션	건축 디자인, 도시계획 디자인, 조경 디자인	건축 및 인테리어 디자인, 조경 디자인	건축 및 인테리어 디자인
가격(년당)	718\$	100\$	445\$	749\$	40\$
호환성	3ds Max, SketchUp, Rhino, Revit, Cinema 4D 등	SolidWorks, Rhino, Creo, AutoCAD 등	ArchiCAD, Revit, SketchUp 등	SketchUp, Revit, ArchiCAD, Rhino, AutoCAD 등	Revit, SketchUp, Rhino, ArchiCAD, Vectorworks 등
사용자 친화도(UX)	전문가 위주 고급기능. 초보자 사용 어려움	드래그 앤 드롭 직관적 사용성. 초보자 친화	건축/조경 디자인 적합 초보자친화	아이콘 중심의UI. 초보자 친화	BIM 통합 워크플로우. 초보자 사용 어려움.
Ray Tracing	높음	높음	낮음	낮음	낮음
Global Illumination	지원	지원	지원	지원	지원
HDRI (주변환경)	지원	지원	지원	지원	지원

<Table 2>에 따르면, Keyshot은 언급된 다른 프로그램에 비해 비교적 저렴한 가격, 초보자 친화적인 사용성, 그리고 주변 환경과 빛 반사를 높은 품질로 구현하는 강점을 갖추고 있다. 이에 Keyshot은 본 연구의 프로토타입 평가 수단으로 활용되기에 적합하다고 판단하였다.

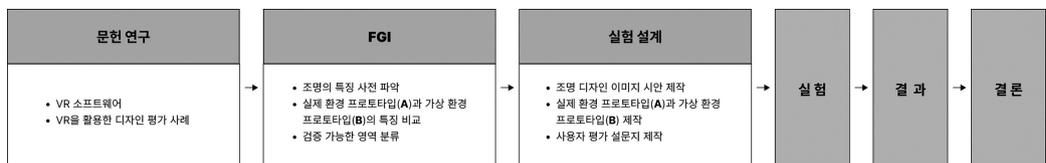
2. 연구 목적 및 방법

2.1. 연구 목적

조명 디자인 프로세스의 마지막 단계에 VR을 도입하여, 실제 환경에서의 광원과 사용자 간의 상호작용을 평가하고, 실제 프로토타입 평가를 가상 프로토타입 평가로 대체 가능한지 알아보려고 한다. 선행 연구에 따라, 공간의 분위기와 같은 환경 요인을 현실 환경에서 검증하는 데는 한계가 있으나, 평가 단계에 VR을 활용하면 다양한 환경 조건에서 조명의 ‘공간 장악력’을 시뮬레이션 할 수 있어 통제가 어려운 환경 요인을 극복할 수 있다고 판단하였다. 따라서, 제품 디자인 분야 중 조명 디자인은 VR 기반 가상 프로토타입 평가를 통해 사용자 만족도를 평가하기에 가장 적합한 대상으로 고려되었다.

2.2. 연구 방법

VR을 활용한 가상 프로토타입의 평가 유효성을 검증하기에 앞서 평가용 제품을 제작하기 위한 첫 단계로 Gen AI를 활용하여 조명 디자인 시안을 생성하였다. 시안을 기반으로 실제 환경 프로토타입(A)과 가상 환경 프로토타입(B)으로 평가용 제품을 각각 제작하여 실험 수행 및 결과를 도출하였다. 연구 방법은 <Figure 1>로 정리하였다.



(Figure 1) Research Process

2.3. 조명 특성의 사전파악 : FGI

일반 제품과 차별화되는 조명의 특성을 이해하고 이에 적합한 사용성 평가 기준을 개발하기 위하여 사전 고려 단계 및 프로토타입 평가를 FGI(Focus Group Interview)를 활용하여 진행하였다. 제품 디자인 분야의 5명의 전문가가 참여하였으며, 이를 <Table 3>으로 정리하였다. 이후의 과정에는 송혜원(Song, 2025)에서 제안된 내용을 기반으로 재구성했으며, 일부 표현과 자료를 양식에 맞게 수정하였다.

<Table 3> Characteristics of Experts Participating in the FGI

성명	소속	직위	경력
임OO	디자인에이전트	시니어 디자이너	7년
김OO	디자인에이전트	수석 디자이너	9년
이OO	인하우스디자인기업	책임연구원	7년
박OO	인하우스디자인기업	과장	9년
최OO	인하우스디자인기업	과장	10년

FGI 결과를 바탕으로, 조명의 상태(ON/OFF)에 따른 특성 비교를 <Table 4>에 정리하였다. 또한, 실제/가상 프로토타입에 따른 조명의 주요 특성은 <Table 5>에 요약하여 제시하였다.

<Table 4> Comparison of Lights on/off Based on FGI Responses

특성	조명ON	조명OFF
조명 자체 디자인	디자인이 빛과 함께 공간의 분위기 강화	조명 구조와 형태만 관찰 가능
환경 영향	빛의 반사와 확산으로 주변 물체와 공간 변화	주변 환경과 상호작용 없음
분위기 연출	색 온도와 광량으로 공간과 감정적 분위기 조성	디자인 자체로 심미적 요소 제공
사용자 조작성	스위치나 리모컨으로 밝기 및 색 온도 조절 가능	정적인 형태로만 존재
평가 초점	빛의 효과와 조명 디자인 통합 평가	형태, 소재, 색상, 구조의 심미성 평가

<Table 5> Comparison of Prototypes Based on FGI Responses

항목	실제 프로토타입(A)	가상 프로토타입(B)
비용	<ul style="list-style-type: none"> 물리적재료 및 제작비용 발생 추가제작 시 추가비용 	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 사용 및 하드웨어 구축비용 발생 추가제작 시비용적음
시간	<ul style="list-style-type: none"> 느린 제작 재료수급 및 제작시간 발생 	<ul style="list-style-type: none"> 빠른제작 모델링 등 소프트웨어
수정기능	<ul style="list-style-type: none"> 일정 부분 진행 후 수정이 불가하거나 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 수정이 쉬움
피드백 처리	<ul style="list-style-type: none"> 반영에 많은 시간소요 수정 후 제작 시간발생 	<ul style="list-style-type: none"> 피드백 반영에 적은 시간소요 모델링후 온라인 검토
현실감	<ul style="list-style-type: none"> 높은 현실감 물리적 접촉 및 조작 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 낮은 현실감 물리적 체험 어려움
상호작용	<ul style="list-style-type: none"> 물리적 상호작용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 가상 상호작용 가능
공간계약	<ul style="list-style-type: none"> 실물 제작공간 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 가상공간의 확장 가능
테스트 환경	<ul style="list-style-type: none"> 평가 공간 필요 실제 적용 공간과 유사한 공간 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 가상공간의 환경설정 여부중요
커뮤니케이션	<ul style="list-style-type: none"> 동일 장소, 동일 시간에 대면 커뮤니케이션 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 비동일 장소, 동일 시간에 비대면 커뮤니케이션 가능

또한, <Table 4>, <Table 5>를 종합적으로 고려하여 평가 가능한 조명의 요인을 <Table 6>으로 나타내었다. 실제/가상 환경 프로토타입을 구분하여 해당 영역에 따른 평가 불/가 여부를 명쾌하게 나타내었다. 평가 가능여부는 A 기준으로 B를 비교한 결과이다. ‘O’는 완전하게 평가가 가능함을, ‘△’는 부분적으로 평가 가능함을, ‘X’는 평가 불가능함을 나타낸다. 분류는 조명의 다양한 요인을 고려하여 사용자 경험 평가의 특정 요소들을 체계적으로 평가하는 데 사용될 중요한 기준을 제공한다. 작동 부분은 A,B 모두 가능하였다.

<Table 6> Comparison of Prototype Features Based on FGI Responses

분류	형상		광원				환경	
	무게감	재질감	형태감	조작감	작동	광량		색온도
실제 환경 프로토타입 (Physical)	O	O	O	O	O	△	△	△
가상 환경 프로토타입 (Digital)	X	△	△	△	O	O	O	O

3. 실험 설계

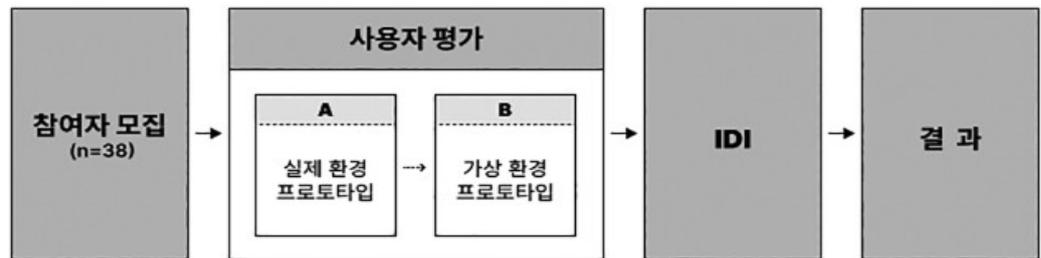
3.1. 실험 대상

실험 대상은 프로토타입 평가에 대한 충분한 이해를 바탕으로 심도 있는 의견을 수집하기 위해, 명확한 스크리닝 기준을 설정하여 선별하였다. 구체적으로는 제품 프로토타입 제작 및 평가 경험이 있으며, 실제 환경과 가상 환경에서의 평가를 면밀하게 비교할 수 있도록 VR 활용 경험을 보유한 제품 디자인 전공 학생 총 38명을 선정하였다. 참여자의 인구통계학적 분포는 <Table 7>과 같다. 정리하였다.

<Table 7> Survey Information for Validating the VR Process

구분	내용
목적	A/B test 과정을 통한 사용자 평가 요소의 경향 분석
기간	2024년10월14일~ 2024년10월16일
방법	온라인 설문 조사 / 대면IDI
피험자	20-30대 남녀38명(남22 여16)

검증 가능한 조명 특성으로 언급된 형상, 광원, 환경 검증 항목을 평가하기 위해 사용자 평가 후 IDI(In-Depth Interview)를 진행하였다. 실험 프로세스는 <Figure 2>로 정리하였다.



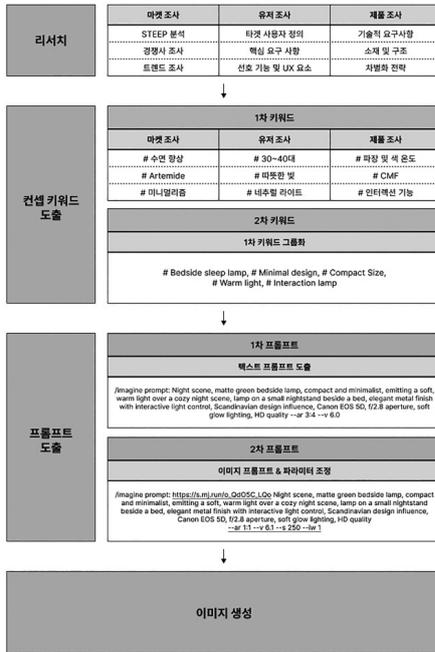
<Figure 2> Research Process

3.2. 이미지 제작 : GenAI 활용

송혜원(Song, 2024)에 따르면, AI 도구가 디자인 프로세스의 효율성과 창의성을 높이는 데 긍정적인 영향을 미쳤다고 주장하였다. 해당 선행연구를 발전시켜 사용자 목적에 부합하는 생성형 이미지 디자인 프로세스를 재구성했으며, 전체 흐름은 <Figure 3>에 정리하였다.

제시된 프로세스는 초기 디자인 시안 제작을 위한 프로세스로 활용될 수 있으며, 본 연구에서는 Gen AI 플랫폼인 ChatGPT, GPTs, Midjourney를 활용하였다. 또한, 이는 단순히 조형적으로 아름다운 이미지를 생성하는 것을 넘어, 리서치 기반의 논리적 데이터 조합을 통해 조명 요인 평가에 적합한 시안을 생성하는 것을 목표로 한다.

본 연구에서는 실제 조명 프로토타입 제작을 고려하여 형상, 광원, 환경을 고려한 설계 요인을 리서치 데이터로 반영하였다. 최종 조명 디자인 시안은 <Figure 4>에 제시되어 있으며, VR실험을 위한 시나리오에 맞춰 실제 환경과 가상 환경에서의 제작과 사용성 평가에 적합하도록 설계되었다. 첫째, 조명의 광원이 방사형으로 고르게 분산될 수 있도록, 구 형태로 광원을 감싸는 형태로 제작하였다. 둘째, 빛의 반사와 굴절을 효과적으로 확인할 수 있도록 원뿔형의 받침 구조를 제작하였다. 셋째, FDM(Fused Deposition Modeling) 방식으로 제작된 결과물은 적층 과정에서 생기는 특유의 무늬가 있다. 이는 평가 과정에서 혼동변수로 작용할 수 있어 시선을 무늬로부터 분산시키기 위해 적절한 간격으로 고안된 세로형 스트라이프 패턴을 적용하였다.



<Figure 3> Image Creation Process

<Figure 4> AI-generated images

3.3. 평가용 모델 제작

<Table 8> Two Types of Prototypes



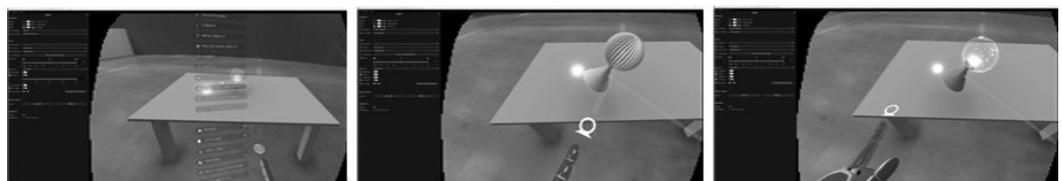
<Figure 4>를 기반으로 A와 B 두 가지 평가 방식을 위한 조명 프로토타입을 제작하였다. A는 FDM 방식의 3D 프린팅으로 제작되었으며, 동일 형상의 B는 Autodesk Fusion을 활용하여 3D 모델링으로 구현되었다. 이를 <Table 8>에 정리하였다.

A와 B의 평가 환경은<Figure 5>, <Figure 6>과 같다. 첫째, A의 평가에서는 피험자가 책상 위에 배치된 실제 프로토타입을 시각 및 촉각을 이용하여 15분간 평가하였다. 평가 과정 동안 피험자는 <Figure 6>에서 앞서 언급된 조명의 평가 요인을 고려하여 프로토타입의 표면 질감과 형태를 손으로 만져보고, 제품을 들어 무게를 가늠해보았다. 다음으로, 조명의 버튼을 조작하여 전원을 켜고 끄는 과정을 직접 경험하였고, 테이블 위에서 빛이 주변 환경에 어떻게 분산되고 영향을 미치는지 관찰하였다. 해당 평가 방법을 통해 참가자들이 조명의 평가 요인을 물리적인 방식으로 체험하고 평가할 수 있도록 하였다.

둘째, B 평가에서는 참가자가 VR 헤드셋을 착용하여 가상 공간으로 입장하였다. 제품은 오클러스사의 Meta Quest Pro를 사용하였다. 참가자는 시각을 이용하여 15분간 고개를 돌려 가상 환경을 둘러보거나 제품에 구성된 컨트롤러를 사용해 조명을 이동 및 회전하여 조명의 평가 요인을 가상의 방식으로 체험하고 평가할 수 있도록 하였다.



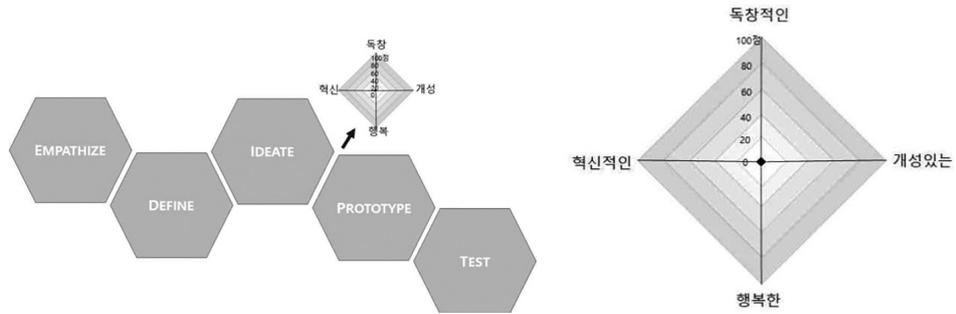
<Figure 5> Experiment with Physical Prototype(A/Left) and Digital Prototype(B/Right)



<Figure 6> Changing the Color of the Stand Lamp Using KeyShot Studio VR

3.4. 평가 요소 도출

본 연구에서는 A와 B 두 가지 프로토타입 평가 방식을 고려하여 적절한 평가 항목을 도출하기 위해 기존의 선행 연구를 검토하였다. 본 연구의 목적이 프로토타입 검증 단계에서 조명 디자인의 사용성을 평가하는 것이므로, 프로토타입 평가 항목을 설정하기 위해 사용성 평가 연구를 참고하였다. 우선, 본 연구의 평가 과정은 디자인 프로세스에서 프로토타입 제작과 평가 단계에 해당하므로, 이은정 (Lee & Park, 2019)의 디자인 씽킹 결과물 평가 모델을 참고하였다. 해당 연구는 디자인 프로세스의 최종 결과물 평가 기준을 제시하며, 본 연구에서도 조명 디자인 프로토타입을 검증하는 과정에서 활용될 수 있다. 이를 <Figure 7>로 정리하였다.



<Figure 7> Design Thinking's Outcome Evaluation Model(Lee, J. & Park, J., 2019)

또한, 프로토타입 평가 단계는 '사용성 평가'에 적합하므로, 사용성 평가 측면에서도 다양한 선행 연구를 참고하여 본 연구의 평가 기준을 도출하였다. 기존 UX 개념을 바탕으로 평가한 사용성 평가를 진행한 8가지의 논문을 분석하였고, 총 49가지의 평가 요소를 도출하였다. 기존 연구에서 사용된 사용성 평가 요소를 종합하여 <Table 9>에 정리하였다.

<Table 9> Prior Research on Usability Evaluation Criteria

연구자(년도)	평가 대상(제품)	평가 항목
Kim, S.(2019)	디자인 프로세스	협업성, 확장성, 혁신성, 적용 가능성, 일관성, 사용자 중심성
Lee, J. & Ban, Y.(2016)	디자인 프로세스	사용성, 효율성, 신뢰성, 협업성, 확장성, 사용자 만족도
Yoo, S.(2018)	로봇디자인	사용성, 효율성, 신뢰성, 사용자 만족도, 시스템 피드백
Park, I.(2023)	디자인 프로세스	효과성, 공익성, 창의성 및 독창성, 시각적 완성도, 상품화 가능성, 적용성
Kim, Y. & Lee, J.(2020)	디자인 프로세스	효율성, 이해도, 혁신성, 확장성, 차별성, 정교성
Kim, K. et al.(2016)	아동용 디자인	유용성, 사용성, 만족성, 발견 가능성, 신뢰성, 가치성, 안정성
Zang, C. & Jang, C.(2023)	앱	활용성, 유용성, 매력성, 검색성, 접근성, 가치성, 신뢰성
An, H. & Lee, S.(2022)	앱	유용성, 사용성, 매력성, 검색성, 접근성, 신뢰성

이러한 선행 연구를 바탕으로 본 연구에서는 조명 디자인의 사용성을 평가하기 위한 기준을 도출하였다. 기존 연구에서 사용된 평가 항목을 분석하여 조명 프로토타입 평가에 적합한 8가지 요소를 선정하였고 각 항목에 대한 근거를 <Table 10>으로 정리하였다.

<Table 10> Usability Evaluation Criteria

평가 요소	근거 내용
효율성 (Efficient)	프로토타입 평가 과정이 신속하고 직관적으로 이루어졌는지 평가. 반복 작업을 줄이고 의사결정을 빠르게 할 수 있도록 돕는 역할을 수행하는지 검토.
실용성 (Practical)	프로토타입이 평가 단계에서 제공하는 정보가 유용한지 평가 및 검토.
만족성 (Happy)	프로토타입 평가 과정이 사용자가 흥미를 느끼고 즐거움을 경험할 수 있도록 설계되었는지 검토. 사용자가 평가 과정에서의 감정적으로 미치는 영향 평가.
인체공학성 (Ergonomic)	프로토타입 평가 환경이 사용자의 신체적 편안함을 충분히 고려했는지 검토. 조명의 조작 방식과 평가 공간이 사용자 친화적으로 구성되었는지 평가.
신뢰성 (Reliable)	프로토타입 평가 과정에서 제공된 정보(색상, 밝기, 마감 등)가 신뢰할 수 있는 정보인지 검토. 평가 결과가 실제 제품 개발에 반영될 가능성 확인.
실현성 (Feasible)	프로토타입 평가에서 나온 정보가 실제 제작 및 구현 가능 수준을 고려할 때 반영 가능한 수준에 대한 평가. 조명 디자인이 기술적, 구조적으로 현실적으로 실현 가능한지를 검토하며, 사용자가 실제 환경에서의 적용 가능성을 직관적으로 인식하는지 평가.
욕구충족성 (Desirable)	프로토타입 평가 과정이 사용자 요구를 충분히 반영하는지 평가. 사용자 기대를 만족시키며, 다양한 환경과 필요에 맞게 조정될 수 있는지 검토.

필요성 (Necessary)	프로토타입 평가 과정이 제품 출시 전 필수적인 경험인지 평가. 이를 통해 제품의 개선 가능성을 높이고, 시장 도입 전에 충분한 정보가 제공되는지 검토.
--------------------	--

이후 선행 연구를 바탕으로 본 실험 사용자 평가를 위한 설문 내용을 제작하였다. ‘사용성 평가 요소’는 효율성(Efficient), 실용성(Practical), 만족성(Happy), 인체공학성(Ergonomic), 신뢰성(Reliable), 실현성(Feasible), 욕구충족성(Desirable), 필요성(Necessary)의 8가지로 구성하였다. 각 요소에 대한 설문 내용은 사후 인터뷰와 함께 사용자로부터 구체적인 피드백을 얻기 위해 설계되었다. 작성된 내용은 <Table 11>에 정리하였다. 설문은 두 가지 환경인 ‘실제 환경에서의 프로토타입 평가 과정(A)’과 ‘가상 환경에서의 프로토타입 평가 과정(B)’으로 나누어 진행하였다. 평가 과정에서는 응답자의 주관적 평가를 정량화 하기 위해 리커트 5점 척도를 사용하였다. 이 척도는 서열 척도로 ‘매우 아니다(1점)’부터 ‘매우 그렇다(5점)’에 대한 응답을 포함하여, 피험자가 각 평가 요소에 대한 의견의 강도를 표현할 수 있도록 적용되었다.

<Table 11> Survey Items

요소	코드	질문
효율성 (Efficient)	E1	프로토타입 평가 과정은 시간을 효율적(의사결정 속도, 반복 작업의 단축 등)으로 사용했다고 생각하십니까?
	E2	프로토타입 평가 과정은 불필요한 확인 과정(색상, 재질, 마감, 밝기 등)을 줄여준다고 느끼셨습니까?
	E3	프로토타입 평가 과정이 빠르고 직관적이었습니까?
실용성 (Practical)	P1	프로토타입 평가 과정에서 제공된 정보는 실제로 유용했다고 생각하십니까?
	P2	프로토타입 평가 과정이 실제 상황에서 도움될 정보를 제공했습니까?
	P3	프로토타입 평가 과정이 실제 상황에서 도움될 정보를 제공했습니까?
만족성 (Happy)	H1	프로토타입 평가 과정이 즐겁고 흥미로웠습니까?
	H2	프로토타입 평가 과정은 전반적으로 만족스러운 경험을 제공했습니까?
	H3	프로토타입 평가 과정을 사용하고 싶은 긍정적인 감정을 불러일으켰습니까?
인체공학성 (Ergonomic)	G1	프로토타입 평가 환경은 신체적으로 불편함이 없었습니까?
	G2	프로토타입 평가 공간은 제품을 평가하기에 적절했다고 생각하십니까?
	G3	프로토타입 평가 환경은 신체적 편안함을 충분히 고려했다고 보셨습니까?
신뢰성 (Reliable)	R1	프로토타입 평가 과정에서 제공된 정보(색상, 재질, 마감, 밝기 등)는 신뢰할 만하다고 느끼셨습니까?
	R2	프로토타입 평가 과정의 결과에 대해 얼마나 신뢰하십니까?
	R3	프로토타입 평가 과정은 실제 제품 평가에 충분한 정보를 제공했다고 보셨습니까?
실현성 (Feasible)	F1	프로토타입 평가의 결과는 실제로 적용 가능하다고 생각하십니까?
	F2	프로토타입 평가 과정에서 다뤄진 내용이 프로토타입제작에 반영될 가능성이 높다고 보셨습니까?
	F3	프로토타입 평가 과정 후 출시하는 제품 디자인은 현실적으로 실현 가능하다고 느끼셨습니까?
욕구충족성 (Desirable)	D1	프로토타입 평가 과정은 사용자 요구를 충분히 반영했다고 느끼셨습니까?
	D2	프로토타입 평가 과정은 당신의 기대를 충족시켰습니까?
	D3	프로토타입 평가 과정은 다양한 사용자 요구를 충족할 수 있을 것 같다고 보셨습니까?
필요성 (Necessary)	N1	프로토타입 평가 과정은 당신에게 꼭 필요한 정보(색상 변화, 재질 등)를 제공했다고 느끼셨습니까?
	N2	프로토타입 평가 과정이 당신의 삶에 중요한 가치를 제공했다고 생각하십니까?
	N3	프로토타입 평가 과정은 제품 출시 전 필수적인 경험이라고 느끼셨습니까?

4. 결과

4.1. 사용자 평가

조명의 평가 요인을 고려하여 제작된 A, B 프로토타입을 이용한 사용성 평가를 설문 방식으로 수행하였다. 회수된 설문 데이터는 A, B 프로토타입의 평가 데이터로 각각 그룹화하고, 두 그룹 간의 응답 경향에 대한 평균 차이를 검증하기 위하여 통계적 검정인 t-test를 시행하여 결과를 도출하였다. 이를 <Table 12>로 정리하였다.

<Table 12> Response(t-test) Results

요소	A: 실제 환경 프로토타입 (Physical)		B: 가상 환경 프로토타입 (Digital)		평균 차이	p-value	Cohen's D
	평균(M)	표준편차(SD)	평균(M)	표준편차(SD)			
효율성 (Efficient)	4.29	0.64	4.33	0.75	0.04	0.79	0.09
실용성 (Practical)	4.39	0.70	4.19	0.66	-0.20	0.22	0.41
만족성 (Happy)	4.02	0.94	4.64	0.52	0.62	0.00	1.16
인체공학성 (Ergonomic)	4.22	0.71	3.84	0.86	-0.38	0.04	0.67
신뢰성 (Reliable)	4.20	0.80	3.74	0.93	-0.46	0.02	0.76
실현성 (Feasible)	4.46	0.66	4.10	0.76	-0.36	0.03	0.73
욕구충족성 (Desirable)	4.04	0.89	4.19	0.82	0.15	0.47	0.24

필요성 (Necessary)	4.02	0.78	3.81	0.83	-0.21	0.28	0.36
-----------------	------	------	------	------	-------	------	------

<Table 12>의 Cohen's D와 p-value 결과를 통해 실제 환경과 가상 환경 두 집단 간 평가 결과의 실질적 영향을 분석하였다. Cohen's D 값은 0.2 이상일 때 효과 크기가 작고, 0.5 이상일 경우 실질적으로 의미 있는 효과이며, 0.8 이상일 경우 매우 중요한 효과로 해석된다. 또한, 통계적 유의성을 나타내는 p-value는 일반적으로 0.05 이하일 때 두 집단 간의 차이가 통계적으로 유의미함을 의미한다. 분석 결과, 만족성(Happy), 인체공학성(Ergonomic), 신뢰성(Reliable), 실현성(Feasible)의 네 가지 항목에서 Cohen's D 값이 0.5 이상을 나타냈으며, 모든 항목의 p-value 또한 0.05 이하로 유의미한 차이를 보였다. 특히, '만족성' 요소에서는 평균 점수가 A 평가에 비해 B 평가에서 상승하였으며 (A:4.02<B:4.64), 이는 B 평가 방식이 만족성 측면에서 A 평가 방식에 비해 경쟁력이 있다고 판단하였다. 반면, 평균 점수가 하락한 항목으로는 인체공학성(A:4.22>B:3.84), 신뢰성 (A:4.20>B:3.74), 실현성(A:4.46>B:4.10)의 3가지로 나타났다. 이는 B 평가 방식의 상대적인 단점이라 판단하였다.

4.2. 심층 인터뷰(IDI)

사용자 평가 응답 경향을 더욱 세밀하게 파악하기 위해, 설문을 완료한 동일 모집단(n=38)을 대상으로 IDI를 진행하였다. 특히, VR 검증의 장점으로 파악된 만족성과 단점으로 파악된 인체공학성, 신뢰성, 실현성에 대한 세부 요소로 하위 항목으로 세분화 가능 여부와 그에 대한 응답 이유를 파악하기 위해, IDI를 활용하였다. 인터뷰 내용을 종합하면, 가상 환경의 경우 조명의 밝기와 CMF(색상, 질감, 마감 등)를 실시간으로 변경하여 즉각적으로 확인할 수 있는 편리성, 다양한 각도에서 손쉽게 평가가 가능한 점, 가상 환경 자체의 새로움과 몰입감으로 인해 사용자들이 높은 만족감과 흥미를 느꼈다고 응답하였다. 특히, 다양한 옵션을 손쉽게 변경 가능한 점, 다양한 상황 설정이 가능하다는 점에서 긍정적 의견이 다수 확인되었다. 반면, 가상 환경의 단점으로는 명확한 크기 및 무게감을 느끼기 어려웠으며, 빛의 자연스러운 확산 및 조명 효과를 정확히 평가하기 어려웠다는 의견이 있었다. 또한, 가상 환경의 초기 조작 방식이 복잡하고 이해하기 어렵다는 의견이 반복적으로 언급되었다. 실제 환경의 경우 인터뷰 대상자들은 조명의 실제 크기, 무게감, 재질 및 질감을 직접적으로 체험할 수 있어서 현실적이고 직관적 평가가 가능하다는 의견을 주로 제시하였다. 또한 실제 환경에서는 주변 환경과 조명의 상호작용을 자연스럽게 파악할 수 있는 점을 강점으로 꼽았다. 그러나 CMF 변경이 제한적이고 다양한 환경 조건을 실시간으로 제공하기 어렵다는 점은 단점으로 지적되었다. 인터뷰에서 반복적으로 언급된 응답을 군집 요인으로 분류하여 경향성을 분석하였으며, 도출된 키워드를 코드화하여 A평가, B평가 각각에 대한 긍정 및 부정적 응답을 체계적으로 분류하였다. 이를 <Table 13>로 정리하였다.

<Table 13> In-Depth Interview Responses for VR Process

환경	반응	코드	키워드 (횟수)	대표응답
A:실제 환경 (Reality)	긍정 (Positive)	RP1	부피감(8)	실제 크기와 비례를 명확하게 인지 가능함
		RP2	질감(7)	직접 만져볼 수 있어 재질 확인에 용이함
	부정 (Negative)	RN1	외관 변형(5)	CMF 변경이 제한적이라 아쉬웠음
		RN2	밝기 변형(2)	전구 교체에 시간이 걸려 빛의 밝기 조절, 색상 변경 등이 어려웠음
		RN3	환경(5)	프로토타입이 배치될 장소, 시간, 스타일링 등은 사용자의 상상에 맡겨야 하므로 불편함
B:가상 환경 (Virtual Reality)	긍정 (Positive)	VP1	외관 변형(6)	실시간으로 CMF 변경이 가능한 점이 편리했음
		VP2	밝기 변형(7)	전구 교체 없이 데이터 기반의 설정 값으로 빛의 밝기 및 색상 변경이 가능했음
		VP3	환경(4)	고정된 자세로 다양한 각도와 거리에서 조명을 확인할 수 있다는 점이 편리했음.

		VP4	흥미(3)	가상 환경 체험 자체가 신기했고, 클릭 한 번으로 다채롭게 변하는 화면이 흥미로웠음
--	--	-----	-------	--

사용자 평가와 심층 인터뷰 결과, 평가된 8개 요소는 각각 A와 B의 장·단점으로 대응하고 있음을 확인하였다.

4.3. 연구 결과

본 연구는 조명의 실제 및 가상 환경 프로토타입을 통한 평가 가능성을 비교 분석하였다. 이를 통해 B 평가 방식은 선행 연구에서 지목된 시간 단축과 노력 절감 그리고 <Table 1>에서 언급된 형상, 크기, 색상 등을 주로 판단하는 기존 VR 평가와는 차별점이 있음을 알리며, 조명 디자인의 다양한 속성 중 환경 요인 외 영역을 다각도로 평가하는 데 이점이 있는 것으로 판단된다. 이를 <Table 14>로 정리하였다.

<Table 14> Research Conclusion

요소	평가	결론요약	평가 가능조명의 속성 <Table 6>	IDI응답 경향 <Table 12>	A/B 프로토타입별 특징(FGI) <Table 5>
만족성 (Happy)	장점	B>A	환경 요인(공간감)	VP1, VP2, VP3, VP4	피드백 처리, 수정 기능, 테스트 환경
인체공학성 (Ergonomic)	단점	B<A	형상 모든 요인 (무게/재질/형태/조작감)	VN4	현실감
신뢰성 (Reliable)			광원 모든 요인	VN1, VN2, VN3,	현실감
실현성 (Feasible)			(작동, 광량, 색온도)	VN1, VN2, VN3, VN4	현실감

또한, FGI를 통해 도출된 평가 가능한 조명의 속성 및 IDI응답 경향을 실험 결과와 함께 대조하였다. 특히, p-value 값과 Cohen's D를 기준으로 확인하였을 때 유효한 결과로 도출된 만족성(Happy), 인체공학성(Ergonomic), 신뢰성(Reliable), 실현성(Feasible)의 4요소를 중심으로 각 환경의 장단점을 평가하였다. 가상 환경에서는 만족성이 높게 평가되었는데, 이는 가상 환경의 피드백 처리의 신속성과 수정 기능의 용이성 때문으로 분석된다. 가상 환경의 주요 장점으로는 다양한 각도와 거리에서 조명을 확인할 수 있는 편리성, 빠른 수정 가능성, 실시간으로 변경할 수 있는 외관의 CMF, 전구 교체 없는 광량 및 색온도 조절, 다양한 테스트 환경 설정의 가능성이 사용자 만족도를 높이는 요소로 작용하였다. 가상 환경의 신속하고 반복적인 수정 가능성은 사용자들이 흥미와 몰입감을 높게 느끼는 요인으로 작용하였다. 이러한 결과는 가상 환경 평가가 높은 몰입감을 제공한다고 밝힌 김현정(Kim, 2023)의 주장과 일치하며, 시간 및 노력 절감 측면에서도 가상 환경 프로토타입이 높은 강점을 갖고 있다는 이창선(Lee & Lee, 2006)의 주장을 IDI 결과를 통해 뒷받침하였다. 낮은 현실감은 실제 제품의 크기 및 무게감을 정확하게 파악하기 어렵게 만들고, 주변 환경에 대한 빛의 영향을 완전히 시뮬레이션하는 데 한계가 있어 물리적 체험이 어려운 점이 단점으로 지적되었다. 또한, 테스트를 처음 접하는 사용자에게 가상 환경의 조작 방법이 복잡하게 느껴지는 점도 단점으로 분석되었다. 반면, 실제 환경에서의 프로토타입 평가는 인체공학성, 신뢰성, 실현성 요소에서 가상에 비해 선호도가 높았는데, 이는 실제 환경에서 물리적 상호작용과 직접적인 제품 조작이 가능하기 때문으로 물리적 상호작용은 사용자에게 더 높은 현실감과 만족감을 제공하는 것으로 확인되었다. 실제 환경에서는 제품과 주변 환경과의 상호작용을 통해 빛의 효과가 명확하게 평가되므로, 빛의 반사와 확산을 자연스럽게 경험할 수 있다는 점이 큰 장점으로 작용한다.

5. 결론

5.1. 연구 결론

본 연구는 실제 환경과 가상 환경의 조명 프로토타입 평가 방식을 비교하여 각 평가 방식의 강점과 한계를 분석하였고, 디자인 프로세스의 최종 단계에서 VR을 도입하여 실제 환경에서의 조명 프로토타입 평가를 가상 프로토타입 평가로 대체 가능한지 검증하고자 하였다.

기존 연구들이 가상 환경 평가를 주로 제품의 형태, 크기, 색상 등 시각적 특성 위주로 수행한 반면, 본 연구는 조명 디자인이 가진 다양한 속성과 사용자 경험 요소를 종합적으로 평가할 수 있는 가능성에 주목하였다. 연구 결과, 가상 환경은 즉각적인 피드백 처리, 용이한 수정 기능, 광량 및 색온도의 실시간 조정 기능 등으로 인해 만족성 측면에서 실제 환경 대비 유의미한 우위를 나타냈다. 그러나 가상 환경 평가에서는 현실감의 부족으로 인해 크기, 무게감 등의 물리적 속성 파악이 어렵고, 빛의 자연스러운 확산과 반사 표현에 한계가 있으며, 초기 조작 과정의 복잡성으로 인해 인체공학성, 신뢰성, 실현성 항목에서 실제 환경에 비해 상대적으로 낮은 평가를 받았다. 반면, 실제 환경 평가는 직접적인 물리적 체험을 통해 사용자에게 명확한 제품 정보를 제공하여 높은 신뢰성과 실현성을 나타냈다.

5.2. 후속 연구 및 제안

신뢰성, 실현성은 주요 특징의 항목이 동일하게 중복되는 경향을 공통으로 보여, 세부 요소를 파악하여 두 요소에 대한 사용자 경험을 향상하기 위해 후속 연구에서 재평가가 필요하다. 또한 장점은 강화하고 단점은 개선하기 위해 다음 방안을 고려해야 한다. 첫째, 가상 환경의 물리적 실제감을 보완하기 위해 정밀한 시뮬레이션 기술 및 피드백 시스템의 구현이 요구된다. 구체적으로, 가상 환경 내에서 조명의 현실성을 높이기 위해 햅틱 기술을 활용하여 사용자에게 조명의 무게감과 부피감과 같은 물리적 속성을 명확하게 전달하는 피드백 시스템 도입이 필요하다. 또한 실제 조명 데이터를 적용하여 주변 환경과 빛 간의 상호작용을 보다 정밀하게 구현함으로써 가상 환경 내 조명의 현실적 표현을 강화할 필요가 있다. 둘째, 가상 환경에서의 초기 조작 난이도를 낮추기 위해 직관적인 인터랙션 디자인 개선이 필요하다. 이를 위해 가상 환경에 익숙하지 않은 사용자도 쉽게 접근할 수 있도록 사용자 친화적인 UI와 간소화된 조작 방식을 개발하여, 평가 참여자가 자연스럽게 편안하게 조명을 제어할 수 있도록 지원해야 한다. 또한, 다양한 배치 옵션을 실시간으로 테스트할 수 있도록 인터페이스를 구성하여 사용자가 제품의 배치와 환경적 맥락을 즉각적으로 조정할 수 있어야 한다. 구체적으로, 광원 렌더링 기술을 개선하여 빛과 주변 환경 간 상호작용 시뮬레이션의 현실감을 높이고, 동작 기반의 직관적인 컨트롤러나 제스처 인식 인터페이스 등을 적용하여 누구나 쉽게 가상 환경 내의 조명 프로토타입을 자유롭게 조작하고 평가할 수 있도록 설계해야 한다. 다양한 배치 옵션을 실시간으로 테스트할 수 있도록 해야 한다. 구체화 방안으로 광원 렌더링 기술의 개선을 통해 빛의 자연스러운 반사와 확산을 보다 정확히 재현하고, 동적 배치 기능을 도입하여 사용자가 가상 환경 내에서 프로토타입을 자유롭게 이동시키고 다양한 배치 옵션을 실시간으로 평가하여야 한다. 셋째, 다양한 환경 조건 하에서의 제품 평가가 가능하게 해야 한다. 구체화 방안으로, 환경 시뮬레이션 기능을 추가하여 사용자가 날씨, 시간대, 주변 환경을 실시간으로 변경할 수 있게 함으로써 공간감을 다각도로 평가하여야 한다. 넷째, 협업 형 VR 프로그램을 개발할 필요가 있다. 가상 환경의 특수성을 활용하여 다수의 사용자가 동시에 상호작용을 하며 프로토타입을 평가하고 피드백을 제공하는 협업형 VR 환경에서의 프로토타입 평가 프로그램 제작을 통해 사용자 간 상호작용을 강화하고, 평가 과정에서 실제감을 개선할 수 있을 것으로 기대한다. 개발 이후, 개선된 프로그램을 기반으로 사용자 평가와 만족도에 관한 추가 연구를 진행함으로써, 가상 환경 평가 방식의 활용 가능성을 더욱 확대할 수 있을 것으로 보인다. 본 연구를 통해 가상 환경에서의 프로토타입 평가를 통한 조명 디자인 프로세스의 효율성과 실용성 향상에 기여하기를 희망한다.

References

- Adidas Paris: Innovation meets fashion.* (n.d.). Zero One Studio.
<https://zeroonestudio.com/adidas-paris/> (accessed 2024, August 13)
- An, H., & Lee, S. (2022). User experience (UX) analysis of advertising platform mobile applications for culture and arts content: Critical case study based on the UX Honeycomb model. *Journal of the Korea Contents Association*, 22(9), 1–18.
- An, O. (1991). Psychological estimation of lighting environment over the time. *The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 5(3), 43–53.
- Chaos.* (n.d.). Enscape3d. <https://enscape3d.com> (accessed 2024, September 3)
- Chaos.* (n.d.). V-ray. <https://www.chaos.com> (accessed 2024, September 2)
- Choo, J., & Yoo, B. (2011). Study on application of emotional lighting based on the theory of physiological function by light. *Journal of Basic Design & Art*, 12(3), 511–519.
- Epic Games.* (n.d.). Twinmotion. <https://www.twinmotion.com> (accessed 2024, September 2)
- Explores the future of digital shopping.* (n.d.). IKEA. <https://present.digital/ikea/> (accessed 2024, August 13)
- Guio, R. (2019, January 30). *Ford is using virtual reality to design cars.* MotorTrend.
<https://www.motortrend.com/news/how-ford-uses-virtual-reality-vr-design-cars/>(accessed 2024, September 18)
- Jeon, H., Han, Jang, J., & Han, M. (2017). Trends in application of virtual reality (VR) at home and abroad. *Electronics and Telecommunications Research Institute*, 17(2), 0–0.
- Kim, G. (2023). Analyzing visual directions of lighting in VR animation –Paper Birds PT. 1 & PT. 2-. *Korean Society of Cartoon and Animation Studies*, 70, 41–58.
- Kim, K., Kim, Y., & Roh, S. (2016). Development of user evaluation matrix for specific target: Centered on children product. *Journal of Industrial Design Studies*, 10(2), 47–56.
- Kim, S. (2019). A study on structural elements in design process of media visual information system. *Korea Society of Design Trend*, 24(4), 125–134.
- Kim, Y., & Lee, J. (2020). Implementation guide and evaluation of IAP process for convergence product design. *Journal of Industrial Design Studies*, 14(1), 45–52.
- Lanier, J. (2017). *Dawn of the new everything: Encounters with reality and virtual reality.* Henry Holt and Co.
- Lee, C., & Lee, J. (2006). A study on the suitability of virtual reality (VR) in the reality of product design. *Journal of Digital Design*, 6(1), 315–323.
- Lee, E., & Park, J. (2019). Evaluation factors to improve education of design thinking process. *Research in Communication Design*, 66, 201–214.
- Lee, J., & Ban, Y. (2016). A total design process using design structure matrix. *Society of Design Convergence*, 17(5), 77–92.
- Lumion.* (n.d.). Lumion. <https://lumion.com> (accessed 2024, September 2)
- Luxion.* (n.d.). KeyShot. <https://www.keyshot.com> (accessed 2024, September 2)
- Niru, K. (2018, March 29). *Siemens drives into 3D car design with new innovations.* 3Dnatives.
<https://www.3dnatives.com/en/siemens-3d-car-290320184/> (accessed 2024, August 12)
- NVIDIA Omniverse AEC experience.* (2020, August 4). NVIDIA Blogs.
<https://blogs.nvidia.co.kr/blog/omniverse-aec-experience/> (accessed 2024, August 13)
- Park, I. (2023). A study on the development of public good product designs based on step-by-step characteristics of a design process. *Brand Design Association of Korea*, 21(4), 5–16.
- Song, H. (2024). A study on light design process using AI and usability evaluation. *KSDS Conference Proceeding, Daejeon.*
- Song, H. (2025). A study on user experience between light and realism for virtual reality evaluation. [Unpublished master's thesis]. *Hongik University.*
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2011). *Product design and development.* McGraw Hill.

- Yoo, S. (2018). Development of block coding touch UX design for user-centered experience of collaborative robot control. *Society of Design Convergence*, 15(5), 21-35.
- Zhang, C., & Jang, C. (2023). A study on the importance of factors influencing user experience in mobile travel applications. *The Treatise on The Plastic Media*, 26(3), 1-8.