

# 설계검토를 위한 가상현실·증강현실 기술의 활용 효과 비교 분석

## Comparative Analysis of Visual Presentation and User Acceptability of Virtual/Augmented Reality Application for Architectural Design Review

이진강<sup>1)</sup>, 최민지<sup>2)</sup>, 임윤지<sup>3)</sup>, 서준오<sup>4)</sup>

Lee, Jin-Gang<sup>1)</sup> · Choi Min-Ji<sup>2)</sup> · Lim, Yun-Ji<sup>3)</sup> · Seo, Joon-Oh<sup>4)</sup>

Received September 30, 2019; Received October 15, 2019 / Accepted October 15, 2019

**ABSTRACT:** Visualized information platforms through building information modeling (BIM) such as virtual reality (VR) and augmented reality (AR) improves the efficiency of architectural information exchange. Despite that, less effort has been directed to evaluate the effectiveness of different BIM visualization platforms for architectural design review. This study fills these gaps and compares three BIM visualization tools for reviewing diverse architectural review factors and technology acceptance degree. Three main BIM visualization tools, which are desktop-based, virtual reality-based and augmented reality-based, were employed and different architectural review factors and user's technology acceptance degree was measured. As a result, VR and AR environment showed better visual presentation than desktop environment during design review. In terms of the technology acceptance level, VR and AR environments have received higher ratings compared to desktop environments. The detailed findings provide guidelines for participants and researchers involved in design review process to selectively adopt VR and AR system to various architectural design review components.

**KEYWORDS:** Building Information Modeling, Design Review, Virtual Reality, Augmented Reality

**키 워 드:** 건설정보모델, 설계검토, 가상현실, 증강현실

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

건축, 구조, 시공, 설비, 기계 등 다양한 분야의 정보가 공유되는 설계 검토과정에서 정확한 전달을 바탕으로 한 의사소통은 효과적인 협업을 위해 필수적이며(Campbell & Wells 2003; Soibelman et al. 2003), 협업은 건설프로젝트 최종 결과물의 품질 및 사용자의 만족도를 높이는 데 중요하다 (East et al. 2004). 설계 협업과정에서 정보 간 불일치는 가장 큰 문제점으로 지적받고 있으며, 오늘날 건설프로젝트가 대형화, 복잡화, 고도화됨에 따라 기존 2D 도면 기반의 정보 공유방식은 한계를 보

였다 (Spillinger & Staff, 2000). 이에 시각정보를 보다 효과적으로 전달하기 위해 3D 모델기반의 BIM(Building Information Modeling; 이하 BIM), 가상현실 (Virtual Reality; 이하 VR), 증강현실 (Augmented Reality; 이하 AR) 등의 기술이 활용되고 있다 (Azhar, 2011). 해당 기술들은 실제 환경을 3차원으로 구현한 가상의 건물 모델을 통해, 설계 협업단계에서 프로젝트 참여자 간의 정보 전달의 정확성을 높일 수 있다. (Lee & Kim, 2008). 이중 보편화된 3D BIM 모델과 비교하면 아직은 적용단계라 볼 수 있는 VR/AR 기술은 사용자에게 건물 모델에 대해 시각적, 공간적으로 더욱 현실적인 체험을 제공하여 설계정보에 대한 정확한 이해를 도울 수 있을 것으로 기대되고 있다.

<sup>1)</sup>정회원, The Hong Kong Polytechnic University, Department of Building and Real Estate, Postdoctoral Research Fellow (jingang.lee@polyu.edu.hk)

<sup>2)</sup>정회원, 서울기술연구원, 수석연구원 (mjchoi@sit.re.kr)

<sup>3)</sup>학생회원, The Hong Kong Polytechnic University, Department of Building and Real Estate, Undergraduate Student (yunji.lim@connect.polyu.hk)

<sup>4)</sup>정회원, The Hong Kong Polytechnic University, Department of Building and Real Estate, Assistant Professor (joonoh.seo@polyu.edu.hk) (교신저자)

이와 같은 VR/AR 기술의 건설산업에서의 활용 가능성 및 대효과에 많은 연구가 이루어지고 있지만, 설계단계에서의 위 기술들의 효과에 대해 초점을 맞춘 연구는 부족하다 (Kim et al., 2013, Wanget al., 2013). 특히, VR, AR 기술을 활용하기 위해서, 먼저 VR, AR을 활용할 때, 기존 3D 모델을 모니터로 볼 때와 비교하여 사용자의 건물정보 인식 및 체험에 긍정적인 효과를 줄 수 있는지 비교 분석하는 연구가 이루어져야 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

이에 본 연구에서는 3D BIM 모델, VR, AR 기술의 효과를 건물의 시각적 정보 전달에 초점을 맞추어 분석하고자 한다. 3D 모델 정보를 모니터, VR, AR 총 3가지 시스템을 대상으로 구현하고 이를 체험한 사용자를 대상으로 설문조사를 수행하여 그 결과를 비교 분석하는 순서로 연구를 진행하였다. 시각적 정보의 품질 (색상, 재질, 모양, 채광, 자연스러움, 공간감), 기술적 성숙도 수준 (심리적, 물리적 요구 사항; Hart Staveland, 1988), 기술의 유용성 및 활용성, 사용자 만족도 (Venkatesh Davis, 2000) 등의 변수에 대한 설문조사를 통해 개별 기술의 상대적인 효과를 측정 및 분석하였다. 본 설문 결과를 통해 다양한 시각정보 요소에 대한 개별 기술의 효과를 분석하고 VR/AR 기술의 건축 설계 단계에서의 활용 가능성을 제안한다.

## 2. 건설산업에서의 VR/AR의 활용

### 2.1 설계단계에서의 VR/AR의 활용

건설프로젝트 설계단계에서는 건축, 구조, 시공, 설비, 기계 등 다양한 참여 주체들이 개별 설계정보를 공유하고 검토하며 최종 결과물을 준비한다 (East et al., 2004). 설계단계에서 설계 오류, 정보 간 불일치 등을 확인하는 설계검토 업무는 시공단계에서 발생할 수 있는 설계변경, 재작업 등을 사전에 줄일 수 있어 프로젝트 비용 및 일정 등의 성과에 큰 영향을 미친다 (Spillinger & Staff, 2000). 하지만 전통적인 2D 도면 기반의 설계검토 업무는 부정확한 정보 전달로 많은 설계변경, 재작업 등 문제를 보여 주었다. 오늘날 건설프로젝트의 대형화, 복잡화, 고도화됨과 동시에 참여 주체가 다양해짐에 따라, 효과적인 의사소통을 위한 정확한 정보 전달의 중요성은 더욱 주목받고 있다. 설계단계에서 2D 도면 기반의 부정확한 정보 전달 문제는 3차원으로 구현한 건물 모델을 통해 해결될 수 있다고 하였으며 (Lee and Kim 2018), 기술의 발전과 함께 3차원으로 시각화한 건물정보를 활용하는 기술이 건설산업 전반에 빠르게 퍼지고 있다. 특히 BIM은 3D 모델을 기반으로 각 참여 주체별 정보를 통합하여 공유할 수 있게 하여 정보 전달을 효과적으로 도울 방안으로 적용됐으며, BIM 활용

의 효과는 많은 프로젝트 사례와 연구를 통해 검증되었다 (CRC Construction Innovation, 2007; Eastman, et al. 2011). BIM 모델을 기반으로 건설프로젝트 전 단계에 걸쳐 필요한 물리적 형상 정보, 관련 속성정보들을 호환 가능한 방법으로 생성하고 관리하기 때문에 효과적인 정보의 관리 및 전달을 가능케 하며, 특히 설계단계에서 추가적인 도면생성 작업 등을 줄이고, 간섭 체크 등의 기술을 통해 설계검토업무에서 큰 생산성 향상을 보여 주었다 (Azhar, 2011).

이처럼 건물정보를 공유하는 방식은 2D 도면에서 3D 모델을 활용하는 방식으로 바뀌어 왔으며, 최근에는 VR, AR 등의 기술을 활용한 방식이 개발되고 그 활용성이 다양한 방면으로 검토되고 있다 (Aromaa and Väänänen, 2016). VR은 컴퓨터 그래픽으로 이루어진 공간을 구현하는 기술을 말하며, 그중 몰입형 가상현실 기술 (Immersive VR; IVR)는 사용자가 그 속에 있는 것처럼 체험하게 하는 기술로 사용자는 가상의 공간을 다양한 각도 위치에서 공간감 있게 체험할 수 있다. 기존의 BIM 모델로 구현한 건물정보를 모니터로 확인하는 것은 비 몰입형 가상현실 (Non-immersive VR)이라 부를 수 있으며, CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), HMD (Head Mounted Display) 등의 장비를 활용하는 가상현실 기술을 부분 몰입형 가상현실 (semi-immersive VR) 또는 완전 몰입형 가상현실 (fully-immersive VR) 이라 부른다 (Figure 1). 최근 HMD (Head Mounted Display), 게임엔진 (Game Engine)과 같은 장비 및 기술이 발전함에 따라 사용자가 체험할 수 있는 몰입형 가상현실(IVR)의 수준이 고도화되었다. VR이 이미지, 주변 배경, 객체 등 가상의 정보 전체를 그래픽으로 만들어 보여 주는 반면, AR은 현실 공간에 추가되는 가상의 정보만 컴퓨터 그래픽으로 구현하는 기술을 말한다 (Van Krevelen & Poelman, 2010). 홀로렌즈(HoloLens) 또는 스마트폰 카메라 등의 장비를 활용하여 현실 공간 위에 구현된 가상의 객체를 확인할 수 있다.

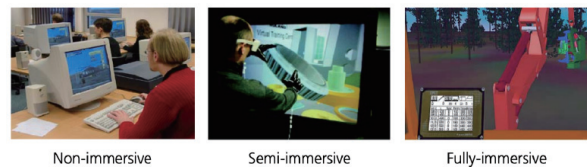


Figure 1. Types of Virtual Reality

### 2.2 VR/AR 기술 관련 연구 동향

가상현실 기술은 프로젝트 참여자가 사전에 가상의 건물정보를 보다 현실감 있게 체험할 수 있게 하여 시공 전 단계에서 의사소통의 효과를 높여 사용자의 만족도를 높일 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한, 시공단계에서의 설계검토 과정에서도 기존의 도면으로는 찾기 어려웠던 설계 오류를 찾아내는데 증강현실 기

술이 효과적일 것으로 기대되고 있다 (Park et al., 2003). 이외에도 많은 연구자가 가상현실 및 증강현실 기술의 활용 가능성을 높이 평가하고, 건축 설계, 시공 현장관리뿐만 아니라 안전 교육, 사용자 에너지 소비패턴 분석 등에 활용하려는 다양한 연구가 진행되고 있다 (Huang et al., 2007).

이처럼 VR/AR 기술의 구현 및 관련 기술 개발, 해당 기술의 프로젝트 관리 분야 적용에 초점을 맞춘 연구들이 많이 이루어졌으며 (Kim et al. 2013; Wang et al. 2013), VR/AR 기술의 활용을 통해 얻을 수 있는 효과에 대해 설명하였다. AR 기술은 시공 단계 설계 오류 검토업무에서 물리적으로 불편한데도 오류를 찾아내는 데 효과적임을 보여 주었고 (Wang and Dunston, 2008), 반면에 공간 배치 업무에서 2D 기반의 정보가 HMD를 활용한 방식보다 더 적합하다고 하였다(Wang and Kim, 2009).

하지만 해당 연구들은 대부분 기술의 공급자 관점에서 기술이 효과를 설명하였으며, VR 또는 AR 기술이 프로젝트 관리 업무에 어떠한 방식으로 영향을 미치는지 분석하는 데 한계를 보였다. 이에 가상현실을 체험하는 사용자 관점에서 비교 분석하는 연구를 통해서 기술의 공급자와 사용자의 인식 차이를 극복할 필요가 있다. 그리고 VR/AR 기술의 사용 효과에 대한 보다 일반화된 결과를 얻기 위해서는 사용자의 인적 요소 (human factors)를 고려하고 다수의 실험 대상자를 통한 비교분석 연구가 필요하다고 볼 수 있다. 또한, 기존의 연구는 대부분 기존의 방식과 VR 또는 AR 기술 중 하나의 기술을 비교하였는데, 기술을 도입하려는 사용자에게 가이드라인을 제공할 수 있는 비교 분석하는 연구가 필요하다고 할 수 있다.

### 3. 연구 방법론

#### 3.1 실험 개요

이에 본 연구에서는 3D 모델을 데스크탑 모니터, VR, AR 세 가지 환경에서 구현하고 설계검토업무 시 시각적 정보 전달에 초점을 맞추어 사용자가 느끼는 효과를 비교 분석하고자 한다. 총 30명의 실험자를 임의로 3개의 그룹으로 나누어 각각 데스크탑 모니터, VR, AR 기기를 활용하여 3D 건물 모델을 체험하고 설계 검토 업무를 수행한 뒤, 모델의 시각적 요소 및 기술의 성숙도 수준을 설문조사를 통해 조사하였다.

1층 높이의 주거용 건물을 모델링 하여 실험에 활용하였다 (Figure 2). 해당 모델은 거실, 침실, 화장실 등 총 7개의 공간으로 구성되어있으며, 공간별로 색상과 재질인 다른 벽재, 바닥재, 가구 등이 각각 다르게 갖춰져 있다. BIM 모델을 게임엔진을 활용하여 데스크탑, VR, AR 다른 환경에서 같은 크기로 체험할 수 있도록 구현하였다 (Figure 3).



Figure 2. 3D BIM Model for Design Review

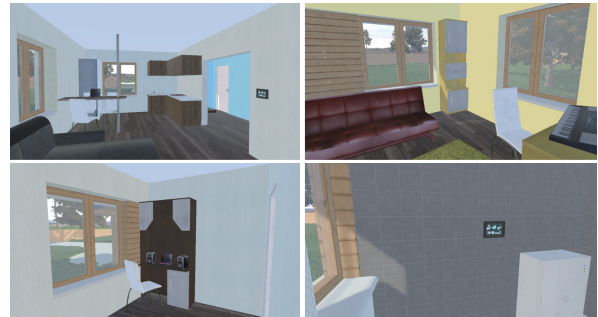


Figure 3. Interior View of 3D BIM Model

참여자는 설계검토과정에서 간단한 기기 조작을 통해 모델을 검토할 수 있는 기능을 실험 전에 숙지하였다. 모니터로 모델을 확인하는 그룹은 데스크탑을 통해 모델을 검토하며, 회전, 줌 인/아웃 기능을 사용하였다. VR사용 그룹은 HTC사의 Vive HMD를 착용하고 키보드 조작을 통해 건물 모델 내부를 이동하며 모델을 검토하였다. AR사용 그룹은 Microsoft사의 HoloLens를 착용하고 정해진 장소에 증강현실로 구현된 건물 모델 내부를 이동하며 모델을 검토하였다 (Figure 4). Autodesk사의 Revit으로 모델링 한 3D BIM 모델을 VR로 구현할 때, VR기기 사용 시에는 Stream VR을 활용하였고, AR기기 사용 시에는 Vuforia를 활용하였다.



Figure 4. Display Platform for Each Subject Group

#### 3.2 설문 개요

참여자는 설계검토업무 수행한 후, 체험한 건물정보에 대한 시각적 표현 및 건물정보 체험방식에 따른 기술의 수용도 (technology acceptance)에 대한 질문에 대해 응답하였다. 건물정보의 시각적 표현에 관련해서는 색상, 재질, 크기, 위치, 자연스러움, 축척 등에 대해 총 11개의 질문에 응답하였으며 그 내용은 Table 1과 같다. 기술의 수용도에 대해서는 사용자가 기술을 어떻게 수용하는지에 관한 기술수용모델(Technology Acceptance

Table 1. Questionnaire for Quality of Visual Presentation

Category	Item
Color	Is the color of material easy to recognize?
	Is the color of the material realistic and vivid?
	Are you satisfied with the presentation quality of the color?
Texture	Is the texture of material easy to recognize?
	Is the texture of material realistic?
	Are you satisfied with the presentation quality of the texture?
Size / Location	Is the size of a specific element (e.g. window/door) easy to recognize?
	Is the position of a specific element (e.g. window/door) easy to recognize?
Naturalness	Overall, rate the naturalness of environment to conduct design review
Scale	Is it easy to review the suitability of height of the area?
	Are you satisfied with the space (area/volume) of the building?

Table 2. Questionnaire for User's Acceptability

Category	Item
Physical Comfort	Design review task with the system was physically demanding in Desktop, VR and AR environment.
Mental Comfort	Design review task with the system was mentally demanding in the Desktop, VR and AR environment.
Perceived Usefulness	Using the system improves my performance in design review
	Using the system in design review increases my productivity
	I find the system to be useful for design review
	Using the system enhances my effectiveness in design review
Perceived Ease of Use	Learning to perform design review in the system was easy for me
	Interacting with the system does not require a lot of my mental effort
	It would be easy for me to become skillful at using the system for design review
	I find it easy to get the system to do what I want it to do
User Satisfaction	I am completely satisfied with using Desktop, VR and AR system for design review
	I feel very confident in using Desktop, VR and AR system for design review
	I believe using Desktop, VR and AR system will increase the quality of construction industry
Behavioral Intention	Assuming I have access to the system, I intend to use it

Model) 관련 연구 (Davis 1989; Davis et al. 1989)에 기초하여 총 14개 질문에 응답하였으며, 그 내용은 Table 3과 같다. 기술 수용모델은 합리적 행위 이론을 바탕으로 어떤 기술을 수용하고 수용에 영향을 미치는 요인들이 무엇인지를 규명하기 위해 제시된 모델로, 기술 수용 과정을 규명하는 가장 일반화된 이론이다.

Table 3. Subjects Background Information

Category	Desktop	VR	AR	%	
Gender	male	5	4	5	47
	female	5	6	5	53
Major	building engineering and management	7	6	4	57
	surveying	3	2	2	23
	civil engineering	0	2	4	20
Knowledge about VR and AR	no knowledge	3	1	3	23
	some knowledge	7	8	7	73
	lots of knowledge	0	1	0	4
Previous experience	AR technology	1	2	1	13
	VR technology	2	4	4	33
	both technology	3	1	1	17
	none of them	4	3	4	37

여기서 지각된 유용성 (perceived usefulness)는 사용자가 기술을 사용함으로써 해당 업무의 성과를 높여줄 것으로 인지하는 정도를 말하며, 사용성 (perceived ease of use)은 기술을 사용하는데 필요한 노력의 정도를 말한다 (Davis 1989). 이외에도 사용자의 물리적, 심리적 요구 수준 (Hart & Staveland, 1988), 사용자 만족도 (Abu-Dalbouh, 2013), 향후 기술 사용 의도 (Scherer et al. 2019) 등에 대한 질문에 응답하였다. 개별 질문에 대한 측정 방식은 5점 리커트 척도(Likert scale)를 활용하였다. 대학교 4학년 학생들을 대상으로 실험을 진행하였으며, 이들은 3D BIM 모델에는 익숙하지만, VR, AR 기술 및 기기에 관련해서는 개별적으로 다른 경험이 있었다. 실험 대상에 대한 자세한 내용은 아래 Table 1과 같다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 설문 응답 결과

Table 4 는 건물정보의 체험방식 (데스크탑, VR, AR)에 따라 사용자가 인식한 시각적 표현 수준을 응답한 결과이다. 전반적으로 AR을 사용한 그룹이 데스크탑, VR을 사용한 그룹에 비하여 재질, 크기, 위치, 자연스러움 등을 인지하는데 높은 품질을 체험했다고 응답하였다.

Table 4. Results Summary on Quality of Visual Presentation

Category	Desktop	VR	AR
Color	3.73 (0.74)*	4.27 (0.78)	4.20 (0.92)
Texture	3.50 (0.90)	3.83 (0.87)	4.17 (0.91)
Size/Location	4.27 (0.64)	4.20 (0.66)	4.63 (0.72)
Naturalness	3.50 (0.97)	3.80 (1.03)	4.20 (0.63)
Scale	3.85 (0.81)	3.60 (1.10)	3.70 (0.96)

\*Mean (Standard Deviation)

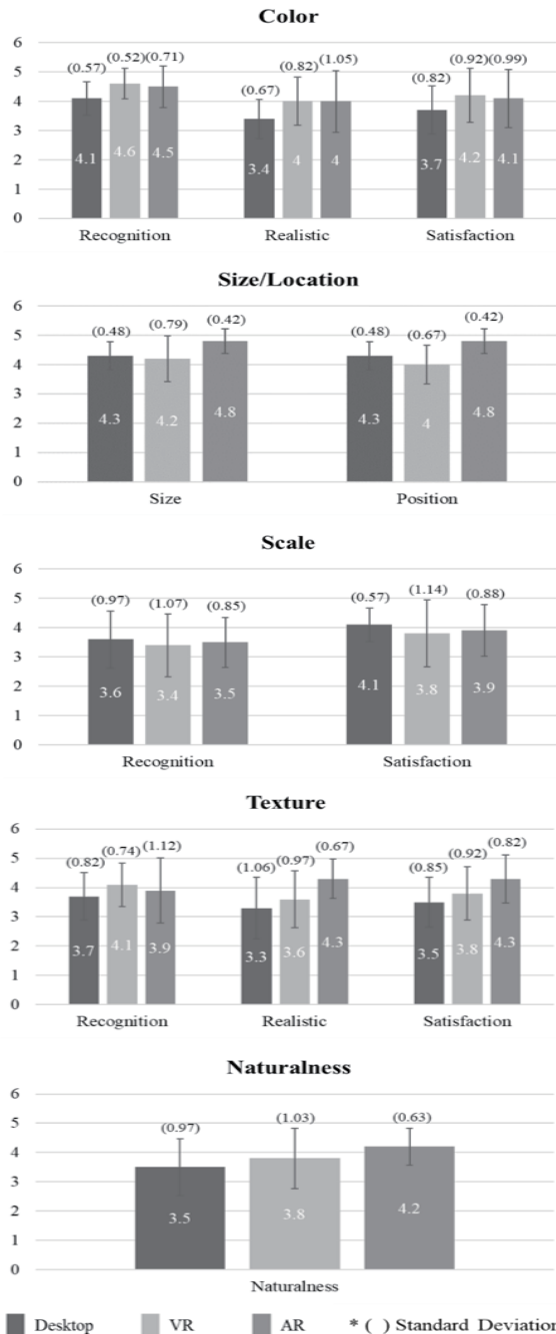


Figure 5. Quality of Visual Presentation in Desktop, VR, and AR by Category

다만 색상의 경우에는 VR, 축척 부분은 데스크탑 모니터를 사용한 그룹이 각각 더 높은 점수를 받았다. 구체적으로 색상 표현 부분에서 VR은 평균 4.27로 AR(4.20), 데스크탑(3.73) 보다 높은 점수를 보였으며, 색상의 인식 및 색상 표현의 만족도 부분에서 각각 평균 4.6, 4.2점으로 가장 높은 점수를 보여 주었다(AR 사용그룹 4.5, 4.1점, 데스크탑 사용그룹 4.1, 3.7점; Figure 5). 또한, 색상의 현실감, 생동감 부분에서는 VR, MR 그룹은 4.0점으로 데스크탑(3.4점)보다 높은 점수를 받았다. 색상 부분과는 다르게 재질의 표현 부분에서는 AR 사용그룹이 4.17점으로 가장 높은 점수를 보여 주었다 (VR 사용그룹 3.83점, 데스크탑 사용그룹 3.50점). 재질 부분은 재질 정보의 인식, 현실감, 만족도 수준을 측정하였는데, AR 사용그룹이 현실감과 만족도 부분에서 가장 높은 점수를 보여 주었지만, 정보 인식 부분은 VR 그룹이 가장 높은 점수를 보여 주었다. 건물 내 객체의 크기 및 위치를 인식하는 부분에서는 AR 사용그룹이 크기와 위치 두 부분에서 가장 높은 점수를 보여 주었으며 VR 사용그룹은 데스크탑 사용그룹보다 다소 낮은 점수를 보였다. 그리고 자연스러움 부분에서는 AR 사용그룹이 평균 4.2점으로 각각 3.8점, 3.5점을 보여 준 VR 사용그룹, 데스크탑 사용그룹보다 높은 점수를 보여 주었다.

Table 5. Results Summary on User's Acceptability

Category	Desktop	VR	AR
Physical comfort	2.10 (0.74)*	2.20 (1.03)	2.40 (0.97)
Mental comfort	2.20 (0.92)	3.30 (1.16)	2.00 (0.67)
Perceived Usefulness	4.08 (0.66)	4.13 (1.11)	4.30 (0.88)
Perceived Ease of Use	3.38 (1.00)	3.63 (1.15)	4.28 (0.88)
User satisfaction	3.97 (0.72)	3.90 (0.92)	4.43 (0.77)
Behavioral Intention	3.90 (0.86)	4.00 (1.15)	4.60 (0.52)

\*Mean (Standard Deviation)work

다음으로 기술의 수용도 측면에서는, Table 5.와 같이 AR 사용그룹이 기술수용수준에서 가장 높은 점수를 보여 주었다. 각각 HMD, Hololens를 착용해야 하는 VR, AR 사용그룹이 물리적 요구 수준에선 데스크탑사용그룹보다 높은 수준을 보여 주었으며, 기기를 착용하고 사용자가 몸을 직접 움직여야 하는 AR 사용그룹이 평균 2.4점으로 VR 사용그룹 (2.2점)보다 다소 높은 점수를 보여 주었다. 심리적 요구 수준은 VR 사용그룹이 평균 3.3점으로 AR 사용그룹 (2.2점), 데스크탑 사용그룹 (2.0점)보다 높은 수준을 보여 주었다. 개별로 VR 환경에 대한 어지럼증세는 다를 수 있지만, 전반적으로 기술 사용에 따른 사용자의 노력이 필요하다고 볼 수 있다.

지각된 유용성 부분은 성능향상, 생산성, 유용성, 효용성 등을

측정하였는데 AR 사용그룹이 평균 4.3점으로 데스크탑 사용그룹 (4.1점), VR 사용그룹 (4.0점) 보다 조금 높은 점수를 보여 주었다 (Figure 6). 구체적으로 성능향상과 효용성 부분에서 AR 사용 그룹이 가장 높은 점수를, 생산성 측면에서는 VR 사용그룹이 가장 높은 점수를 보여 주었다. 지각된 사용성 측면에서도 AR 사용 그룹이 평균 4.28점으로 데스크탑 사용그룹(3.97점), VR 사용 그룹 (3.90점)보다 높은 점수를 보여 주었다. 구체적으로 기술 사용

에 대한 학습, 조작 부분에서도 AR 사용그룹이 높은 점수를 보여 주었는데, 이는 키보드와 마우스를 동시에 사용해야 하는 데스크탑 사용환경과 HMD를 착용하고 키보드를 활용해야 하는 VR 환경에 비해 Hololens를 착용하고 쉽게 움직일 수 있는 AR 환경이 기술의 사용성 측면에서 우수했음을 보여 준다고 할 수 있다. 마지막으로, 사용자 만족도 측면에서도 AR 사용그룹이 평균 4.43 점으로 데스크탑 사용그룹(3.97점), VR 사용그룹 (3.90점)보다 높은 점수를 보였으며, 향후 기술 사용 의도 부분도 마찬가지로 AR 사용그룹이 평균 4.6점으로 VR 사용그룹 (4.0점), 데스크탑 사용그룹 (3.9점)보다 높은 점수를 보였다.

## 4.2 결과 분석

참여자의 응답 결과 AR를 사용한 그룹이 건물정보의 시각적 표현 부분 및 기술에 대한 수용 수준에서 다른 두 그룹보다 전반적으로 높은 점수를 보여 주었다.

색상과 재질 관련 정보를 검토할 때, VR 및 AR 환경이 데스크탑 환경보다 우수한 평가를 받았다. 모델 정보의 자연스러움 측면에서도 마찬가지로 VR 및 AR 환경이 데스크탑 환경보다 우수한 평가를 받았다. 색상정보를 확인할 때는 VR, 재질 정보를 확인할 때는 AR 환경이 상대적으로 더 우수한 평가를 받았는데, 실제 환경에 투명하게 투영되는 AR 객체가 재질 정보는 효과적으로 전달하는 반면, 실감 나는 색상정보를 전달하는 VR 환경과 달리 실제와 다소 다르게 보인다는 의견이 있었다. AR을 사용할 때 모델의 시각적 정보 외에도 사용환경의 조명의 색상, 강도, 위치 등이 시각적으로 정보를 인식하는 데 영향을 미치므로 이에 대한 분석이 추가로 필요할 것이다.

크기 및 위치 관련해서 실험 참여자는 특정 창문이나 문 등의 객체의 크기와 위치를 인지하는 업무를 수행하고 질문에 응답하였다. 이 부분에서는 다른 부분과 다르게 데스크탑 환경이 VR 환경보다 우수한 평가를 받았다. 이는 VR 사용그룹이 기술 사용 시 물리적, 신체적 요구 수준이 높다고 느끼게 했으며 결과적으로 건물 내부를 이동하며 건물 내 공간의 위치, 크기 등을 인식하는 부분에서 AR 사용그룹, 데스크탑 사용그룹보다 낮은 점수를 보이는 이유라고 할 수 있다. AR 사용그룹의 경우 모델 줌 인/아웃, 모델 회전 등의 기능이 없이 내부 이동을 통해 모델을 확인해야 했기에, 건물 내 객체의 크기, 위치 등을 확인하는데 효율적이지 않았다. 실험에서 사용한 모델은 1층 규모의 건물 모델로 간단한 조작으로도 사용자가 원하는 객체를 원하는 위치에서 확인할 수 있었다. 하지만 대형화, 고도화되는 건설프로젝트 모델을 대상으로 기술을 사용할 시에는 사용자가 느끼는 기술적 요구 수준이 높아질 것이므로, VR/AR 환경에서 모델을 조작하는 방법에 대한 기술적 개선이 필요할 것이다. 이와 같은 기술적 과제들이 해결된다면 VR/AR 기술은 건물정보전달의 효과를 더욱 높여 설

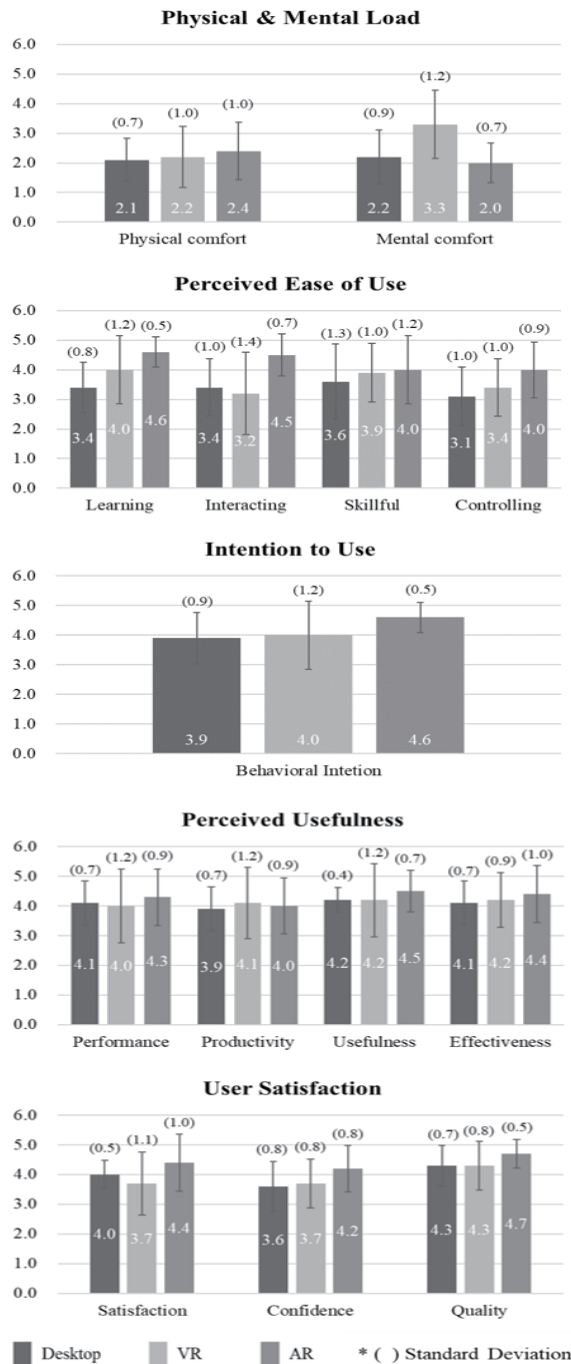


Figure 6. Quality of User's Acceptability in Desktop, VR, and AR by Category

계검토 시 더욱 적극적으로 활용될 수 있을 것이다.

사용자의 기술에 대한 수용 수준에 대한 응답 결과 역시, 설계 검토 업무 수행 시 AR 기술이 활용 유용성, 사용성, 만족도 측면에서 상대적으로 우수한 평가를 받았다. VR 기술은 AR 기술에 비해 낮은 점수를 받았지만, 데스크탑을 활용할 때 보다 기술의 유용성, 사용성 측면에서 우수한 평가를 받았다. VR/AR 각각 기기를 착용하고 조작을 통해 건물정보를 확인해야 했음에도 불구하고, 기술의 유용성, 사용성, 만족도 부분에서 데스크탑 환경보다 높은 평가를 받았다.

본 설문에서, 기술수용모델을 기초로 한 응답 결과는, 기술의 유용성 및 사용성 측면에서 3D BIM 모델을 VR 및 AR 환경으로 구현하는 부분은 배제한 채로 이루어졌다. VR 및 AR 환경 구현은 연구자가 미리 준비해두었으며 실험 참여자는 완성된 모델과 가상환경 아래에 설계검토 업무를 수행하였다. 현재 실무에서 Revit, ArchiCAD 등과 같은 소프트웨어를 활용한 BIM 설계가 보편화되고 많이 이루어지고 있다. 하지만 VR, AR의 구현 및 활용을 위한 게임엔진 및 관련 기기 등의 활용이 보편화되지 않은 상황인 만큼, 실제 업무에 VR, AR 기술을 적용하기까지는 이를 뒷받침하는 기술적 프로세스가 따로 고려되어야 할 것이다.

그리고 많은 실험 참여자들은 VR 환경에서 어지러움, 조작의 어려움 등의 개선이 필요한 많은 사항을 언급하였다. VR 사용그룹은 개별로 정도의 차이는 있었으나 대부분 HMD 사용 시 어지러움이 있었다고 하였는데, 사용자가 느끼는 어지러움은 시각적 정보에 의해 유도되는 멀미 증상(VIMS; visually induced motion sickness)으로 기술 활용에 치명적인 부작용이 될 수 있다(Keshavarz et al., 2015). 사용자가 건물 모델 조작에 익숙하지 않을 때, HMD를 착용한 머리를 더 빠르게, 많이 움직이게 되는데, 이때 멀미 증상이 더 커질 수 있다. 이러한 증상을 줄이고자 하는 방법들이 많은 연구를 통해 시도되고 있으며, 이는 VR 기술이 실제 업무에 도입되기 위해서는 우선 해결되어야 할 과제라고 볼 수 있다. AR 환경에서 착용한 Hololens 또한 장시간 착용할 때 불편하다는 의견이 있었으며, 이는 실제 업무에 도입할 시에는 개선되어야 할 부분이다.

## 5. 결론

가상의 객체를 보다 현실감 있게 전달하는 수단으로 건설산업에서도 VR/AR 기술의 활용이 다양한 분야에서 검토되고 있다. 해당 기술들을 효과적으로 활용하기 위해서는 VR/AR 환경에서 설계검토 시 시각적 정보의 전달이 효과적인지, 업무에 어떠한 방식으로 영향을 미치는지에 대한 분석이 필요하다. 이에 본 연구에서는 설계검토 시 데스크탑, VR, AR 기술의 활용성을 분석

하기 위해 세 가지 기술 환경을 구현하고 실험과 설문을 진행하였다. 30명의 실험 참여자는 데스크탑, VR, AR 각각 10명을 그룹으로 나누어 주어진 기술 환경 아래서 특정 건물정보를 확인하는 설계검토 업무를 수행하였다. 그리고 시각적 정보 전달 효과 및 기술 사용에 따른 효과에 초점을 맞추어 세 가지 기술을 비교·분석하기 위해 건물 객체정보의 시각적 표현 정도와 기술수용모델에 기초한 기술의 유용성, 사용성 등과 관련한 설문에 응답하였다.

응답 결과, 설계검토 업무 수행 시 VR 및 AR 환경이 데스크탑 환경과 비교하여 더 우수한 시각적 정보 전달 효과를 보여 주었다. 특정 기술의 수용 수준 측면에서도 VR/AR 환경이 데스크탑 환경과 비교하여 더 높은 평가를 받았다. AR을 활용했을 때 가장 높은 평가를 받았으며, VR을 활용할 때 또한 데스크탑을 사용했을 때보다 높은 평가를 받았다. 동시에 AR기기는 장시간 사용에 따른 불편함, VR기기는 사용 시에 어지러움에 대한 호소가 있었다. 이는 VR 및 AR 기술이 현업에 활용되려면 우선 해결되어야 할 과제임을 보여 준다.

본 실험은 건축 관련 전공 대학생을 대상으로 하였으며, 사전에 BIM 모델링 및 VR/AR 환경 구축을 연구자가 준비했기 때문에, 실험 과정 및 설문 결과에서 대형화, 고도화되고 있는 건설프로젝트의 설계검토 업무, VR/AR 구현에 요구되는 기술적 프로세스가 설문 응답의 기술적 유용성, 사용성, 만족도 등에 포함되지 않았다. 따라서 실제 현업에서 해당 기술을 적용하기까지 관련 기술적 구현 프로세스 및 실무에 적합한 사용자 인터페이스부터 실험에서 나타난 사용자의 물리적 불편함까지 개선하고 보완해야 할 부분이 많이 남았다. 이외에도 더 크고 복잡한 건설프로젝트를 대상으로 했을 때, VR/AR기술의 활용 가능성, BIM 모델 정보 외에도 VR/AR 기기를 사용하는 환경에 따른 기술의 활용 효과 등 기술, 프로젝트 관리 업무, 사용자 등 다양한 요소를 고려한 연구가 필요할 것이다. 본 연구에서 밝혔듯이, 전달하려는 정보의 종류와 사용하는 기술에 따라 사용자가 느끼는 기술과 업무에 대한 효과 또한 각각 다르게 나타난다. 이에 갈수록 프로젝트 수행구조가 복잡해지고 프로젝트 참여자가 많아져 참여자 간의 사소통, 정보 전달이 중요해지는 만큼, 본 연구의 결과는 프로젝트 참여자 간의 정보 전달의 효과를 높이기 위해 VR/AR 등의 새로운 기술을 활용하는 가이드라인이 될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(19CTAP-C151784-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Abu-Dalbouh, H. M. (2013). A questionnaire approach based on the technology acceptance model for mobile tracking on patient progress applications. *Journal of Computer Science*, 9(6), pp. 763–770.
- Aromaa, S., Väänänen, K. (2016). Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design. *Applied ergonomics*, 56, pp. 11–18.
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and management in engineering*, 11(3), pp. 241–252.
- Benford, S., Greenhalgh, C., Reynard, G., Brown, C., Koleva, B. (1998). Understanding and constructing shared spaces with mixed-reality boundaries. *ACM Transactions on computer-human interaction (TOCHI)*, 5(3), pp. 185–223.
- Blümel, E., Straßburger, S., Sturek, R., Kimura, I. (2004). Pragmatic approach to apply virtual reality technology in accelerating a product life cycle. In *Proc. of International Conference INNOVATIONS*, pp. 199–207.
- Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J., Ganah, A. (2005). Visualization in architecture, engineering and construction (AEC). *Automation in construction*, 14(3), pp. 287–295.
- Broll, W., Lindt, I., Ohlenburg, J., Wittkämper, M., Yuan, C., Novotny, T., Strothmann, A. (2004). Arthur: A collaborative augmented environment for architectural design and urban planning. *JVRB—Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 1(1).
- CRC Construction Innovation. (2007). *Adopting BIM for facilities management: Solutions for managing the Sydney Opera House*, Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A. (1993). Surround-screen projection based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. In *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ACM, pp. 135–142.
- Drettakis, G., Roussou, M., Reche, A., Tsingos, N. (2007). Design and evaluation of a real-world virtual environment for architecture and urban planning. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 16(3), pp. 318–332.
- East, E., Kirby, J., Perez, G. (2004). Improved Design Review through Web Collaboration. *Journal of Management in Engineering*, 20(2), pp. 51–55.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Hart, S. G., Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology*. North-Holland, 52, pp. 139–183.
- Huang, T., Kong, C. W., Guo, H., Baldwin, A., Li, H. (2007). A virtual prototyping system for simulating construction processes. *Automation in construction*, 16(5), pp. 576–585.
- Issa, R. R. (2000). Virtual Reality: A solution to seamless technology integration in the AEC industry. In *Construction Congress VI: Building Together for a Better Tomorrow in an Increasingly Complex World*, pp. 1007–1013.
- Keshavarz, B., Stelzmann, D., Paillard, A., Hecht, H. (2015). Visually induced motion sickness can be alleviated by pleasant odors. *Experimental brain research*, 233(5), pp. 1353–1364.
- Kim, M., Wang, X., Love, P., Li, H., Kang, S. C. (2013). Virtual reality for the built environment: a critical review of recent advances. *Journal of Information Technology in Construction*, 18(2013), pp. 279–305.
- Lee, N., Kim, Y. (2018). A Conceptual Framework for Effective Communication in Construction Management: Information Processing and Visual Communication. In *Construction Research Congress 2018*, pp. 531–541.
- Majumdar, T., Fischer, M. A., Schwegler, B. R. (2006). Conceptual design review with a virtual reality mock-up model. In *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, pp. 2902–2911.
- Milgram, P., Takemura, H. (1994). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *SPIE: Telemanipulator and Telepresence Technologies*.
- Ormerod, M., Aouad, G. (1997). The need for matching visualisation techniques to client understanding in the UK construction industry. *Information Visualization*, 1997. *Proceedings. 1997 IEEE Conference on*, pp. 322–328.



- Park, C. S., Lee, D. Y., Kwon, O. S., Wang, X. (2013). A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology based data collection template. *Automation in Construction*, 33, pp. 61–71.
- Sharples, S., Cobb, S., Moody, A., Wilson, J. R. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*, 29(2), pp. 58–69.
- Soibelman, L., Liu, L. Y., Kirby, J. G., East, E. W., Caldas, C. H., Lin, K. Y. (2003). Design review checking system with corporate lessons learned. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5), pp. 475–484.
- Spillinger, R., Staff, N. (2000). Adding value to the facility acquisition process best practices for reviewing facility designs (Technical report (Federal Facilities Council) ; #139). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM, pp. 73–80.
- Tonn, C., Donath, D., Petzold, F. (2007). Simulating the atmosphere of spaces. In *25th eCAADe Conference Proceedings*. Frankfurt, Germany, pp. 169–176.
- Van Krevelen, D. W. F., Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, 9(2), 1.
- Venkatesh, V., Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management science*, 46(2), pp. 186–204.
- Waly, A. F., Thabet, W. Y. (2003). A virtual construction environment for preconstruction planning. *Automation in construction*, 12(2), pp. 139–154.
- Wang, X., Dunston, P. S. (2008). User perspectives on mixed reality tabletop visualization for face-to-face collaborative design review. *Automation in construction*, 17(4), pp. 399–412.
- Wang, X., Dunston, P. S. (2011). Comparative effectiveness of mixed reality-based virtual environments in collaborative design. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 41(3), pp. 284–296.
- Wang, X., Kim, M. J. (2009). Exploring presence and performance in mixed realitybased design space. In *Mixed reality in architecture, design and construction*. Springer, Dordrecht, pp. 75–90.
- Wang, X., Kim, M. J., Love, P. E., Kang, S. C. (2013). Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. *Automation in Construction*, 32, pp. 1–13.
- Witmer, B. G., Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), pp. 225–240.