

석사학위논문

혼합현실과 3D 오브젝트를 이용한
원격협업 시스템 사용성에 대한 연구

2023년

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트융합기술컨설팅

김 남 영

석사학위논문
지도교수 정진택

혼합현실과 3D 오브젝트를 이용한 원격협업 시스템 사용성에 대한 연구

A Study on the Usability of Remote Collaboration
System Using Mixed Reality and 3D Object

2023년 6월 일

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트융합기술컨설팅

김 남 영

석사학위논문
지도교수 정진택

혼합현실과 3D 오브젝트를 이용한 원격협업 시스템 사용성에 대한 연구

A Study on the Usability of Remote Collaboration
System Using Mixed Reality and 3D Object

위 논문을 컨설팅학 석사학위 논문으로 제출함

2023년 6월 일

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트융합기술컨설팅

김 남 영

김남영의 컨설팅학 석사학위 논문을 인준함

2023년 6월 일

심사위원장 이형용 (인)

심사위원 주형근 (인)

심사위원 정진택 (인)

국 문 초 록

혼합현실과 3D 오브젝트를 이용한 원격협업 시스템 사용성에 대한 연구

한성대학교 지식서비스&건설링대학원
스 마 트 용 합 컨 설 링 학 과
스 마 트 용 합 기 술 컨 설 링
김 남 영

본 연구에서는 건설 현장 관리의 원격협업을 지원하기 위한 혁신적인 방법을 제시하며, 특히 사용자 사용성을 중심으로 초점을 맞춥니다. 건축 정보 모델링의 강력한 데이터 호환성과 혼합현실 기술의 시각적 인식 개선 능력을 통합함으로써 원격협업의 새로운 차원을 제시합니다.

본 연구에서 제안하는 시스템은 현장 작업자 시스템, 통신 서버, 그리고 사무실 관리자시스템의 세 가지 주요 컴포넌트로 구성되어 있습니다. 혼합현실 스마트 글래스 기반의 현장 작업자 시스템을 사용하면 현장 작업자가 손가락 가리키기 신호를 사용하여 3D 가상 건축 정보 모델링 객체를 조작하고, 이를 사무실 관리자와 공유할 수 있습니다. 또한, 현장 작업자 시스템은 현장의 실제 이미지와 가상 건축 정보 모델링 요소를 혼합하여 혼합현실 캡처 비디오를 생성하며, 이를 통신 서버를 통해 사무실 관리자시스템으로 전송합니다.

사무실 관리자시스템은 데스크탑이나 태블릿 기반으로 운영되며, 사무실 관리자가 현장 작업자의 시야를 실시간으로 확인하고 음성 지시를 제공하는 데 사용됩니다. 이 시스템을 통해 현장 작업자와 사무실 관리자 간의 효과적인 원격협업이 가능해집니다.

이 시스템의 사용성과 실제 적용 가능성을 평가하기 위해 사용자 테스트를 실시하였습니다. 이 테스트는 시스템의 이해도, 사용 편의성, 그리고 원격 지시와 협업의 효과성 등에 초점을 맞추었습니다. 대부분 참여자는 이 시스템의 사용성에 대해 긍정적인 평가를 하는 등 전반적으로 높은 만족도를 보였습니다.

본 논문은 건축 정보 모델링과 혼합현실을 통합하여 원격협업을 지원하는 새로운 시스템의 개발 과정을 상세하게 기술하고, 사용자 사용성에 관한 광범위한 테스트 결과를 분석하고 논의하였습니다. 이를 통해 현장 관리의 효율성과 협업의 품질을 향상하는 방법에 대한 새로운 이해를 제공하고자 하였습니다. 이 연구는 "혼합현실과 3D 오브젝트를 이용한 원격협업 시스템 사용성에 대한 연구"라는 주제 아래 진행되었습니다.

【주제어】 원격협업, 혼합현실, 건축 정보 모델링, 헤드 마운트 디스플레이

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 절 연구의 범위 및 방법	3
제 2 장 문헌고찰	4
제 1 절 선행연구	4
1) 혼합현실에 대한 선행연구	4
2) 원격협업에 대한 선행연구	7
제 2 절 AEC산업에서 혼합현실에 대한 고찰	9
제 3 장 시스템 개발	11
제 1 절 개발 환경	11
제 2 절 시스템 설계	13
제 3 절 현장 작업자 시스템	15
제 4 절 통신 서버	21
제 5 절 사무실 관리자시스템	30
제 4 장 사용자 사용성 테스트	38
제 1 절 사용성 테스트 설계	38
제 2 절 사용성 테스트 결과	40
제 3 절 고찰	45
제 5 장 결론	48
제 1 절 요약	48

제 2 절 한계	49
부록	51
설 문 지	51
참 고 문 헌	53
1. 국내문헌	53
2. 국외문헌	53
ABSTRACT	57

표 목 차

[표 1] AR, VR, MR 차이점	4
[표 2] 개발 환경	11
[표 3] 홀로렌즈2 기술 사양	12
[표 4] 시스템을 사용한 연구 참여자에 대한 설문 응답	41
[표 5] 시스템을 사용하지 않은 연구 참여자에 대한 설문 응답	42

그림 목 차

[그림 3-1] 본 시스템 전체적인 구조 예시	14
[그림 3-2] 현장 작업자 시스템 구조	16
[그림 3-3] 현장 작업자 시스템 보안 예시	16
[그림 3-4] 비밀번호 암복호화 스크립트 예시	17
[그림 3-5] 홀로렌즈2 핸드 트래킹 예시	18
[그림 3-6] QR 코드 다운로드 예시	19
[그림 3-7] 현장 작업자 시스템 원격협업 모듈 구조	20
[그림 3-8] 마커기반 공간정합 예시	20
[그림 3-9] 통신 서버 구조	21
[그림 3-10] 어플리케이션 서버 구조	22
[그림 3-11] 어플리케이션 서버 실행 예시	23
[그림 3-12] 중계 서버에서 WebSocket 사용 예시	24
[그림 3-13] 중계 서버에서 WebSocket 사용 예시	25
[그림 3-14] 현장작업자 시스템 MRC 인코딩 설정 예시	26
[그림 3-15] 사무실 관리자시스템에서 현장 작업자시스템으로 채팅 예시 ..	27
[그림 3-16] 현장 작업자시스템에서 사무실 관리자시스템으로 채팅 예시 ..	27
[그림 3-17] MariaDB 구조	28
[그림 3-18] 프로시저 목록 및 예시	29
[그림 3-19] 사무실 관리자시스템 구조	30
[그림 3-20] 사무실 관리자시스템 회원가입 페이지 예시	31
[그림 3-21] 등급관리 페이지 예시	32
[그림 3-22] 팀 관리 페이지 예시	33
[그림 3-23] 팀 관리 페이지 기능 예시	34
[그림 3-24] 현장 작업자 목록 페이지 예시	35
[그림 3-25] 작업자 화면 공유 페이지 예시	36
[그림 3-26] 작업자 화면 공유 페이지 채팅화면 예시	37
[그림 4-1] 시스템 테스트용 연구실의 BIM 도면	38
[그림 4-2] 홀로렌즈2를 착용한 현장 작업자와 그 시점을 보는 사무실 관리	

자	39
[그림 4-3] 가상 창이 있는 연구실 벽의 실제 시점과 가상 창이 있는 실제 시점	43
[그림 4-4] 파이썬 T-검정 소스코드 예시	44

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

코로나19 팬데믹을 경험하면서 원격협업의 중요성이 증대되었습니다. 원격협업은 물리적인 회의 없이 어디서나 팀으로서 참여할 수 있는 능력을 말합니다. 이제 원격협업은 많은 산업에서 표준이 되었습니다. 특히 AEC(Architecture, Engineering, and Construction) 산업에서는 원격협업 팀워크가 어느 조직의 성장과 발전에 있어 중요합니다. AEC 산업은 주로 현장에서 팀 단위로 운영되므로 원격협업이 더욱 필요합니다. 원격협업에 대해 더 배우면 생산성 향상을 끌어낼 수 있습니다.

BIM(Building Information Modeling)은 AEC 산업에서 디자인 데이터 관리 방법론의 패러다임을 근본적으로 변화시키고 있습니다(Volk, 2014). BIM은 디지털 정보 시스템으로, 각 디자인 멤버의 속성 정보를 가진 n 차원 디자인이며, 이 정보를 효과적으로 공유, 활용, 관리하는 데 사용됩니다(Chen, 2014; Matthews, 2015). 이러한 이점에 기반하여, BIM은 디자인, 건설, 유지 보수 부문을 포함한 모든 단계에서 건설 프로젝트 참가자들 사이의 원격협업 가능성을 제공합니다. BIM은 건물 요소 정보를 다른 응용 프로그램 및 사용자 간에 공유함으로써 시설의 수명 주기 전반에 걸쳐 협업을 지원하는 잠재력을 가지고 있습니다(Ammari & Hammad, 2019). 일반적으로 2D 도면이 사용되며, 각 부문의 참가자들이 이를 수정하여 자신의 목적에 맞게 사용합니다. 그 결과, 다른 부문에서 참여하는 사람들 간의 의사소통이 제한되고, 데이터 호환성이 보장되지 않았습니다. BIM은 모니터상에서 3D 모델을 제공하지만, 실제 세계의 규모로 확장하는 요구를 충족시키지 못했습니다(Alzadehsalehi, 2020).

XR(eXtended Reality) 기술은 BIM의 이러한 한계를 극복하는 해결책을 제공합니다. XR은 VR(Virtual Reality), AR(Augmented Reality), 혼합현실(Mixed Reality) 기술을 포함한 몰입형 기술에 대한 일반적인 용어입니다. 실제와 가상 세계 사이의 경계를 흐리게 하는 경험의 정도에 따라 VR, AR, 혼

합현실로 분류됩니다. 본 연구는 물리적이고 디지털 객체가 함께 제시되는 혼합현실에 초점을 맞추고 있으며, 이는 AEC 효율성과 생산성을 크게 향상할 잠재력을 가지고 있습니다(Chalhoub, 2018). 혼합현실 기반의 디자인 리뷰는 2D 미디어에 비해 클라이언트에게 정보를 효과적으로 전달할 수 있습니다.

본 연구는 BIM과 혼합현실을 활용하여 건설 현장에서 현장 작업자와 사무실 관리자 간의 의사소통 효율성과 효과성을 높이는데 도전합니다. 위에서 언급했듯이, 원격협업을 통한 생산성 개선 가능성이 큽니다. 구조 엔지니어, 건설자, 전기 엔지니어, 기계 엔지니어 등 다양한 분야의 전문가들이 건설 프로젝트를 위해 함께 작업하므로 그들 사이의 적절한 의사소통이 중요합니다. 이는 많은 경우, 다른 사람이 얼마나 잘 표현하더라도 이해하는 것이 어렵기 때문입니다. 즉, 현장 작업자가 현장의 구조를 보고, 사무실 관리자가 확인해야 하는 BIM 객체가 동시에 같은 디스플레이에 표시되면, 의사소통 효율성이 크게 향상될 것입니다.

본 연구의 목표는 BIM 객체를 상호 작용적으로 움직일 수 있는 혼합현실 기반 원격협업 시스템을 개발하고 사용성을 조사하는 것입니다. 이 시스템은 인터넷 환경에서 작동하며 현장 관리자와 사무실 관리자 간의 의사소통을 지원합니다. 이 시스템을 통해 사무실 관리자는 가상 BIM 객체가 겹친 현장 작업자의 시점을 볼 수 있습니다. 또한 현장 작업자는 손가락 가리키기 신호로 BIM 객체를 이동시킬 수 있습니다. 이를 통해 두 협업자의 의사소통 효과성과 효율성을 향상할 수 있습니다. 이 시스템은 현장 작업자 시스템, 통신 서버, 그리고 사무실 관리자 시스템으로 구성됩니다. 현장 작업자 시스템은 건설 현장을 돌아다니며 검사하는 현장 작업자를 위한 시스템으로, 혼합현실 장비로 구성되어 있습니다. 통신 서버는 현장 작업자 시스템과 사무실 관리자 시스템 사이의 연결자 역할을 합니다. 마지막으로, 사무실 관리자 시스템은 원격 사무실의 관리자를 위한 시스템입니다. 이 시스템을 통해 AEC 산업의 생산성을 향상시키는 데 기여할 것으로 기대됩니다.

제 2 절 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건설 현장에서 현장 작업자와 사무실 관리자 간의 원격협업 및 의사소통 과정에 초점을 맞추며, 이를 통해 건설 프로젝트의 의사소통 및 협업 효율성을 향상하는 방법을 탐색합니다. 이를 위해 본 연구는 BIM과 혼합 현실의 통합 활용을 제안하고 이를 실제 현장에 적용하며 그 효과를 평가하려 합니다.

연구 방법론은 두 가지 주요 단계로 구성됩니다. 첫 번째 단계에서는 BIM과 혼합현실 기반의 원격협업 시스템을 개발하며, 이 시스템을 활용하여 현장 작업자와 사무실 관리자 간의 의사소통 효과성을 실험합니다. 이 시스템은 현장 작업자가 BIM 객체를 움직이거나 위치를 조정하는 등의 상호작용을 통해 현장 상황을 사무실 관리자에게 전달하는 데 사용됩니다.

두 번째 단계에서는 사용자 피드백을 수집하고 분석하는 설문 조사를 진행합니다. 현장 작업자와 사무실 관리자들이 시스템을 사용한 경험에 대한 피드백을 제공하게 하여, 그 피드백을 바탕으로 시스템의 사용성과 의사소통 향상 효과를 평가합니다.

이를 통해 본 연구는 건설 현장에서의 원격협업 효율성과 의사소통 증진에 BIM과 혼합현실의 통합 사용이 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대한 실질적인 이해를 제공하려 합니다. 이런 방식으로, 본 연구는 건설 현장의 원격협업에 대한 새로운 이해를 제공하고, 이를 통해 건설 프로젝트의 효율성과 성공 가능성을 높이는 방법을 탐색하려 합니다.

제 2 장 문헌고찰

제 1 절 선행연구

1) 혼합현실에 대한 선행연구

[표 1] AR, VR, MR 차이점

항목	증강 현실 (Augmented Reality)	가상 현실 (Virtual Reality)	혼합 현실 (Mixed Reality)
정의	증강 현실은 실제 환경에 가상의 정보나 이미지를 중첩하여 보여주는 기술이다. 디지털 콘텐츠가 현실 세계와 조화를 이루며 사용자의 경험을 향상한다.	가상 현실은 사용자가 실제 세계와는 전혀 다른, 완전히 디지털로 생성된 환경에서 경험을 살아갈 수 있게 하는 기술이다. 사용자의 시각과 청각 등 감각을 조작하여 완전히 새로운 환경에 잠기게 한다.	혼합 현실은 증강 현실과 가상 현실의 특성을 결합한 기술로, 가상 객체와 실제 객체가 상호작용하는 새로운 환경을 제공한다. 사용자는 실제와 가상 환경에서 동시에 경험하고 상호작용할 수 있다.
상호작용의 특징	실제 환경에서 가상 요소와 상호작용한다.	완전히 디지털화된 환경에서 상호작용한다.	실제 환경과 가상 요소 양쪽 모두에서 상호작용한다.
필요한장비	<ul style="list-style-type: none"> · 스마트폰 · 태블릿 · AR 글라스 등 	<ul style="list-style-type: none"> · VR 헤드셋 · VR 컨트롤러 · 특수 장비 등 	<ul style="list-style-type: none"> · HoloLens2 · 특정 컨트롤러 등
기술활용분야	<ul style="list-style-type: none"> · 교육 · 마케팅 · 게임 · 네비게이션 등 	<ul style="list-style-type: none"> · 주로 게임 · 시뮬레이션 훈련 · 가상 여행 · 영화 등 	<ul style="list-style-type: none"> · 협업 도구 · 교육 · 제품 설계 · 의료

혼합현실은 Milgram과 Kishino가 1994년 제안한 용어입니다(Carrasco, 2021). 그들은 현실과 가상 사이의 연속성을 전제로 혼합현실의 개념을 도입하였습니다. 왼쪽 극단이 실제 환경을, 오른쪽 극단이 가상 환경을 의미한다고 가정할 때, AR은 실제 환경에 가상객체를 추가하는 것을 의미하며, AV(Augmented Virtuality)는 가상 환경에 실제 객체를 추가하는 것을 의미합니다. 혼합현실은 AR과 AV 기술을 혼합하는 것을 의미합니다. 혼합현실은 실세계에 3D 가상객체를 추가하여 사용자에게 현실에 가까운 시각화를 제공합니다. 혼합현실 기술은 주로 AEC 산업에서 프로젝트 이해관계자들 간의 의사소통을 위해 BIM 내용을 시각화하는 데 사용되었습니다.

전통적인 종이 방식과 혼합현실을 사용한 전기 공사인력의 성능을 비교한 실험을 하였고, 혼합현실은 상당히 높은 생산성을 가능하게 하며, 설계 이해에 필요한 시간을 줄이고, 조립 과정에서의 오류를 줄인다는 결론을 내렸습니다(Chalhoub & Ayer, 2018).

혼합현실 기반의 디자인 검토와 2D 도면을 비교 실험하여 평가하였고, 혼합현실 기반의 디자인 검토는 2D 도면 확인에 비해 참여자의 이해도를 15% 향상할 수 있다는 결과를 발견하였습니다(Carrasco & Chen, 2021).

초기 설계 단계에서 혼합현실을 BIM에 통합하는 접근 방식에 대해 조사하였습니다. 연구 결과, 모든 참가자는 혼합현실 시스템을 사용하여 설계 정보를 확인하는 것이 종이 도면에 비해 우수하다고 인식했습니다(Prabhakaran et al, 2020). 또한, 해당 시스템을 초기 설계 단계에서 사용함으로써 조정 과정을 강화하고 시간을 최대 40~80% 줄일 수 있었습니다.

BIM, 혼합현실, 클라우드 기반 시스템을 사용하여 시설 관리 단계에서 현장 작업을 지원하는 프레임워크를 제안하였습니다(Naticchia et al, 2020).

역사적인 문화 건축물의 건축 검사 작업을 개선하기 위한 혼합현실 응용 프레임워크를 제시하였습니다(Fonnet et al, 2017).

현장 정보 시스템에 대한 논리를 제시하고 BIM 및 AR 프로토타입 구성 방법을 결합하였습니다(Wang et al, (2014). 그들은 이 솔루션이 정보 검색의 낮은 생산성, 조립 오류를 범할 경향, 낮은 의사소통 효율성 등을 해결할 수 있다고 결론지었습니다.

다리 검사를 위한 BIM 기반 혼합현실 응용 프로그램을 개발하고, 다리 검사 작업이 개선될 수 있다는 것을 확인하였습니다(Nguyen et al, 2022).

BIM 데이터와 드론 비디오를 기반으로 한 혼합현실 응용 프로그램을 제안하였습니다(Raimbaud et al, 2019). 건설 교육에 관해서는, 혼합현실이 효과적으로 사용되었습니다 (Bosche, 2016; Vasilevski, 2020).

건설현장의 품질관리를 개선하기 위해 XR 기술을 활용하는 것을 목표로 하였습니다(Al-Adhami, 2019). 실험은 대학 건물 건설현장에서 진행되었으며, XR 기술의 유용성과 영향력을 확인하기 위해 기존 방법과 비교 실험을 수행했습니다. 연구는 가상 환경에서 BIM과의 상호 작용, 이미지 마커를 이용한 BIM 구현, 인간-기계 상호작용 기능 등을 다루었습니다.

혼합현실에 대한 검토 논문으로, 현재 동향, 과제 및 전망을 다루고 있습니다(Rokhsaritalemi, 2020).

효과적인 AR 애플리케이션을 위해 고려해야 할 요소를 제시하고, 다양한 Tracking 기술들을 조사하여 다루고 있습니다(Ungureanu, 2020).

캐나다 밴쿠버 지역의 홍수 위험을 시각화하는 혼합현실 도구의 개발과 사용성 평가에 대한 연구입니다(Ruslan Rydvanskiy, 2021). 이 연구는 홍수 위험에 대비하는 과정에서 지리 공간 데이터 시각화의 중요성을 강조하고 있습니다.

이탈리아 밀라노 대성당을 대상으로 한 연구에서는 홀로렌즈 2의 Spatial Mapping 능력을 광대한 유적 환경에서 평가하였습니다(Simone Teruggi, 2022). 이 연구는 거대하고 복잡한 환경에서 홀로렌즈 매핑 능력 평가를 위해 중요한 의의가 있습니다.

혼합현실 기반의 건설 현장 중장비 운전사를 위한 조기경보 시스템을 개발하는 것을 목표로 하였습니다(T Chen, 2021). 이 연구는 홀로렌즈2의 기능을 활용하여 건설 현장 중장비 운전자의 이상 움직임과 상태를 실시간으로 감지하고 경보를 제공하는 시스템을 개발한 의의가 있습니다.

시선추적과 손동작 인식을 결합한 겹친 가상 객체 선택 방법을 제안하고 평가했습니다(오주영, 이준, 허환, 이중호, 박지형, 2016). 사용자의 시선과 손동작을 함께 활용하여 몰입 가상 환경에서 정확한 가상 객체 선택을 가능하

게 하였습니다. 실험 결과, 이 방법은 헤드 트래킹 기반의 ray casting 방법보다 더 낮은 시도 횟수와 짧은 소요 시간을 보였습니다. 이 연구는 많은 가상 객체가 밀집된 상황에서 정확한 선택을 위한 중요한 기술적 개선 방향을 제시하였습니다

증강현실 시스템에서 웹 카메라를 이용한 간단한 알고리즘을 제안하여 실시간으로 손을 검출하고 인식할 방법을 연구했습니다(김학준, 채승호, 서종훈, 김하영, 한탁돈, 2013). 이 연구는 학습이나 별도의 데이터베이스가 필요하지 않은 간편한 손동작 인식 알고리즘을 제안함으로써 증강현실 인터페이스 분야에 기여하였습니다.

홀로렌즈의 NUI(Natural User Interface)를 위해 ToF(Time of-Flight) 센서를 활용하여 딥러닝 기반의 정적 손동작 인식 방법을 제안하였습니다(허환, 이민호, 황영배, 2019). 이 연구는 홀로렌즈를 위한 손동작 인식 기술의 편의성과 인식 거리를 향상하는 데 기여하였습니다.

혼합현실 환경에서 원거리에 있는 물체를 효율적으로 조작하기 위한 벽 기반 공간 조작 기법을 제안하였습니다. 실험 결과, 이 기법은 원거리 물체의 효율적인 조작에 효과적이며, 혼합현실 환경에서의 사용자 경험을 향상할 수 있습니다(황정인, 서진욱, 2017).

2) 원격협업에 대한 선행연구

물리적으로 떨어져 있는 사람들이 동일한 시각적 또는 청각적 정보를 공유할 때 원격협업이 시작됩니다. 혼합현실은 우수한 시각 효과를 제공하기 때문에 원격협업을 위한 다양한 혼합현실 응용 프로그램이 제안되었습니다. 대부분의 원격협업 연구는 포인트, 스케치, 핸드 제스처와 같은 의사소통 신호의 효과성을 평가하는 노력으로 요약될 수 있습니다.

360도 실시간 비디오와 3D 가상 재구성의 하이브리드 프로토타입을 개발하였습니다(Teo, 2019). 참가자들이 360도 실시간 비디오에서 협업 검색 작업을 더욱 효과적으로 수행한다는 결과를 얻었습니다.

원격 전문가와 실시간 3D 파노라마를 공유할 수 있는 혼합현실 원격협업

시스템을 제시하였습니다(Bai, 2020). 그들은 시선과 제스처 신호를 결합하는 것이 시선 신호만 사용할 때보다 강한 협업 감각을 제공한다는 결과를 발견하였습니다.

사용자 연구를 통해 여러 시각적 의사소통 신호(예: 포인터, 스케치, 핸드 제스처)의 효과를 평가하였습니다(Kim, 2020). 핸드 제스처 신호가 주요 시각적 의사소통 신호이며, 스케치 신호가 핸드 제스처 신호를 돕는다는 결과를 얻었습니다.

공간 청각 및 시각 신호를 공유하는 혼합현실 원격협업 시스템을 제시하였습니다(Yang, 2020). 그들은 공간화된 원격 전문가의 목소리와 청각 비콘이 현장 작업자들이 작은 은폐된 물체를 찾는 데 있어 훨씬 강한 공간 인식을 가능하게 한다는 결과를 얻었습니다.

RV(Recreational Vehicle) 인테리어 맞춤화 과정에서 고객과 디자이너의 소통을 향상하고 고객 요구사항의 모호성을 줄이기 위해 HoloLens2를 사용한 체험적 디자인 시스템을 개발하였습니다(Zhang, 2020).

홀로렌즈 2를 이용해 뇌의 3D 모델을 제작하고 사용자 인터페이스를 개발함으로써, 뇌의 구조와 기능에 대한 학습 향상과 실제 뇌 손상이나 질환에 대한 설명 도구로의 가능성을 보여주었습니다(천정희, 정동근, 2021).

실시간 인체 키포인트 인식 기술을 활용하여 전투 상황에서 부상병의 응급처치를 지원하는 시스템을 개발하였다(김원종, 조진표, 2022). 홀로렌즈와 같은 기기를 통해 의무사령부의 협조를 받아 빠르게 응급처치를 실시하는 시스템을 구현하였다. 결과적으로 본 연구는 실시간 키포인트 인식 기술을 전투 상황에서의 응급처치 지원에 적용함으로써 해당 기술의 응용 분야를 확장하였다.

백제 금동대향로, 한국의 국보 중 하나에 대해 혼합현실 기반 서비스를 제안하였다(윤영석, 김동명, 서재원, 2022). 이 서비스는 홀로렌즈2를 활용하여 금동대향로의 가상 오악사들을 증강, 백제 시대의 연주 문화를 체험하도록 돕습니다. 결과적으로 본 연구는 홀로렌즈2를 통해 사용자들에게 제공되어, 이 기술을 활용한 문화유산 경험의 가능성을 보여주었다.

제 2 절 AEC산업에서 혼합현실에 대한 고찰

AEC 산업에서 혼합현실을 이용한 원격협업에 대한 연구는 그다지 많지 않습니다. 시설 관리를 위한 혼합현실 원격협업 개발 프레임워크를 제시하고 프로토타입 시스템을 개발하였습니다(Ammari & Hammad, 2019). 그들은 적용성 테스트를 통해 작업 효율성이 향상되었다는 것을 확인하였습니다.

실제 환경과 협업 작업에 혼합현실 시스템의 기능을 테스트하였습니다(Wang & Dunston, 2011). 그들은 혼합현실 시스템이 협업 디자인 오류 탐지 작업에 대한 성능 시간을 상당히 줄였다는 결과를 얻었습니다.

AEC 산업에서 원격협업 기술의 발전은 제조업에 비해 상대적으로 지체되었습니다. 이러한 현상의 원인 중 하나는 BIM 디자인의 도입이 비교적 최근에 일어났기 때문입니다. 2D 디자인 도면은 공간의 깊이와 복잡성을 표현하는 데 한계가 있어, 프로젝트 참여자들 사이의 효율적인 의사소통을 어렵게 만들었습니다.

그러나 지난 몇 년 동안 BIM 디자인의 일반화 추세는 매우 희망적입니다. BIM은 건축물의 물리적 및 기능적 특성을 디지털 모델로 표현함으로써 건물의 생명주기 동안 필요한 모든 정보를 제공합니다. 이는 설계, 건설 및 운영 단계에서 더 나은 결정을 내리도록 돕는 실시간, 고도로 연동된 데이터 시스템을 제공하게 됩니다.

본 연구의 목표는 이러한 BIM 디자인에 혼합현실 기술을 통합하여 AEC 산업에서 원격협업의 가능성을 탐구하는 것입니다. 혼합현실은 실제와 가상의 환경을 혼합하여 사용자가 물리적 환경에서 가상의 객체와 상호 작용할 수 있는 환경을 제공합니다. 이런 통합 시스템은 공간적 이해를 증가시키고, 실시간 협업을 촉진하며, 효율적인 의사결정을 돕는 데 중요한 도구가 될 수 있습니다.

AEC 분야에서의 원격협업은 아직 충분히 연구되지 않았으며, 본 연구는 이 분야에 중요한 기여를 할 수 있을 것으로 기대됩니다. 이를 통해 설계자, 엔지니어, 건설 관리자들이 동일한 시각적 맥락에서 프로젝트에 참여하고 효과적인 의사결정을 내릴 수 있도록 돕는 독특한 시스템을 개발하려는 목표를

추구하고 있습니다. 이렇게 함으로써 AEC 산업은 더 효율적이고 생산적인 협업을 통해 복잡한 프로젝트를 성공적으로 수행할 수 있을 것입니다.

제 3 장 시스템 개발

제 1 절 개발 환경

이 연구에서는 다양한 시스템과 플랫폼에 걸친 복합적인 개발 환경을 구성하고 활용하였으며, 각 단위 시스템의 개발 환경은 [표 2]에 자세히 기술되어 있다.

[표 2] 개발 환경

단위 시스템	소프트 웨어	하드 웨어
현장 작업자 시스템	<ul style="list-style-type: none">- Window 10 (운영체제)- Unity 2020.3.25 (시뮬레이션 개발 도구)- Visual Studio 2019 (통합 개발 환경)- Mixed Reality Toolkit Foundation v2.8.0 (HoloLens 2 개발 라이브러리)	Hololens2 Desktop computer
통신 서버	<ul style="list-style-type: none">- Ubuntu 18.04 (운영체제)- Node.js 14 (웹 서버)- WebSocket (릴레이 서버 개발 라이브러리)- Maria-DB 14 (데이터베이스)	Workstation
사무실 관리자 시스템	<ul style="list-style-type: none">- Window 10 (운영체제)- Node.js 14 (릴레이 서버 개발 라이브러리)	Desktop computer

우선, 현장 작업자 시스템의 개발은 Windows 10 운영체제가 설치된 고성능 데스크탑 컴퓨터에서 진행되었다. 이 환경에서는 Unity 2020.3.25를 이용하여 본 연구의 핵심 구성요소인 작업자 시뮬레이션의 개발을 수행하였다. Unity는 그 유연한 개발 환경과 강력한 시뮬레이션 구현 기능으로 인해 선택되었다. 프로그래밍 작업은 Visual Studio 2019에서 진행되었다. Visual Studio는 그 안정적인 개발 환경과 훌륭한 코드 관리 시스템으로 인해 선정

되었다. 또한, 본 연구에서는 홀로렌즈2 장치의 기능을 최대한 활용하기 위해 Mixed Reality Toolkit Foundation v2.8.0 라이브러리를 사용하였다. 홀로렌즈2의 기술 사양은 [표 3]에 자세히 기술되어 있다.

[표 3] 홀로렌즈2 기술 사양

항목	사양
디스플레이	시스루 홀로그래프 렌즈 (광도파관)
해상도	2000 3:2 광 엔진
홀로그래프 밀도	>2500 방사점 (라디안당 광점)
눈 거리 렌더링	3D 눈 위치에 대한 거리 보정
헤드 트래킹 센서	4개 가시광선 카메라
아이 트래킹 센서	2개 IR 카메라
깊이 센서	1-MP ToF (Time-of-Flight) 깊이 센서
IMU	가속도계 / 자이로스코프 / 지자기 센서
카메라	8mp 사진 / 1080p30 비디오
마이크 어레이	5개 채널
스피커	공간 음향 내장
핸드 트래킹	양손에 대한 완전한 움직임 모델링 / 직접 조작
아이 트래킹	실시간 트래킹
음성 인식	디바이스에 대한 명령 및 제어 / 인터넷 연결
Windows Hello	홍채 인식을 통한 엔터프라이즈급 보안
6DoF 트래킹	전 세계 규모의 위치 트래킹
공간 매핑	실시간 환경 매쉬
혼합현실 캡처	혼합 홀로그래프 및 물리적 환경 사진 및 동영상
SoC	Qualcomm Snapdragon 850 컴퓨팅 플랫폼
HPU	2세대 커스텀 홀로그래프 프로세싱 유닛
메모리	4GB LPDDR4x 시스템 DRAM
스토리지	64GB UFS 2.1
Wi-Fi	Wi-Fi 5 (802.11ac 2x2)
Bluetooth	5
USB	USB-C 타입
착용 가능한 크기	단일 사이즈
무게	566g
배터리 수명	2~3 시간 이용

서버 관련 작업은 Ubuntu 18.04가 설치된 워크스테이션에서 수행되었다. 이 운영체제는 그 안정성과 개방성으로 널리 인정받아 서버 구축에 이상적이다. 웹 서버 구현은 Node.js 14를 사용하여 이루어졌다. 이는 비동기 I/O 처리에 강한 Node.js가 실시간 통신에 필수적이기 때문이다. 또한, WebSocket API를 이용하여 릴레이 서버를 개발하였으며, 이를 통해 서버와 클라이언트 간의 양방향 통신이 가능하게 되었다. 이 모든 데이터는 Maria-DB 14 데이터베이스에서 관리되었는데, 이는 고성능과 안정성을 보장하는 데 필수적이다.

마지막으로, 사무실 관리자 시스템의 개발은 Windows 10이 설치된 데스크탑 컴퓨터에서 진행되었다. 이 시스템에서도 Node.js 14를 사용하여 릴레이 서버를 개발하였다. 이는 웹 기반의 플랫폼 독립적인 개발을 가능케 하며, 이를 통해 다양한 환경에서 사무실 관리자 시스템을 활용할 수 있다.

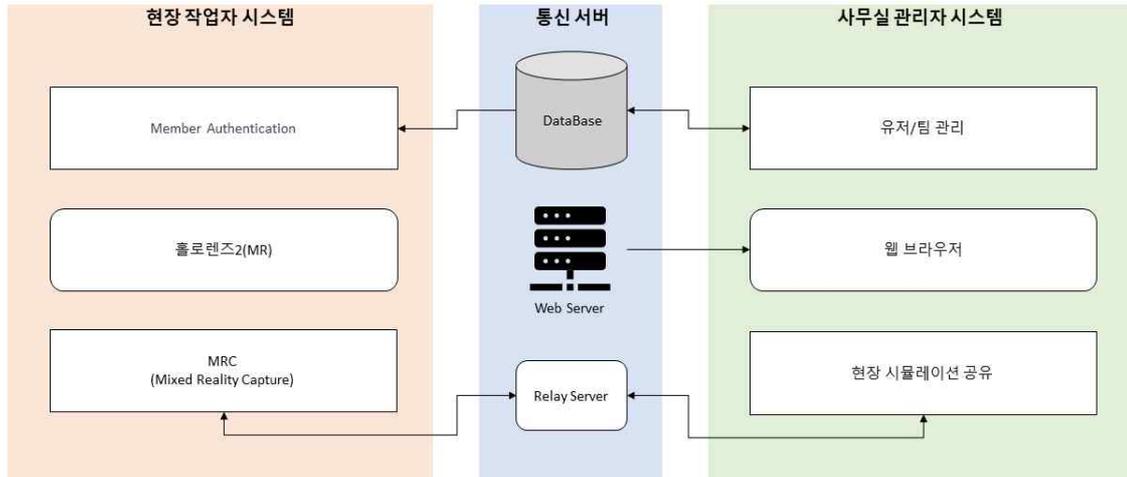
이렇게 다양한 플랫폼과 시스템을 통해 구축된 개발 환경은 현장 작업자와 사무실 관리자 간의 효율적인 커뮤니케이션을 지원하고, 본 연구의 목표인 더 효율적인 작업 환경 구축을 가능케 하였다.

제 2 절 시스템 설계

본 연구에서는 혼합현실에 BIM을 이용한 원격협업이라는 시스템을 제안 하였습니다. 이 시스템은 세 가지 유닛 시스템으로 구성되어 있으며, 이는 (1) 현장 작업자 시스템, (2) 통신 서버, 그리고 (3) 사무실 관리자 시스템 입니다. [그림 3-1]은 시스템의 전체 구조를 보여줍니다.

현장 작업자 시스템은 마이크로소프트에서 개발한 HoloLens2를 기반으로 구현되었습니다. 건설 현장에서 일하는 현장 작업자는 이를 머리에 착용하고 건설 현장을 돌아다니며 BIM 요소가 혼합현실로 오버레이된 기존 아티팩트를 볼 수 있습니다. 현장 작업자 시스템 사용자는 사무실에서 매니저로부터 지시를 받을 수 있습니다. 현장 작업자 시스템은 현장의 기존 아티팩트의 실제 이미지와 가상 BIM 요소가 중첩된 Mixed Reality Capture(MRC)를 통해 통신 서버를 통해 사무실 관리자 시스템으로 전송합니다.

[그림 3-1] 본 시스템 전체적인 구조 예시



통신 서버에서는 Database(DB)와 WebSocket 기술을 활용한 통신 서버를 구축하여 작업자와 관리자 간의 효율적인 통신을 지원하였습니다. 이를 위해 구축된 통신 서버는 해당 연구에서 사용되는 모든 DB와 WebSocket 기술을 기반으로 하며, 실시간으로 데이터를 주고받을 수 있는 양방향 통신 기능을 제공하였습니다. 이를 통해 작업자와 관리자 간의 실시간 정보 공유와 업무 처리 효율성을 높일 수 있습니다.

그뿐만 아니라, 본 연구에서 구축된 통신 서버는 사무실 관리자 시스템의 기본 웹서버도 포함하고 있습니다. 이를 통해 사용자는 웹 브라우저를 통해 서비스에 접속할 수 있으며, 해당 서비스에서는 작업자와 관리자 간의 통신뿐만 아니라 다양한 기능들을 제공할 수 있습니다. 따라서, 본 연구에서 구축된 통신 서버는 더 종합적이고 유연한 시스템 구성을 가능케 하며, 사용자들에게 더욱 편리하고 적극적인 이용을 가능케 한다는 장점이 있습니다.

마지막으로, 사무실 관리자 시스템은 MRC 비디오를 실시간으로 디스플레이하며, 사무실에서 데스크톱 또는 태블릿 PC를 사용하여 현장 작업자 시스템 사용자와 통신합니다. 사무실 관리자는 현장 작업자 시스템을 통해 음성으로 현장 작업자에게 지시를 전달할 수 있습니다.

본 연구에서 제안된 혼합현실에 BIM을 이용한 원격협업 시스템은 현장과 사무실 간의 원활한 협업 및 효율적인 의사 결정을 도와주는 기능을 가지고 있습니다. 따라서, 이 시스템은 건설 현장 및 다른 산업 분야에서의 협업 활

동에 매우 유용하게 사용될 수 있습니다.

본 연구에서는 현장 작업자 시스템을 구성하는 데에 홀로렌즈 기술을 활용하였으며, 이를 시뮬레이션하기 위해 Unity를 기반으로 하는 IDE에서 개발을 진행하였습니다. 통신 서버는 데이터베이스와 응용프로그램 서버, 그리고 릴레이 서버로 구성되어 있습니다. 릴레이 서버는 WebSocket 기술을 사용하여 실시간으로 데이터를 빠르게 전송할 수 있다. 이를 통해 현장 작업자 시스템과 사무실 관리자 시스템 간의 효율적인 데이터 전송할 수 있습니다.

사무실 관리자는 어떤 웹 브라우저에서도 사무실 관리자 시스템을 활용하여 현장 작업자 시스템 사용자에게 음성 명령을 내릴 수 있습니다. 이를 통해 실시간으로 작업자들의 상황을 파악하고, 적시에 지시를 내려 작업의 원활한 진행을 지원할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 구축된 시스템은 현장 작업자와 사무실 관리자 간의 실시간 데이터 공유와 의사소통을 가능케 하여 업무 처리의 효율성을 대폭 향상 시킬 것으로 기대됩니다.

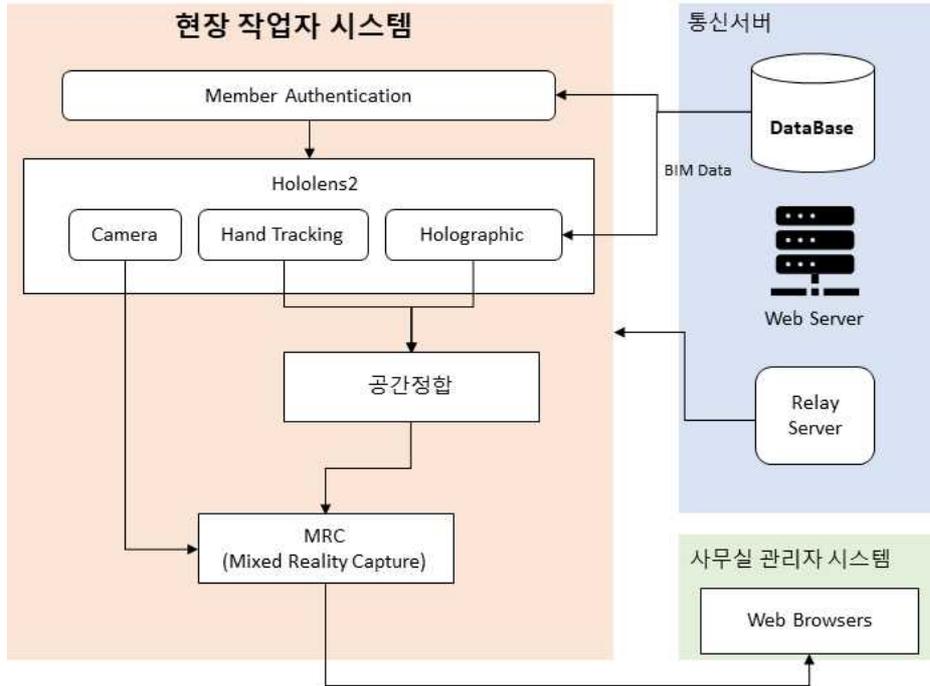
제 3 절 현장 작업자 시스템

홀로렌즈는 현실감 있는 가상공간을 구현할 수 있는 기술로, 현장 작업자의 작업 효율성을 대폭 향상할 수 있는 장점이 있습니다. 또한, 핸드 트래킹 기술을 활용하면 작업자가 홀로렌즈를 착용한 상태에서도 손동작을 통해 기기를 조작할 수 있어 작업 효율성을 높일 수 있습니다. 이러한 이유로, 홀로렌즈를 사용하는 것은 현장 작업자 시스템의 성능을 대폭 향상하는데 매우 유용한 방법의 하나입니다.

또한, 홀로렌즈를 사용하여 작업자가 현장에서 필요한 정보를 더욱 쉽게 파악할 수 있도록 홀로그램 기술을 적용하는 것이 가능합니다. 이를 통해 작업자는 작업 과정에서 필요한 정보를 손쉽게 확인할 수 있으며, 작업 중인 기계나 장치 등의 3D 모델을 홀로그램으로 보여줌으로써 작업자가 더욱 정확한 정보를 확인할 수 있습니다. 따라서, 본 연구에서는 핸드 트래킹과 홀로그램 기술을 활용하여 현장 작업자가 더욱 효율적으로 작업을 수행할 수 있도록 현장 작업자 시스템을 구축하고자 합니다. 이를 통해 작업자의 작업 효율

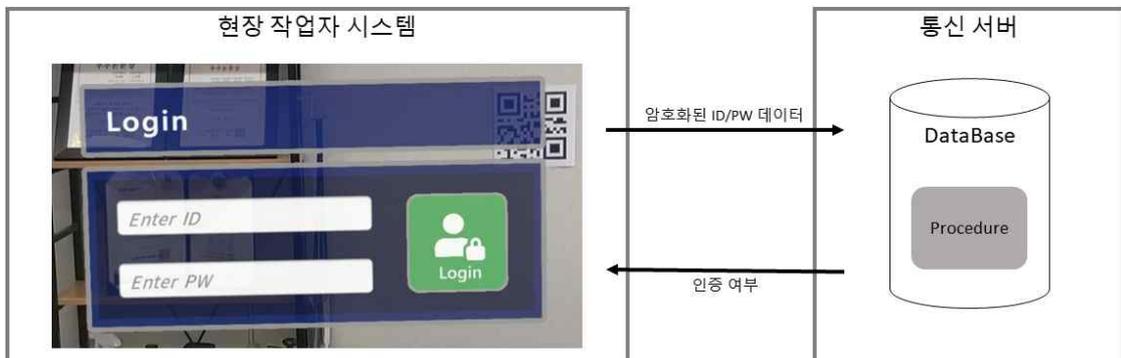
성과 사용성을 동시에 향상할 수 있을 것으로 기대합니다. [그림 3-2]는 현장 작업자 시스템의 전체적인 구조를 보여줍니다.

[그림 3-2] 현장 작업자 시스템 구조



[그림 3-3]과 같이, 이 시스템에서는 보안성이 크게 강조되었으며, 이를 실현하기 위한 구체적인 기법으로 암호화 방식, HTTPS, SSL을 활용한 접근 방식을 채택하였습니다.

[그림 3-3] 현장 작업자 시스템 보안 예시



사용자 ID와 비밀번호는 [그림 3-4]와 같이 SHA-256 해시 알고리즘과 Salt를 사용하여 암호화됩니다. Salt는 원래 비밀번호에 추가되는 무작위 문자열로, 해시값을 복잡하게 만들어 일반적인 비밀번호 크래킹 방법을 방어하는 역할을 합니다. SHA-256은 입력 데이터를 고정된 크기의 유일한 비트 문자열로 변환하는 해시 함수입니다.

[그림 3-4] 비밀번호 암호화 스크립트 예시

```
dbconn.query(sql, params, function(err, rows) {
  const member = rows[0]; // 해당 멤버의 pwd와 salt값
  const salt = member.salt;
  var pw_salt = pwd + salt; // req.body.pwd에서 받은 값 + 해당 멤버의 salt값
  var enc_salt = crypto.createHash('sha256').update(pw_salt).digest('base64');

  if (enc_salt === member.m_pw) { // pwd에서 받은 값과 db에서 조회한 비밀번호 비교
    var status = {
      "status": 200,
      "message": 'login success'
    }

    var sql = "SELECT COUNT(*) AS cnt ";
    sql += "FROM sessions ";
    sql += "WHERE DATA LIKE ?"
    var params = ["%" + id + "%"]
    dbconn.query(sql, params, function (err, rows) {

      if (err) {
        console.log(err);
      } else {
        if (rows[0].cnt == '1') { // 로그인 시 세션이 중복되었을경우
          status.status = 207;
          res.end(JSON.stringify(status)); // status 는 207반환
        } else {
          req.session.u_id = id;
          res.end(JSON.stringify(status));
        }
      }
    })
  } else if (enc_salt !== member.m_pw) {
    res.send('false');
  }
})
```

또한, 이 시스템은 사용자의 데이터를 안전하게 전송하기 위해 HTTPS와 SSL을 사용합니다. HTTPS와 SSL은 암호화된 연결을 통해 사용자의 데이터

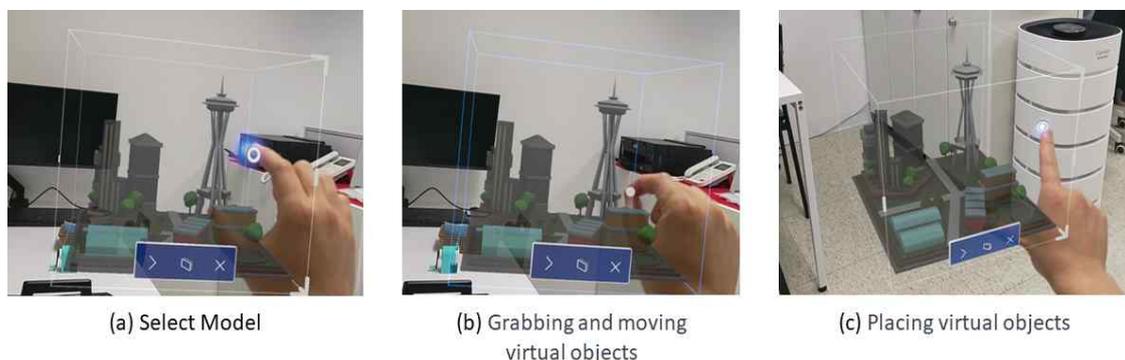
를 보호하며, 클라이언트와 서버 사이의 정보를 안전하게 전송합니다. 이러한 보안 절차는 사용자 정보의 보호와 시스템의 안정성을 위해 필요합니다. 암호화된 ID와 비밀번호를 통한 사용자 인증은 시스템 접근을 제어하며, 보안 위협을 방지합니다. 본 시스템은 이러한 절차를 강화하여 사용자의 개인정보 보호와 시스템의 신뢰성을 확보합니다.

[그림 3-5]와 같이 핸드 트래킹 기술을 활용하여 사용자의 손가락 움직임을 감지합니다. 검지와 엄지를 이용하여 BIM 객체를 그랩하고 움직이기 위해서는 먼저 사용자가 그랩 하고자 하는 객체의 위치와 크기 등을 파악해야 합니다.

사용자가 검지와 엄지를 모아 그랩 하려는 객체 위로 이동시킵니다. 이때, 객체가 선택되었음을 알리는 인터페이스를 제공하여 사용자에게 시각적 피드백을 제공할 수 있습니다. BIM 객체를 그랩 한 후, 사용자는 엄지를 이용하여 객체를 움직일 수 있습니다. 이때, 객체가 이동하는 방향과 속도는 사용자의 손가락 움직임에 따라 실시간으로 반영됩니다. 객체를 이동시킨 후, 사용자가 놓으려는 위치에 엄지를 놓으면, 객체가 해당 위치에 고정됩니다. 이때도 시각적 피드백을 제공하여 객체가 해당 위치에 제대로 고정되었음을 사용자에게 알려줍니다.

따라서, 이와 같은 방식으로 검지와 엄지를 활용하여 BIM 객체를 그랩하고 움직이고 놓을 수 있습니다. 이를 통해 사용자는 더 직관적이고 쉽게 BIM 객체를 조작할 수 있으며, 작업의 효율성이 대폭 향상될 것으로 기대됩니다.

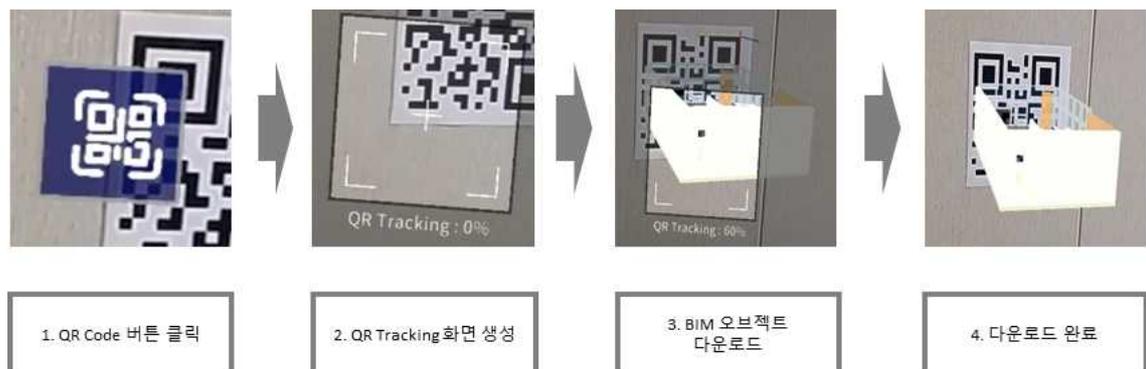
[그림 3-5] 홀로렌즈2 핸드 트래킹 예시



본 연구에서는 QR 코드 기술을 활용하여 건설 프로젝트의 정보 모델링, 일명 BIM 오브젝트를 효율적으로 다운로드하고 활용하는 방법에 대해 제안하였다. 이러한 방식을 통해 사용자들은 건설 프로젝트의 BIM 오브젝트를 손쉽게 다운로드 받아, 실시간으로 사용함으로써 사용자의 편의성을 크게 향상할 수 있다. 이 연구에서는 사용자들이 [그림 3-6]과 같이 다운로드 상황을 실시간으로 확인할 수 있는 기능도 추가로 제공하였다. 이를 통해 사용자들은 다운로드가 진행 중인지, 완료되었는지에 대한 정보를 즉시 확인할 수 있어 편리성이 증가하였다.

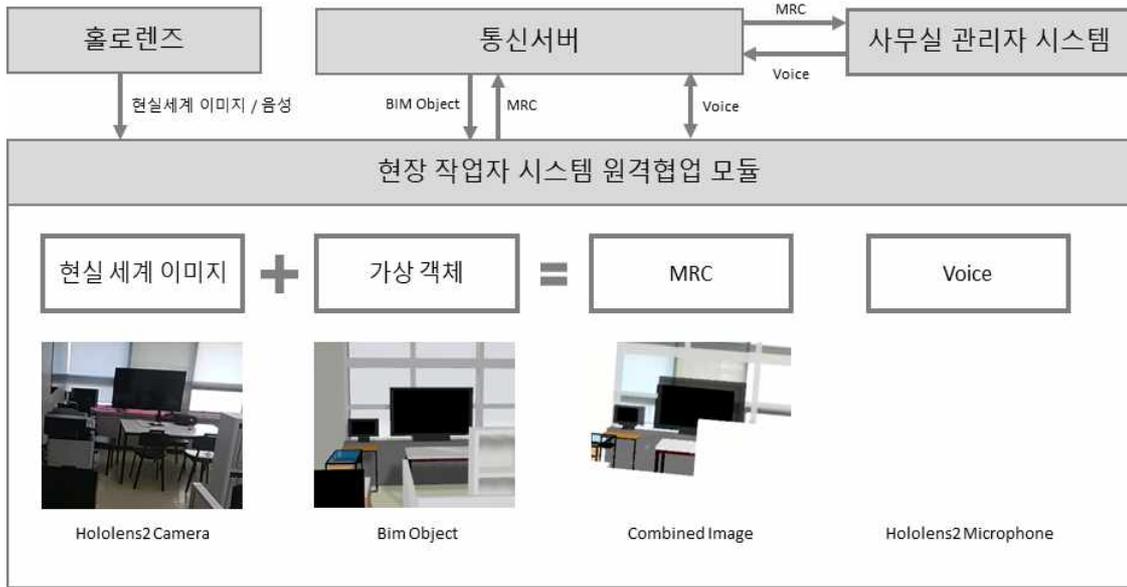
본 연구에서는 또한 QR 코드를 스캔하기 위한 QR 코드 다운로드 버튼도 제공하였습니다. 이러한 기능은 사용자들이 QR 코드를 통해 BIM 오브젝트에 쉽게 접근하도록 돕습니다. 이를 통해 BIM 활용에 대한 접근성이 개선되며, 이는 건설 업계에서 정보 공유와 협업을 더욱 용이하게 할 방법의 하나로 여겨집니다.

[그림 3-6] QR 코드 다운로드 예시



[그림 3-7]과 같이 현장 작업자 시스템 원격협업 모듈은 건설 현장에서 홀로렌즈2 카메라로 촬영한 실제 세계 이미지와 통신 서버에서 다운받은 BIM 객체에 이미지를 합성하여 MRC 이미지를 생성하고, 이를 960*540 해상도로 실시간 30FPS로 사무실 관리자시스템으로 전송합니다. 이 모듈은 또한 음성 통신을 통해 건설 현장의 작업자와 사무실 관리자 간의 소통을 지원합니다.

[그림 3-7] 현장 작업자 시스템 원격협업 모듈 구조



본 연구는 [그림 3-8]과 같이 BIM의 3차원 오브젝트에 대한 효율적인 공간 정보 처리 및 관리를 위해, BIM에 내장된 마커 기술과 현실 세계에 배치된 물리적 마커 간의 공간 정합성을 달성하는 방법을 제안하였다. 이 연구의 핵심 목표는 BIM 기반 3D 오브젝트와 현장에서의 물리적 마커 간의 상호작용을 최적화하여, 정밀한 공간 데이터 분석 및 관리를 가능케 하는 것입니다.

[그림 3-8] 마커기반 공간정합 예시



이를 위해, 연구자는 먼저 BIM 오브젝트와 현실 세계에 존재하는 물리적 마커 사이의 공간적 연계를 수립하였다. 이 과정에서, 각각의 BIM기반 3D

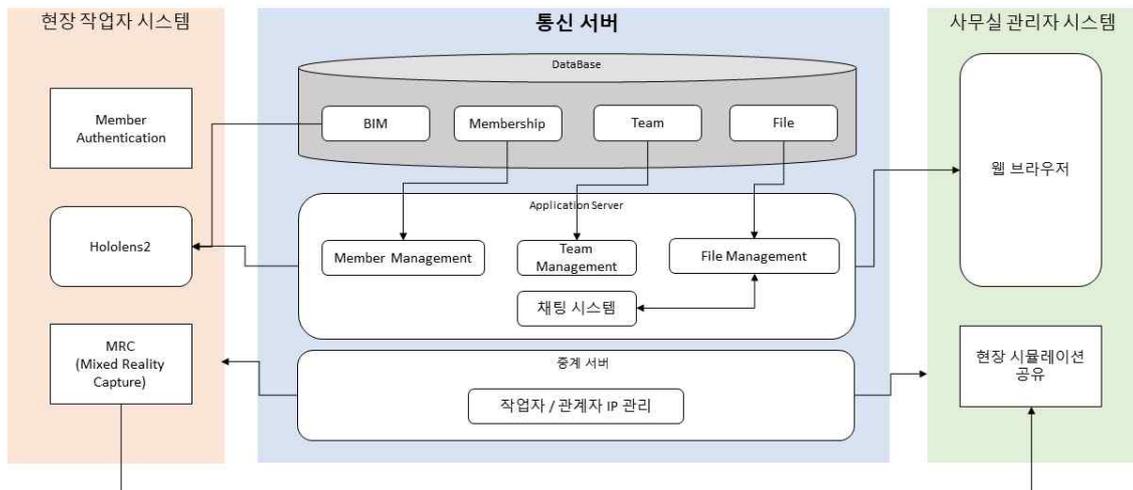
오브젝트와 물리적 마커에 고유한 식별자를 부여하여, 상호 인식 및 매핑을 할 수 있는 구조를 구축하였습니다. 또한, 정밀한 공간 정합성을 달성하기 위해, 기하학적 변환 및 정합 알고리즘을 적용하여 오브젝트와 마커 사이의 위치 및 방향 정보를 일치시켰습니다.

다음으로, 연구자는 공간 정합성이 확보된 상태에서 BIM 기반 3D 오브젝트와 물리적 마커 간의 상호작용을 분석하였습니다. 이를 통해, 기존의 2D 도면에 기반한 건축 정보 전달 방식에서 발생하는 정보 손실 및 해석의 어려움을 줄이고, 다양한 관련 분야 전문가들 간의 협업 및 정보 공유를 촉진하였습니다.

제 4 절 통신 서버

통신 서버는 현장 작업자 시스템과 사무실 관리자 시스템 간의 효과적인 통신을 보장하는 중추적인 역할을 수행합니다. 이 서버의 핵심적인 기능은 세션에서 두 장치를 연결하고, 실시간 데이터 스트리밍을 관리하며, 마지막으로 데이터베이스 관리입니다. [그림 3-9] 은 통신 서버에 전체적인 구조입니다.

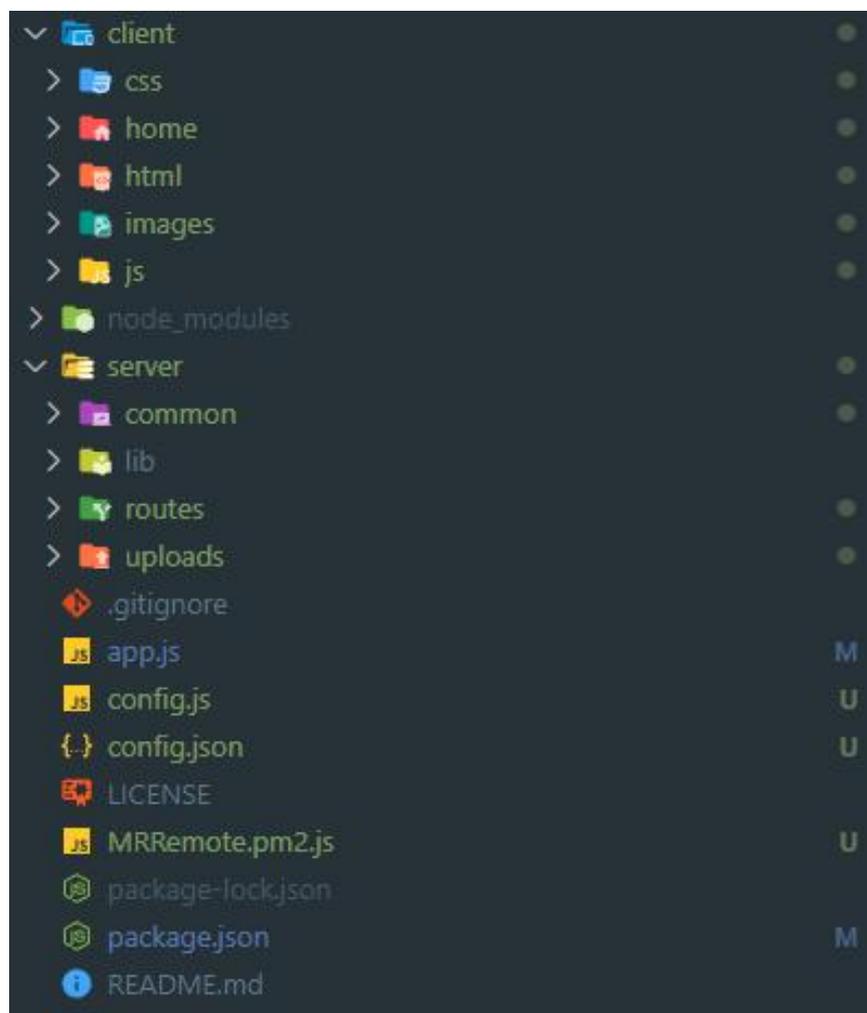
[그림 3-9] 통신 서버 구조



통신 서버는 크게 애플리케이션 서버, 중계 서버, 그리고 데이터베이스로 구성되어 있습니다. 애플리케이션 서버는 핵심적인 기능 중 하나로서, 이 서버 내에는 사무실 관리자 시스템이 내장되어 있습니다.

애플리케이션 서버는 [그림 3-10]과 같이 Node.js라는 서버 사이드 플랫폼을 사용하여 구현되었습니다. Node.js는 비동기 이벤트 주도 JavaScript 런타임으로, 확장성 있는 네트워크 애플리케이션을 구축하기 위해 설계되었습니다. 이런 특성은 I/O 집중한 작업에서 뛰어난 성능을 발휘하며, 실시간 웹 애플리케이션의 개발에 적합합니다. 따라서, Node.js의 사용은 애플리케이션 서버가 빠르고 효율적으로 동작하게 하며, 다수의 클라이언트 요청을 동시에 처리할 수 있는 능력을 부여합니다.

[그림 3-10] 어플리케이션 서버 구조



애플리케이션 서버는 [그림 3-11]과 같이 통신 서버에서 실행하며 BIM 기반 3D 오브젝트, QR 코드, 장치 ID 등 시스템 작동에 필요한 정보를 관리하고 제공합니다. 또한, 클라이언트가 웹을 통해 요청하는 정보를 신속하게 제공하는 역할을 수행합니다. 이는 시스템의 구조적 기반을 형성하며, 사용자 인터페이스와 데이터 관리, 그리고 기타 애플리케이션 로직을 담당하게 됩니다. 이러한 역할을 통해 애플리케이션 서버는 시스템이 빠르고 원활하게 작동하도록 보장합니다.

[그림 3-11] 어플리케이션 서버 실행 예시

```

doit@doit-HP-Z800-Workstation:~/WebServer/MRRemoteCollabo_INU$ npm start
> pc@0.0.0 start /home/doit/WebServer/MRRemoteCollabo_INU
> nodemon ./app.js

[nodemon] 2.0.20
[nodemon] to restart at any time, enter `rs`
[nodemon] watching path(s): *.*
[nodemon] watching extensions: js,mjs,json
[nodemon] starting `node ./app.js`
connect
Server is running ( localhost:3443 )

```

다음으로 중계 서버는 실시간 웹 통신의 핵심 요소로, WebSocket을 활용하여 구현되었습니다. WebSocket은 실시간 데이터 전송을 위해 개발된 Web API의 하나로, 고품질의 실시간 스트리밍 데이터 전송을 가능하게 합니다. WebSocket은 높은 프레임 레이트와 낮은 지연 시간을 유지하면서 큰 규모의 3D 환경을 빠르고 안정적으로 전송할 수 있습니다. 이런 성능은 실시간 웹 애플리케이션의 동작에 있어 매우 중요한 요소입니다.

[그림 3-12]와 같이 중계 서버는 WebSocket 기술을 활용합니다. WebSocket은 클라이언트와 서버 간의 양방향 통신을 가능하게 하는 웹 기술입니다. 기존의 HTTP 방식과 달리, WebSocket은 한 번의 TCP 연결을 통해 데이터를 실시간으로 양방향 전송할 수 있습니다. 이는 서버와 클라이언트 사이의 지속적인 연결을 유지하며, 데이터를 실시간으로 교환하는 데 있어 매우 효과적입니다.

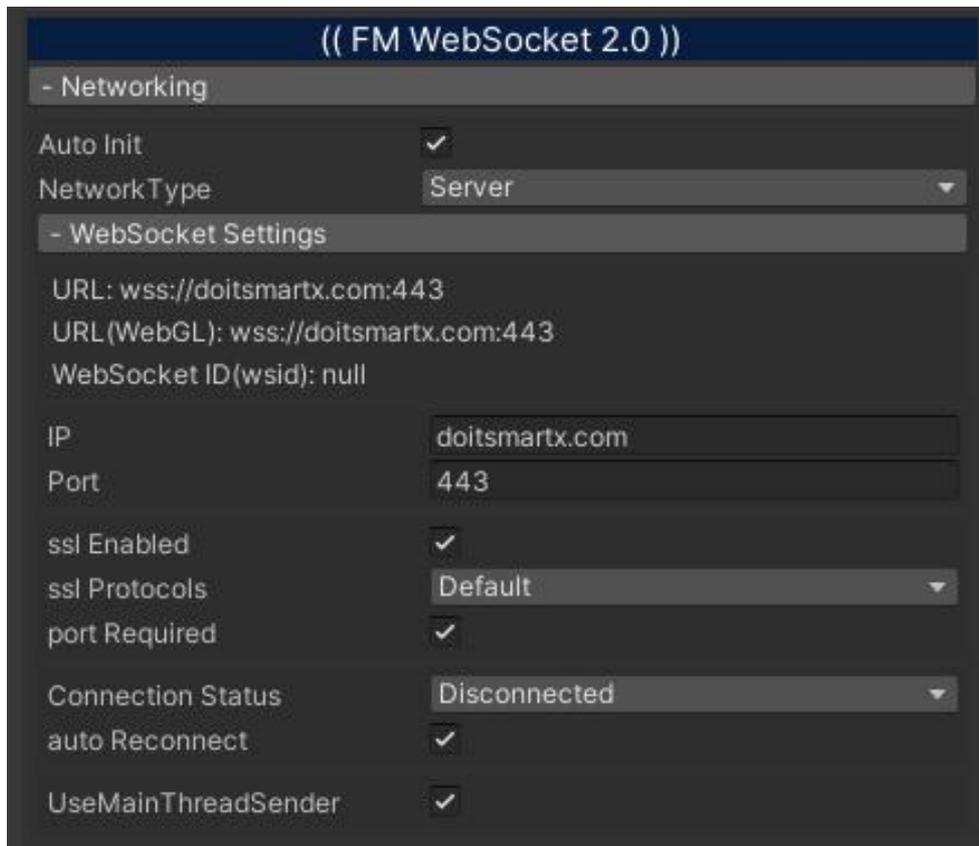
WebSocket의 이러한 특성은 실시간 애플리케이션에 필요한 핵심 요소로, 이는 서버와 클라이언트 사이의 지연을 최소화하고, 통신 효율성을 극대화하는 데에 중요합니다. 더욱이 WebSocket은 다양한 프로토콜과 함께 작동 가능하며, 다양한 웹 환경에서 신뢰성 있는 실시간 통신을 지원합니다.

[그림 3-12] 중계 서버에서 WebSocket 사용 예시

```
1  const WS_MODULE = require("ws"); // ws 객체
2
3  var serverID = 'undefined';
4  var serverWS = null;
5  const clients = new Map();
6  const rooms = new Map(); // Room 배열
7
8  exports.connection = function (ws) {
9    ws.on('connection', function connection(ws) {
10     const wsid = uuidv4();
11     const networkType = 'undefined';
12     const metadata = { ws, networkType, wsid };
13
14     if (!clients.has(wsid)) {
15       ws.id = wsid;
16
17       clients.set(wsid, metadata);
18     }
19
20     ws.on('close', function close() {
21       // Close
22     });
23
24     ws.on('message', function incoming(message) {
25       // message
26     });
27   });
28 }
```

커뮤니케이션 서버의 이러한 기능은 원격협업 시스템이 실시간 데이터를 안정적이고 효율적으로 교환하는 데에 중요한 역할을 합니다. 이는 현장 운영자와 사무실 관리자 간의 실시간 협업을 가능하게 하며, 이들 사이의 효과적인 통신을 지원합니다. [그림 3-13]과 같이 FMETP와 WebSocket의 조합은 이러한 원격협업 시스템이 원활하게 작동하도록 보장하며, 실시간 데이터 전송의 신뢰성과 효율성을 극대화합니다.

[그림 3-13] 중계 서버에서 WebSocket 사용 예시

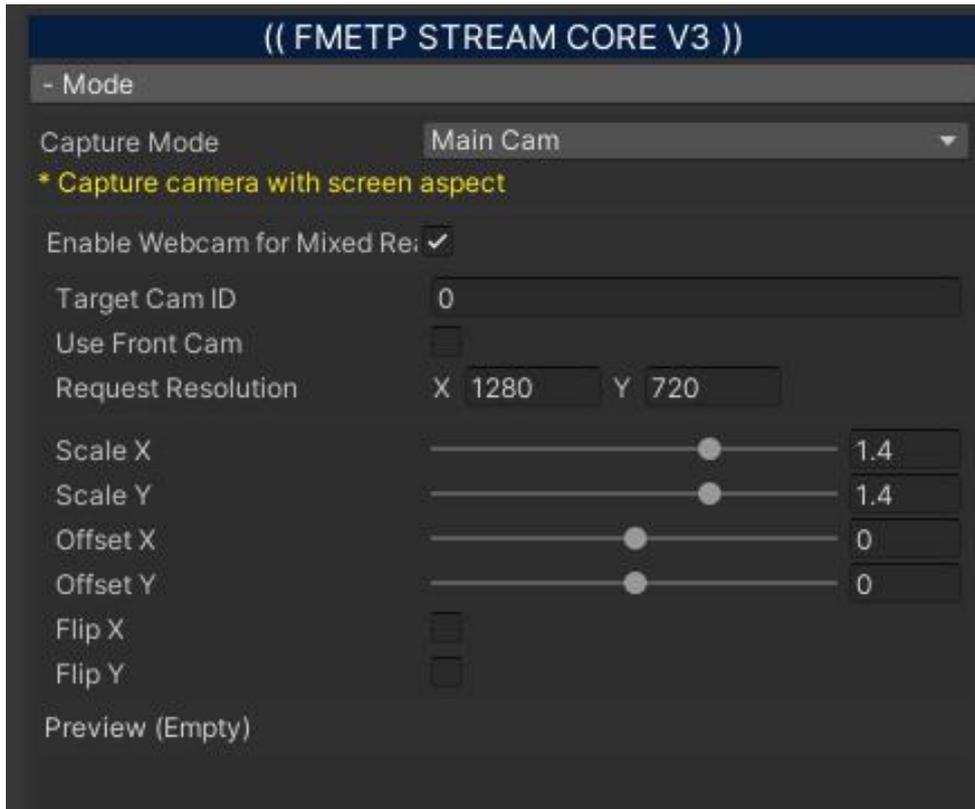


본 연구에서는 현장 작업자들이 사용하는 혼합현실 장비인 홀로렌즈2를 통해 수집된 MRC를 [그림 3-14]와 같이 FMETP 모듈로 인코딩하고, 이를 통신 서버를 통해 사무실 관리자 시스템으로 전송하는 과정을 상세히 분석하였습니다. 이는 원격협업이 요구되는 현대 사회에서 실시간성이 중요한 요소로 작용하기 때문입니다. 이에 따라, 빠르고 효율적인 데이터 전송 방식이 필요합니다.

홀로렌즈2에서 수집된 MRC는 우선 FMETP 모듈로 인코딩되어 압축된다. 인코딩 과정은 데이터를 보다 작은 크기로 변환하여 통신 효율을 향상하는 역할을 합니다. 이렇게 변환된 데이터는 바이트 형태로 변환되어, 이후 통신 서버로 전송됩니다. 통신 서버는 인코딩된 MRC 데이터를 사무실 관리자 시스템으로 전송합니다. 이 서버는 다양한 네트워크 환경에서도 안정적인 데이터 전송을 보장하며, 실시간성을 유지하는 데 필수적인 요소다. 사무실 관리자 시스템에서는 전달받은 데이터를 다시 디코딩하는 과정을 거칩니다. 디

코딩 과정은 인코딩된 데이터를 원래의 형태로 복원하는 역할을 한다. 복원된 MRC는 원래의 형태로 웹 브라우저 뷰어에 표시되어, 최종 사용자가 이를 확인할 수 있습니다.

[그림 3-14] 현장작업자 시스템 MRC 인코딩 설정 예시



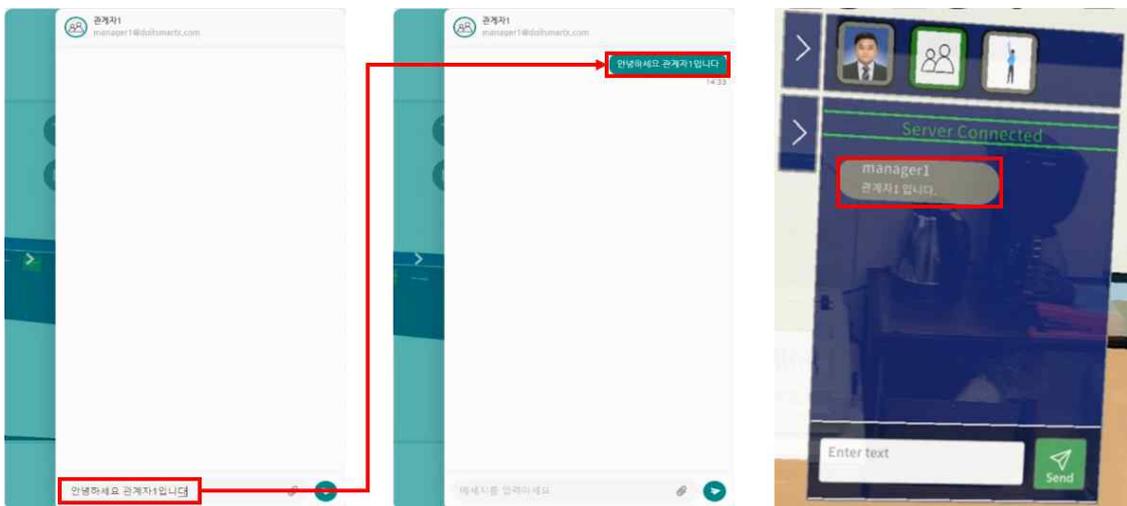
현장 작업자와 사무실 관리자와 같은 서로 다른 환경에서 작업하는 그룹 간의 효율적인 의사소통을 위해 두 가지 유형의 채팅 기능이 제안되었습니다. 이 연구는 WebSocket을 사용한 텍스트 기반 채팅 시스템과 음성 기반 시스템을 제공함으로써 이들 사이의 정보 교류를 향상하는 데 초점을 맞추고 있습니다.

WebSocket을 활용한 텍스트 기반 채팅 시스템은 실시간 웹 응용 프로그램에 이상적인 통신 프로토콜입니다. 이 프로토콜은 브라우저와 서버 사이에서 통신을 가능하게 하고, 즉시의 메시지 교환을 허용하는 이벤트 기반의 통신 패턴을 제공합니다. 이러한 접근 방식은 채팅 애플리케이션에서 주로 사용

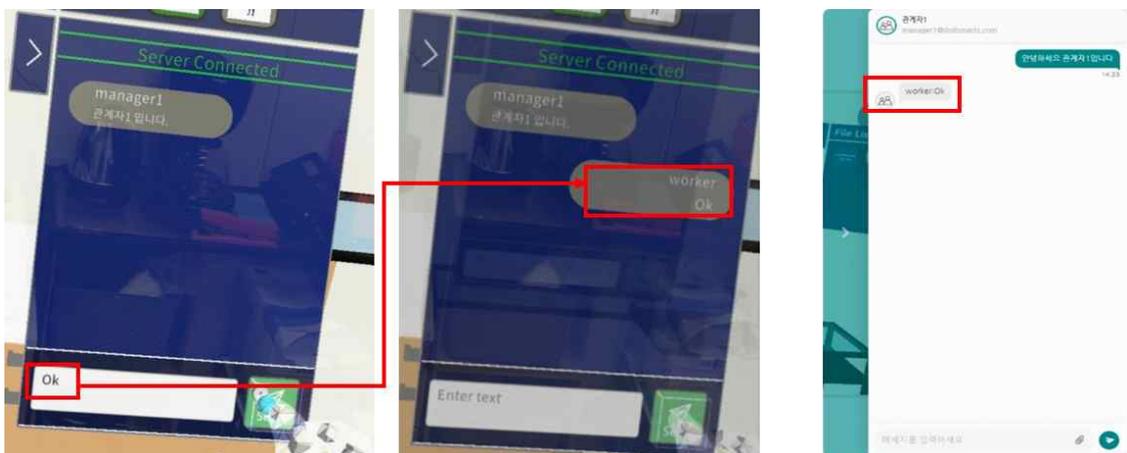
되며, 특히 현장 작업자와 사무실 관리자와 같은 서로 다른 환경에 위치한 사용자들 사이의 실시간 데이터 공유에 매우 효과적입니다.

WebSocket을 사용한 텍스트 기반 채팅 시스템의 주요 장점 중 하나는 메시지 전송의 빠른 속도입니다. WebSocket은 연결을 초기화한 후에는 TCP 연결을 유지하므로 데이터의 실시간 전송이 가능합니다. [그림 3-15]와 [그림 3-16]과 같이 사무실 관리자가 현장 작업자에게 즉각적인 지시를 내리거나, 현장에서 발생하는 문제에 대한 즉시 해결을 위해 중요한 요소가 될 수 있습니다.

[그림 3-15] 사무실 관리자시스템에서 현장 작업자시스템으로 채팅 예시



[그림 3-16] 현장 작업자시스템에서 사무실 관리자시스템으로 채팅 예시

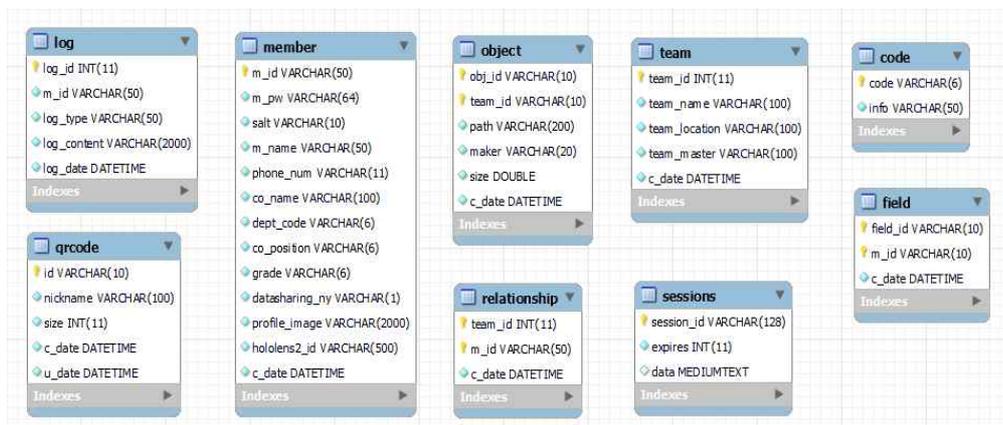


음성 기반의 채팅 시스템은 음성 인식과 음성 합성 기술의 발전에 따라 감속되지 않은 속도로 성장하고 있습니다. 이러한 시스템은 사용자가 전화와 같은 방식으로 서로 소통할 수 있게 해줍니다. 이러한 형태의 의사소통은 텍스트 채팅에 비해 더 자연스럽고 직관적일 수 있으며, 특히 현장 작업자들이 작업을 멈추지 않고 손이 자유로울 때 매우 유용할 수 있습니다. 음성 기반의 채팅 시스템은 직관적인 인터페이스와 사용자 친화적인 접근 방식을 제공함으로써 현장 작업자와 사무실 관리자 간의 효율적인 의사소통을 촉진할 수 있습니다. 사용자가 손을 사용하지 않고도 메시지를 전송하거나 받을 수 있으므로 현장에서 작업 중인 작업자의 생산성을 높일 수 있습니다.

따라서, WebSocket을 사용한 텍스트 기반의 채팅 시스템과 음성 기반의 채팅 시스템은 각각의 장점과 특성이 있으며, 현장 작업자와 사무실 관리자간의 의사소통에 각각 중요한 역할을 할 수 있습니다. 이 두 가지 시스템을 효과적으로 사용하면 정보 교환의 효율성과 정확성을 높이고, 결국 전체적인 작업 효율성을 향상할 수 있을 것입니다.

마지막으로, 시스템의 중요한 정보를 안정적으로 보관하고 관리하는 역할을 하는 데이터베이스는 [그림 3-17]과 같이 MariaDB를 사용하여 구현되었습니다. MariaDB는 고성능, 높은 안정성, 완벽한 ACID 규정 준수 등의 특징을 가지고 있어, 통신 서버가 더 효율적이고 신뢰성 있는 운영을 보장합니다. MariaDB는 SQL 기반의 오픈소스 관계형 데이터베이스 관리 시스템으로, 확장성과 유연성이 뛰어나다는 점에서 널리 사용되고 있습니다.

[그림 3-17] MariaDB 구조



본 시스템은 [그림3-18]과 같이 데이터베이스 처리 과정에서는 Stored Procedure(SP)를 활용하였습니다. SP는 SQL 문장을 하나의 함수처럼 묶어서 저장해두고 필요할 때마다 호출하여 사용하는 것으로, 데이터베이스 시스템의 성능 향상과 코드 재사용성, 코드의 중앙화 등에 큰 장점을 가지고 있습니다.

따라서, 이 시스템에서는 MariaDB와 SP의 조합을 통해 높은 효율성과 안정성을 보장하면서 데이터 관리를 진행하였습니다. 이러한 구성은 사용자에게 빠른 응답 시간과 높은 서비스 품질을 제공하면서, 동시에 시스템의 유지 보수를 용이하게 하며, 변화하는 비즈니스 요구사항에 대응할 수 있는 유연성을 제공합니다. 이는 원격협업 시스템의 전체적인 성능과 신뢰성에 결정적인 영향을 미치며, 시스템이 원활하게 작동하는 데 중요한 역할을 합니다.

[그림 3-18] 프로시저 목록 및 예시

The image shows a database management interface. On the left, a tree view displays the database structure, including 'Tables' (code, field, ip, log, member, object, qrcode, relationship, sessions, team) and 'Views'. Under 'Stored Procedures', a list of procedures is shown, such as 'getManagerInfo', 'getManagerListInRoom', 'getMatching', etc. On the right, a code editor displays the SQL code for the 'getManagerListInRoom' procedure. The code includes a parameter '@memberIDs' of type VARCHAR(500), a WHILE loop to process the list of member IDs, and a final query to retrieve member information based on the constructed list.

테이블과 프로시저

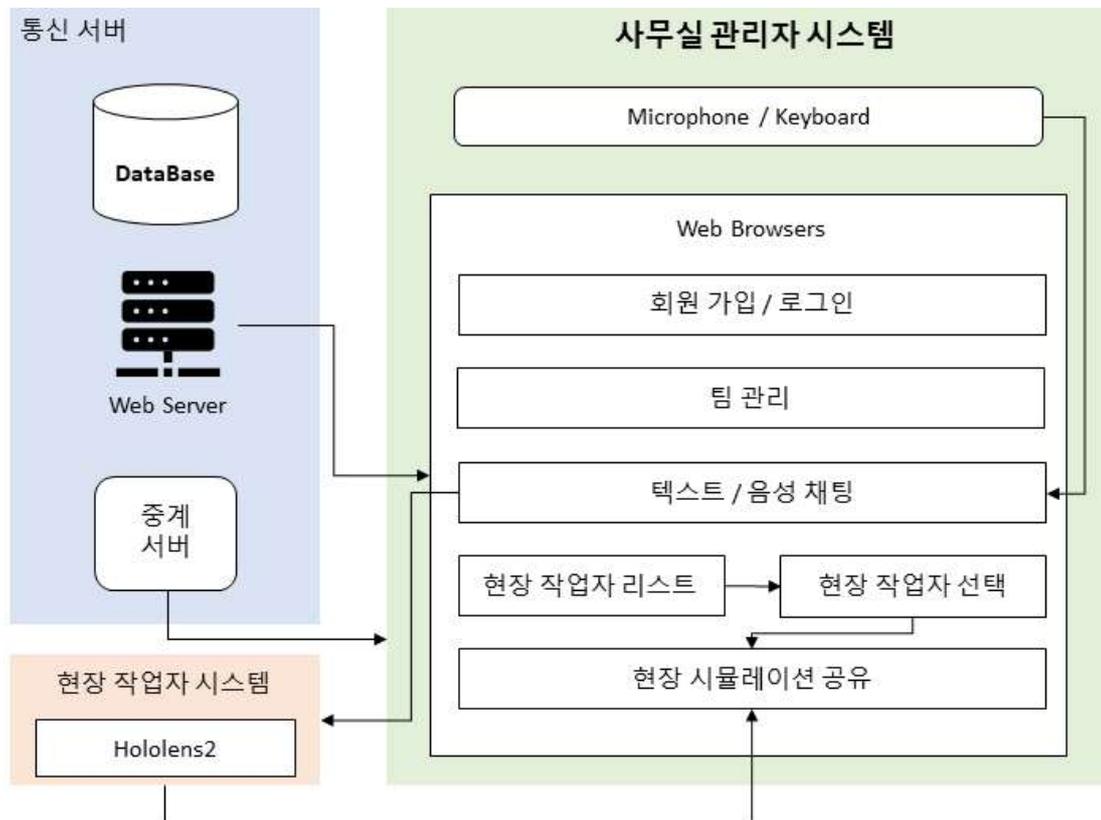
프로시저 예시

통합적으로 보면, 통신 서버는 효과적인 원격협업을 가능하게 하는 핵심적인 세 가지 기능을 수행합니다. 애플리케이션 서버는 시스템 운영에 필요한 정보를 관리하고 제공하며, 중계 서버는 현장 작업자시스템과 사무실 관리자 시스템 간의 실시간 통신을 지원하고, 마지막으로 데이터베이스는 안정적인 정보 보관과 관리를 담당합니다.

제 5 절 사무실 관리자시스템

사무실 관리자시스템은 사용자 사용성과 접근성을 중요시하여 웹 브라우저 기반 구조로 개발되었습니다. 이와 같은 접근 방식 덕분에 인터넷에 접속할 수 있으며 웹 브라우저가 작동할 수 있는 다양한 기기 및 환경에서 이용할 수 있었습니다(예를 들어, 데스크톱 컴퓨터, 노트북 컴퓨터, 스마트폰 등과 같은 기기들). 이렇게 함으로써, 사용자는 시간과 장소에 구애받지 않고 원활한 작업 환경을 이용할 수 있게 되어 효율성 및 생산성을 극대화할 수 있습니다. 또한, 이러한 특징은 기업 내 협업을 촉진하며 자원을 더욱 효율적으로 활용할 수 있게 해줍니다. [그림 3-19]는 사무실 관리자시스템에 전체적인 구조입니다.

[그림 3-19] 사무실 관리자시스템 구조



사무실 관리자시스템은 특정 사용 그룹과 사용자를 대상으로 하는 시스템으로, 이러한 사용 그룹과 사용자를 보다 명시하고 보안성을 높이기 위해 [그림 3-20]과 같이 회원가입 기능을 제공합니다. 이 회원가입 과정은 사용자의 개인정보와 로그인 정보를 수집하며, 이를 이용하여 해당 사용자의 신원을 확인하고 시스템 접근 권한을 부여합니다. 회원가입 절차는 보안성을 강화하기 위해 다양한 보안 요소를 포함합니다. 예를 들어, 회원가입 시 사용자의 비밀번호는 일정한 복잡성 요구사항을 충족해야 하며, 회원가입 시 이메일 인증을 통해 보안 강화 등의 추가적인 보안 절차를 거칠 수 있습니다.

사무실 관리자시스템은 또한 로그 기능을 제공하여, 시스템 접근 기록과 사용자 활동을 추적하고 분석할 수 있습니다. 이를 통해 시스템의 보안성을 강화하고, 필요한 경우 이전의 시스템 활동을 추적하여 보안 문제를 신속하게 파악하고 대처할 수 있습니다.

따라서, 사무실 관리자시스템은 회원가입 기능을 통해 사용 그룹과 사용자를 명시하고 보안성을 강화하며, 역할(Role)을 통해 권한을 부여하고 로그 기능을 제공하여 시스템의 안정성을 유지합니다.

[그림 3-20] 사무실 관리자시스템 회원가입 페이지 예시



사무실 관리자시스템은 사용자 권한 관리라는 중요한 기능을 포함하고 있습니다. [그림 3-21]에 따르면, 최종 관리자는 사용자의 등급을 지정하고 관리하는 능력을 보유하고 있습니다. 이 특징은 팀원 간의 역할 분배와 권한 부여에 있어서 중요합니다.

사용자의 등급 지정 기능은 현장 작업자와 사무실 관리자 등 다양한 역할의 사용자를 구분하고 관리하는 데 사용됩니다. 이러한 기능은 시스템 사용자에게 그들의 역할에 부합하는 권한을 부여하는 데 중요하며 이는 팀의 생산성과 작업 흐름의 효율성을 높이는 데 도움을 줍니다. 사용자의 등급 지정은 특정 역할에 대한 책임을 명확히 하며, 필요한 작업을 수행하기 위한 적절한 권한을 보장합니다. 이렇게 등급을 지정함으로써, 최종 관리자는 사용자 간의 역할을 효과적으로 조정하고, 각 사용자가 필요로 하는 권한에 대한 접근성을 보장할 수 있습니다. 이러한 기능은 조직의 보안을 유지하면서 동시에 작업 효율성을 높이는 데 기여하며, 전반적으로 조직의 작업 흐름과 효율성을 향상하는 중요한 역할을 수행합니다.

[그림 3-21] 등급관리 페이지 예시

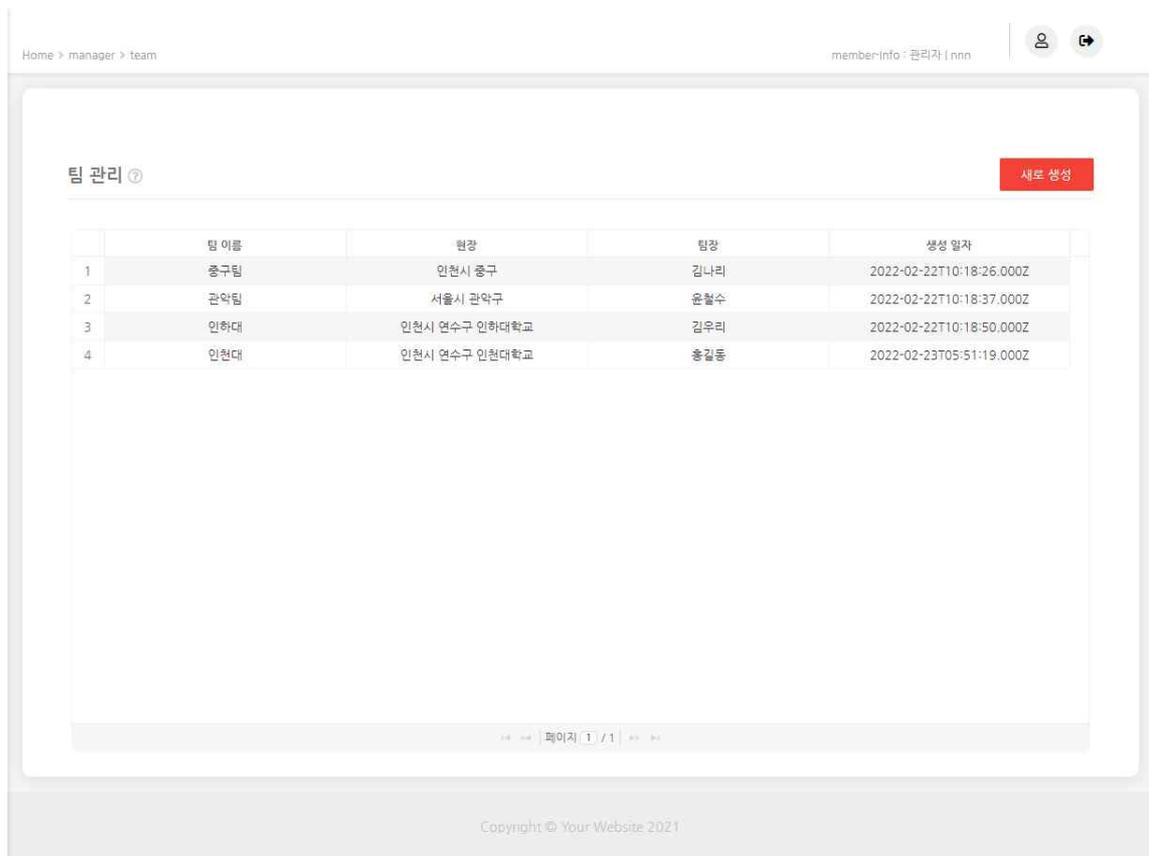
등급 관리				
	ID	이름	소속	등급
1	bestyoung92@naver.com	김남영	DoIT	작업자
2	doittest08@doitsmartx.com	두잇테스트1	doittest	임시사용자
3	doittest09@doitsmartx.com	두잇테스트2	doittest	작업자
4	doittest1@doitsmartx.com	사용자1	INU	관계자
5	doittest2@doitsmartx.com	사용자2	INU	작업자
6	doittest3@doitsmartx.com	사용자3	INU	임시사용자
7	doittest4@doitsmartx.com	사용자4	INU	작업자
8	doittest5@doitsmartx.com	사용자5	INU	작업자
9	doittest6@doitsmartx.com	사용자6	INU	작업자
10	inu01@test.com	인원데이터스트1	INU	작업자

본 시스템은 일반적으로 조직 내에서 작업의 효율성과 생산성을 높이기 위해 [그림 3-22]와 같이 팀 관리 시스템을 제공합니다. 이는 관리자가 개별 프로젝트의 진행 상황을 추적하고 필요한 자원을 적절히 할당하고, 정해진 시간 내에 목표를 달성하도록 마감일을 설정하고 관리할 수 있도록 돕습니다.

또한, 팀 관리 시스템은 업무의 공정한 분배를 통해 개개인의 업무 부담을 줄이는 데 도움이 됩니다. 이는 직원들이 업무에 더 집중하고, 그로 인해 전체 팀의 생산성을 높이는 효과가 있습니다. 이러한 시스템은 팀원들이 서로 정보를 공유하고, 문제를 해결하며, 의사결정 과정에 함께 참여하도록 하는 것은 팀원들 간의 상호 작용을 통합하고 개선하는데 중요합니다.

마지막으로, 팀 관리 시스템은 팀원들의 성과를 추적하고 평가하는 기능을 제공함으로써, 관리자가 팀원들의 목표 달성 여부를 평가하고, 필요한 경우 적절한 피드백을 제공할 수 있도록 지원합니다.

[그림 3-22] 팀 관리 페이지 예시



팀 관리 기능은 [그림 3-23]과 같이 사무실 관리자가 팀을 생성하고, 팀원을 추가하거나 삭제하는 능력을 포함합니다. 이런 방식으로, 관리자는 조직의 노동력을 적절하게 배분하고 관리할 수 있습니다. 팀 생성 기능은 관리자

가 특정 프로젝트나 과제에 대한 팀을 구성할 수 있게 해줍니다. 이러한 팀은 일반적으로 공통의 목표를 공유하는 직원들로 구성되며, 이들은 특정 업무를 완성하기 위해 함께 작업합니다. 또한, 팀원 추가와 삭제 기능은 관리자가 필요에 따라 팀 구성을 유동적으로 관리할 수 있도록 해줍니다. 특정 프로젝트나 업무가 진행되는 동안, 관리자는 해당 업무에 가장 적합한 직원을 팀에 추가할 수 있습니다. 또한, 팀원이 업무를 완료하거나 팀에서 이탈할 경우 관리자는 이를 즉시 반영하여 팀을 업데이트할 수 있습니다. 이런 방식으로, 관리자는 팀 구성을 지속해 최적화하고, 전체 팀의 생산성과 효율성을 유지하거나 향상할 수 있습니다.

따라서, 팀 관리 시스템의 주요 목적은, 프로젝트 관리의 효율성을 높이고, 공정한 업무 분배를 통한 생산성 향상을 돕고, 팀 간 의사소통을 촉진하며, 팀원들의 성과를 추적하고 평가하는 것입니다. 이는 조직의 전반적인 성과를 향상하는 데 결정적인 역할을 합니다.

[그림 3-23] 팀 관리 페이지 기능 예시

The screenshot shows a web interface for team management. At the top, it says '팀명 : 중구팀' and 'member-info : 관리자 | nnn'. Below this is a table titled '매칭 관리' with the following data:

	ID	이름	소속	등급	매칭 인원 추가
1	bestyoung92@naver.com	김남영	DoIT	작업자	삭제
2	doittest08@doitsmartx.com	두잇테스트1	doittest	임시사용자	추가
3	doittest09@doitsmartx.com	두잇테스트2	doittest	작업자	추가
4	doittest1@doitsmartx.com	사용자1	INU	관계자	삭제
5	doittest2@doitsmartx.com	사용자2	INU	작업자	삭제
6	doittest3@doitsmartx.com	사용자3	INU	임시사용자	삭제
7	doittest4@doitsmartx.com	사용자4	INU	작업자	삭제
8	doittest5@doitsmartx.com	사용자5	INU	작업자	삭제
9	doittest6@doitsmartx.com	사용자6	INU	작업자	삭제
10	inu01@test.com	인현대테스트1	INU	작업자	추가
11	inu02@test.com	인현대테스트2	INU	작업자	추가
12	sjan6964@naver.com	테스트두잇	두잇 테스트	임시사용자	추가

At the bottom of the page, there is a copyright notice: 'Copyright © Your Website 2021'.

본 시스템은 현장 작업자와 사무실 관리자 간의 정보 교류 및 공동 작업을 향상하는 중요한 구성요소로, 프로젝트에 참여하는 현장 작업자들의 화면 공유 기능을 제공합니다. 이 기능은 [그림 3-24]와 같이 현장 작업자 목록을 통해 정보를 공유하고자 하는 특정 작업자를 선택할 수 있도록 설계되었습니다.

본 시스템은 공유하고자 하는 작업자를 선택하는 과정에서 사용자의 편의성을 고려하여, 사용자 인터페이스를 최적화하였습니다. 이러한 디자인 철학은 사용자 경험에 기반하여 개발되었으며, 사용자의 작업 효율성과 적응성을 높이는 데 중점을 두었습니다.

[그림 3-24] 현장 작업자 목록 페이지 예시



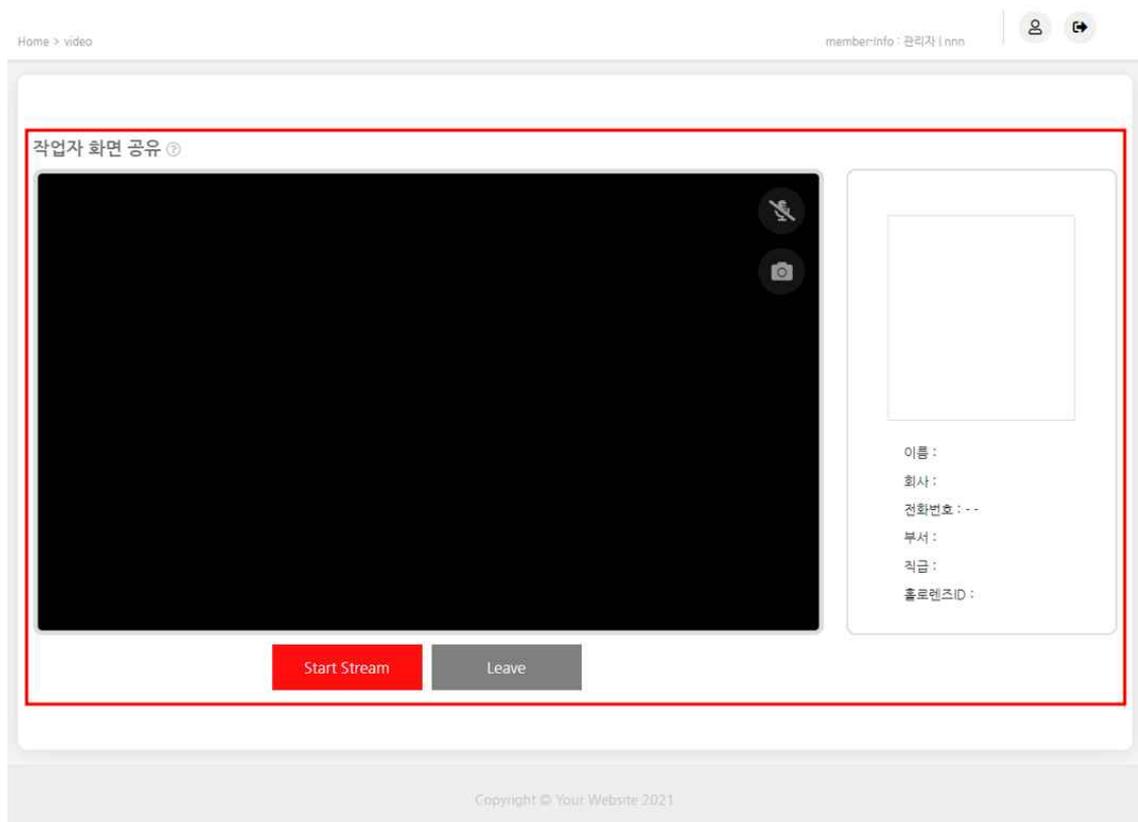
작업자 목록에서 특정 작업자를 선택하는 순간, 본 시스템은 [그림 3-25]와 같이 해당 작업자의 화면 공유 페이지를 제공하게 됩니다. 이 화면 공유 페이지는 현장 작업자의 MRC를 표시하며, 현장 작업자와의 소통을 가능케 하는 전반적인 사용자 인터페이스를 제공합니다.

이 페이지는 현장에서 수행되는 작업의 실시간 시각화를 가능하게 함으로

써 사무실 관리자가 현장 작업 상황을 명확하게 이해하고, 그에 따른 적절한 의사결정을 내릴 수 있도록 돕습니다. 더불어, 이 페이지는 현장 작업자와의 상호작용을 촉진하는 User Interface(UI)를 갖추고 있어, 다양한 피드백 및 지시사항을 제공하는 데 있어 유용하게 사용될 수 있습니다.

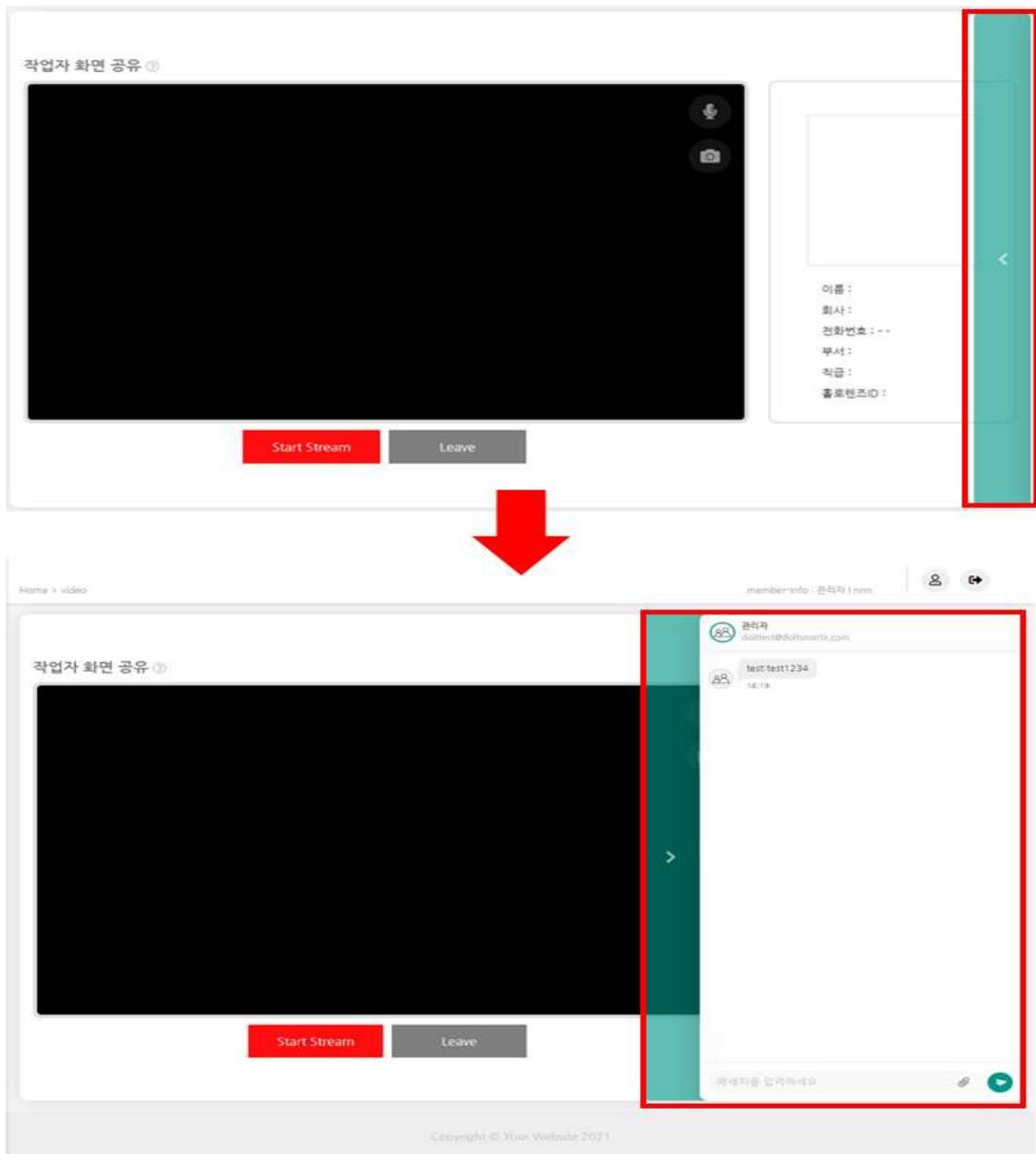
작업자 화면 공유 페이지는 세 가지 주요 요소로 구성되어 있습니다. 작업자의 화면 공유, 작업자의 정보, 그리고 작업자와 의사소통을 가능하게 하는 인터페이스입니다. 작업자 정보는 페이지의 우측에 배치되어 있으며, 이를 통해 작업자의 이름, 소속 회사, 전화번호, 부서, 직급 등의 정보를 확인할 수 있습니다. 이는 사용자가 작업자의 기본 정보를 신속하게 파악하고, 필요에 따라 적절한 의사소통을 진행할 수 있도록 돕습니다. 작업자의 화면 공유 기능은 로딩 화면에서 작업자의 화면을 전송받아 사용자에게 제공합니다. 이를 통해 사용자는 작업자의 활동 상황을 실시간으로 확인하고, 이에 따른 적절한 지시나 피드백을 제공할 수 있습니다.

[그림 3-25] 작업자 화면 공유 페이지 예시



마지막으로, 작업자와의 의사소통을 위한 인터페이스는 사용자의 사용성을 고려하여 그림 26과 같이 디자인되었습니다. 텍스트 기반의 채팅 창은 평소에는 숨겨져 있으며, 사용자가 필요로 할 때만 클릭하여 펼칠 수 있도록 하였습니다. 이처럼 UI는 최소한의 방해만을 주며, 필요한 기능을 즉시 제공할 수 있도록 설계되었습니다. 또한 음성 채팅 기능은 한 가지 버튼을 통해 쉽게 접근할 수 있도록 설계되었습니다.

[그림 3-26] 작업자 화면 공유 페이지 채팅화면 예시



제 4 장. 사용자 사용성 테스트

제 1 절 사용성 테스트 설계

본 연구에서는 개발된 원격협업 시스템의 사용성을 평가하기 위한 사용자 연구를 수행하였습니다. 이 연구의 목표는 이 시스템이 얼마나 직관적이고 사용자 친화적인지, 그리고 실제 작업 환경에서 이 시스템이 얼마나 효과적으로 작동하는지를 평가하는 것이었습니다. 이를 위해 우리는 연구실을 실험 장소로 선정하고, [그림 4-1]에 나타난 해당 연구실의 BIM 도면을 생성하였습니다.

[그림 4-1] 시스템 테스트용 연구실의 BIM 도면



테스트는 두 명의 사용자 그룹으로 진행되었습니다. 하나의 그룹은 연구실에서 현장 운영 시스템을 사용하였고[그림 4-2(a)], 다른 그룹은 원격 사무실에서 사무실 관리 시스템을 사용하였습니다. 사무실 관리자시스템 사용자는 데스크톱 PC를 통해 현장 운영 시스템 사용자의 시점을 실시간으로 볼 수 있었습니다[그림 4-2(b)]. 이를 통해 관리자시스템 사용자 사용자는 현장 운영 시스템 사용자에게 가상 객체를 원하는 위치로 이동시키도록 지시할 수 있었습니다.

현장에서는 HoloLens 2를 착용한 현장 운영 시스템 사용자가 사무실 관리 시스템 사용자의 지시에 따라 가상 객체를 이동시켰습니다[그림 4-3]. 이 두 사용자 그룹은 동일한 시점을 공유하면서 음성으로 소통하였습니다. 이 시스템을 통해 현장 운영자와 사무실 관리자 간의 통신이 얼마나 향상되는지를 평가할 수 있었습니다.

이 실험에는 총 20명의 테스터가 참여하였습니다. 이들은 현장 운영 시스템과 사무실 관리 시스템을 사용하여 두 명씩 짝을 이루고, 서로 소통하며 주어진 미션을 완료하였습니다. 한 번의 테스트 후에는 역할을 바꾸어서 다시 테스트를 진행하였습니다.

참가자들은 여성 8명, 남성 12명으로 구성되었으며, 그들은 다양한 전공과 직업 분야에서 모였습니다. 건축 및 환경공학과와 학부생 4명과 대학원생 1명, 건축학과의 학부생 2명과 대학원생 2명, 건축업계 종사자 4명, 일반 회사원 6명이 참여하였습니다. 대부분의 참가자는 혼합현실 기기에 대해 처음 접해보는 경험이였으며, 이러한 배경은, 이 연구의 결과를 보다 신뢰성 있게 만들었습니다.

[그림 4-2] 홀로렌즈2를 착용한 현장 작업자와 그 시점을 보는 사무실 관리자



[그림 4-3] 가상 창이 있는 연구실 벽의 실제 시점과 가상 창이 있는 실제 시점



제 2 절 사용성 테스트 결과

총연구 참여자는 총 40명으로 구성되었으며, 그중 20명은 시스템을 사용한 사용자이고, 나머지 20명은 시스템을 사용하지 않은 사용자입니다. 이를 통해 사용자들의 시스템 사용에 대한 의견을 평가하고 비교 분석할 수 있습니다. 연구에서는 여섯 가지 주요 항목을 평가하여 시스템의 효과를 정량적으로 분석하였습니다.

그룹으로 나누어 연구를 진행한 이유는 연구의 목적과 효과적인 비교 분석을 위함입니다. 시스템을 사용한 사용자 그룹과 사용하지 않은 사용자 그룹 간의 비교를 통해 시스템의 사용 효과를 신뢰성 있게 평가할 수 있습니다. 시스템을 사용한 사용자 그룹은 혼합현실 시스템을 경험하고 피드백을 제공할 수 있으며, 사용하지 않은 사용자 그룹은 현재의 작업 방식을 기준으로 비교 평가할 수 있습니다. 이러한 그룹별 연구 접근을 통해 시스템의 사용 효과와 잠재적인 이점을 신뢰성 있게 확인할 수 있습니다. 비교 분석 결과를 통해 시스템의 유용성과 효율성을 더욱 명확하게 평가할 수 있습니다.

사용자들은 다음 질문¹⁾에 대한 5점 척도(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 보통, 4: 그렇다, 5: 매우 그렇다)로 답변하였습니다.

1. 홀로렌즈를 통해 가상 객체의 위치 파악에 도움이 되었다.
2. 가상 객체를 자신이 원하는 위치로 이동할 수 있었다.
3. 사무실 관리자시스템 사용자에게 효과적으로 의사를 전달할 수 있었다.
4. 사무실 관리자시스템을 통해 작업자가 보고 있는 현장의 상황을 이해할 수 있었다.
5. 현장 작업자 시스템 사용자에게 효과적으로 의사를 전달할 수 있었다.
6. 본 시스템이 건설 현장의 원격협업에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

1) 부록 설문지 참조

시스템을 사용한 연구 참여자 20명의 설문 결과[표 4]를 분석한 결과, 매우 좋은 결과를 얻었다는 결론을 도출할 수 있습니다. 사용자들은 홀로렌즈를 통해 가상 객체의 위치 파악에 매우 긍정적인 반응을 보였으며, 가상 객체를 자유롭게 이동시킬 수 있는 기능에 대해서도 매우 긍정적으로 평가하였습니다. 사무실 관리자시스템과 현장 작업자시스템의 의사 전달 및 현장 상황 이해 기능에 대해서도 사용자들은 매우 좋은 결과를 보였습니다. 사무실 관리자 시스템을 통해 의사를 효과적으로 전달할 수 있다고 응답한 사용자들의 비율이 상당히 높았으며, 작업자의 현장 상황을 이해할 수 있는 기능에 대해서도 매우 긍정적인 평가를 받았습니다. 또한, 본 시스템의 건설 현장의 원격협업에 대한 활용 가능성에 대해서도 사용자들은 매우 긍정적인 평가를 했습니다. 시스템이 건설 현장에서의 원격협업에 효과적으로 활용될 수 있다고 응답한 사용자들의 비율이 상당히 높았으며, 이는 시스템이 현장 작업자들과 관리자 들 간의 원활한 소통과 협업을 지원하고 있다는 것을 시사합니다.

이러한 결과를 종합해보면, 20명의 시스템 사용자들은 전반적으로 매우 좋은 결과를 얻었으며, 시스템이 다양한 기능들을 효과적으로 제공하여 사용자들의 요구를 충족시켰음을 확인할 수 있습니다. 이는 시스템의 성능과 사용자 경험 측면에서 매우 성공적인 결과로 평가될 수 있습니다.

[표 4] 시스템을 사용한 연구 참여자에 대한 설문 응답

질문	응답				
	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	0	0	3	2	15
2	0	0	0	7	13
3	0	1	0	6	13
4	0	1	1	6	12
5	0	0	0	5	15
6	0	0	3	5	12

시스템을 사용하지 않은 연구 참여자 20명의 설문 결과[표 5]를 분석한 결과, 해당 연구에 참여한 모든 참여자가 부정적인 응답을 보였습니다. 시스템을 사용하지 않은 연구 참여자들은 혼합현실 장비의 기능을 활용하지 않고 진행된 연구이기 때문에, 가상 객체의 위치 조정과 사무실 관리자와의 의사소통에 대한 부정적으로 인식하고 있다고 판단하였습니다. 혼합현실 장비를 사용하지 않은 연구 참여자들은 가상 객체를 자신이 원하는 위치로 이동시키는 것에 대해 불만을 표명하였으며, 사무실 관리자와의 효과적인 의사소통이 이루어지지 않을 것으로 생각하였습니다.

이러한 결과는 혼합현실 시스템을 사용하지 않은 연구 참여자들이 가상 객체의 위치 조정 및 이동 기능, 그리고 사무실 관리자와의 의사소통에 대한 제약 사항을 부정적으로 생각한다는 것을 시사합니다.

[표 5] 시스템을 사용하지 않은 연구 참여자에 대한 설문 응답

질문	응답				
	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	4	7	2	4	3
2	7	4	3	4	2
3	7	5	3	1	4
4	4	8	3	4	1
5	5	8	3	2	2
6	8	3	3	2	4

마지막으로 본 연구에서는 [그림 4-4]와 같이 파이썬을 사용하여 대량의 데이터셋에 대해 고급 통계 분석을 실시하였습니다. 파이썬은 그 기능성과 강력한 데이터 처리 및 분석 라이브러리로 인해 과학과 연구 커뮤니티에서 널리 채택되고 있습니다. 복잡한 통계 분석은 scipy와 같은 패키지를 이용해 직관적이면서도 효율적으로 수행할 수 있습니다.

[그림 4-4] 파이썬 T-검정 소스코드 예시

```
t-test.py > ...
1  import numpy as np
2  from scipy import stats
3
4  # 입력 데이터
5  group1 = np.array([[0, 0, 3, 2, 15],
6                    [0, 0, 0, 7, 13],
7                    [0, 1, 0, 6, 13],
8                    [0, 1, 1, 6, 12],
9                    [0, 0, 0, 5, 15],
10                   [0, 0, 3, 5, 12]])
11
12  group2 = np.array([[4, 7, 2, 4, 3],
13                   [7, 4, 3, 4, 2],
14                   [7, 5, 3, 1, 4],
15                   [4, 8, 3, 4, 1],
16                   [5, 8, 3, 2, 2],
17                   [8, 3, 3, 2, 4]])
18
19  # 점수 변환
20  weights = np.array([1, 2, 3, 4, 5])
21  group1_scores = group1 @ weights
22  group2_scores = group2 @ weights
23
24  # T-검정
25  t_statistic, p_value = stats.ttest_ind(group1_scores, group2_scores)
26
27  print("# Result")
28  print("# T statistic: ", t_statistic)
29  print("# P value: ", p_value)
```

이 연구의 주요 목적은 t-검정을 통해 시스템 사용 그룹과 비사용 그룹 간의 평균 응답 점수에 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 분석하는 것이었습니다. T-검정은 두 개의 독립적인 표본 그룹의 평균 간 차이가 통계적으로 유의미한지를 결정하는 통계적 검정 방법입니다. 이 방법을 통해 그룹 간 차이가 단순히 우연에 의한 것인지, 아니면 실제로 두 그룹 간에 중요한 차이가 존재하는지를 확인할 수 있습니다. 본 연구에서 얻어진 t-검정의 결과는 [그림 4-5]와 같습니다.

T statistic: 30.203212454194205

P value: 3.705666156794315e-11

[그림 4-5] 파이썬 T-검정 결과값 예시

```
C:\Users\USER\Desktop\ny> c: && cd c:\Users\USER\Desktop\ny && cmd /C "C:\Users\USER\AppData\Local\Programs\Python\Python38\python.exe c:\Users\USER\.vscode\extensions\ms-python.python-2023.8.0\pythonFiles\lib\python\debugpy\adapter/.\.debugpy\launcher 8877 -- C:\Users\USER\Desktop\ny\test_0.py "
```

```
# Result  
# T statistic: 30.203212454194198  
# P value: 3.705666156794315e-11
```

T-통계량은 두 그룹 간의 평균 차이를 표준 오차로 나눈 값으로, 이 값이 크면 두 그룹 간의 평균 차이가 크다는 것을 나타냅니다. 이번 연구에서는 T-통계량 값이 30.2로, 두 그룹 간에 상당한 평균 차이가 있다는 것을 시사 하였습니다. P 값은 귀무가설(두 집단의 평균이 동일하다는 가설)이 참일 경 우, 현재와 같이 극단적인 표본 데이터가 관찰될 확률을 나타냅니다. 일반적 으로 P값이 0.05 이하일 경우, 그룹 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 결론지을 수 있습니다. 이번 연구에서는 P값이 3.705666156794315e-11로, 0.05보다 훨씬 낮아 두 그룹 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 판단 할 수 있었습니다.

이 결과는 혼합현실과 3D 오브젝트를 이용한 원격협업 시스템이 사용자 의 가상 객체 위치 파악, 의사소통, 현장 상황 이해 등에 대한 긍정적인 효과 를 가질 수 있다는 주장을 지지합니다. 그러나 이 분석 결과는 통계적인 분석 에 기반하였으므로, 이를 바탕으로 시스템의 전반적인 효과나 특정 사용자에게 대한 효과를 일반화하는 것에는 신중을 기해야 합니다. 더욱이, 이 분석은 상 관관계를 나타내는 것이며, 인과관계를 보여주는 것은 아닙니다. 이러한 결과 를 바탕으로 더 깊이 있는 연구를 통해, 시스템 개선의 방향성을 찾아나갈 수 있을 것입니다.

따라서, 이 연구의 결과는 시스템의 효과에 대한 초기적인 이해를 제공하 며, 이를 통해 향후 더욱 심도 있는 연구를 수행하는 데 방향을 제시하는 중 요한 근거가 될 것입니다. 또한, 이 결과는 시스템의 개선 및 최적화를 위한 다음 단계를 계획하고 실행하는 데 도움이 될 것입니다.

제 3 절 고찰

본 연구는 건설 산업에서의 원격협업이라는 특별하고 도전적인 분야에 있어서, BIM과 혼합현실의 강력한 조합을 활용함으로써 중요한 기여를 하였습니다. 원격협업에 관한 연구는 건설 산업에 특화된 적용 가능성을 고려해 봤을 때, 아직 충분히 개척되지 않은 영역입니다. 그 이유는 건설 프로젝트의 본질적 특성에 기인할 수 있습니다.

제조 산업에서는 공장과 같은 통제 가능하고 구조화된 환경에서 많은 양의 동일한 제품을 생산하는 것이 일반적입니다. 그러나 건설 산업은 다르게 작동합니다. 건설 제품, 즉 건물은 독특하고, 그들은 지구 표면에 직접 부착됩니다. 이는 일반적으로 구조화되지 않은 현장 환경이 건설 프로젝트에 결정적인 중요성을 가짐을 의미합니다. 이러한 문맥에서, 구조화되지 않은 현장 상황을 원격협업자들에게 효과적으로 전달하는 것이 성공적인 원격협업에 있어 핵심적인 요소입니다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 BIM과 혼합현실의 결합을 도입하였습니다. BIM은 건물의 물리적 및 기능적 특성을 디지털 형태로 표현하는 프로세스입니다. 반면에, 혼합현실은 실제 세계와 디지털 콘텐츠를 결합하여 사용자가 모두를 동시에 인지하고 상호작용할 수 있도록 하는 기술입니다. 본 연구에서 개발된 시스템은 현장 상황을 정확하게 캡처하고 이를 원격협업자들에게 전달할 수 있었습니다.

AEC 산업에서의 원격협업 연구는, 건설 제품이 고정된 위치에 설치되어 있기 때문에, 아직 충분히 발달하지 않았습니다. 이는 건설 프로젝트에서 원격협업을 통해 BIM 요소들의 공간적 정렬이 필수적임을 의미합니다. 반면, 제조 산업은 주변 환경의 영향을 크게 받지 않기 때문에, 공간적 정렬이 그렇게 중요하지 않습니다. 본 연구는 BIM과 혼합현실의 조합이 이러한 문제를 해결하는 데 유용한 방법임을 보여 주었습니다.

결론적으로, 본 연구는 BIM과 혼합현실을 결합하여, 기존에 미개척이었던 건설 산업에서의 원격협업 영역에 중요한 발전을 가져왔습니다. 이 연구는 이 기술의 적용 가능성과 그 효과를 확인하고, 건설 현장에서의 원격협업이 이

방법으로 어떻게 향상될 수 있는지에 대한 더 많은 연구가 필요함을 보여주었습니다.

이 연구에서 개발된 시스템에 대한 사용성 테스트는 여러 참가자로부터 다양한 피드백을 얻었습니다. 대체로 참가자들은 이 시스템에 대해 긍정적인 의견을 제시하였지만, 그들은 또한 도전적인 사항들을 지적하였습니다. 이러한 피드백은 시스템을 개선하고 발전시키는 데 중요한 참고 자료로 사용되었습니다.

현장 작업자가 사용하는 시스템에 대한 피드백 중 하나는 음향 및 영상 품질이 떨어진다는 점이었습니다. 이러한 피드백은 원격협업 환경에서 의사소통의 품질을 보장하는 것이 얼마나 중요한지를 강조하였습니다. 또한 일부 참가자들은 홀로그램 객체의 선명도가 충분하지 않고, 시야각이 너무 좁다는 점을 지적하였습니다. 이러한 이슈는 향후 하드웨어와 소프트웨어의 발전을 통해 개선될 것으로 예상되었습니다.

사무실 관리자가 사용하는 시스템에 대한 피드백에서도 비슷한 의견이 제시되었습니다. 사무실 관리자들은 현장의 전반적인 상황을 파악하고 이해하기가 어렵다는 점을 지적하였습니다. 이는 시야가 너무 좁기 때문으로 판단되었습니다. 또한, 사무실 관리자들이 BIM 가상 객체를 직접 조작할 수 있도록 하는 것이 유용할 것이라는 의견도 제기되었습니다.

이렇게 제안된 시스템은 AEC 산업에서 원격협업이 필요한 다양한 상황에 적용될 수 있습니다. 특히, 사무실에서 건설 현장을 실시간으로 모니터링해야 할 경우, 이 시스템은 매우 유용하게 사용될 수 있습니다. 현장 작업자가 이 시스템을 사용하면, 원격으로 사무실 관리자의 지원을 받으면서 건설이 계획대로 진행되고 있는지 확인하는 데 도움이 될 수 있습니다. 사무실 관리자는 현장의 실제 이미지와 BIM 객체를 겹쳐 볼 수 있어, 현장 방문이 불필요하게 되는 등의 이점이 있습니다.

더 나아가, 이 시스템은 리모델링 프로젝트의 설계 단계에서도 매우 효과적으로 사용될 수 있습니다. 현장 작업자 시스템 사용자는 가상 객체를 조작하고 원격 사무실 관리자와 MRC를 공유함으로써, 프로젝트의 전반적인 결정 과정에 실질적인 도움을 줄 수 있습니다. 이러한 방식은 더 효율적이고 정보

에 기반한 의사결정을 가능하게 하며, 따라서 프로젝트의 성공 가능성을 높일 수 있습니다.

전반적으로 이 연구는 새로운 원격협업 시스템을 통해 AEC 산업에서의 현장 관리 및 작업 효율성을 향상할 가능성을 보여주었습니다. 사용자 피드백은 시스템 개선의 필요성을 도출하며, 향후 연구 방향을 제시하였습니다. 이러한 피드백은 원격협업 시스템의 개발과 적용을 위한 중요한 지표로서, 시스템의 효과와 효율성을 극대화하는 데 필요한 중요한 정보를 제공하였습니다.

제 5 장 결론

제 1 절 요약

이 연구에서는 혼합현실을 기반으로 한 원격협업 시스템을 개발하고, 그 사용성을 검증하였습니다. 이 시스템은 현장 작업자 시스템, 통신 서버, 그리고 사무실 관리자 시스템의 세 가지 주요 구성요소로 이루어져 있습니다.

본 연구에서는 BIM과 혼합현실을 통합하여 이 원격협업 시스템의 구축 및 적용 가능성을 확인하였습니다. 이 시스템의 개발과 검증을 위해 실시한 설문조사 결과는 매우 긍정적이었습니다. 모든 문항에서 응답자들의 평균 응답이 '그렇다'와 '매우 그렇다' 사이에 위치하였으며, 이는 이 시스템이 사용자들에게 편리하고 이해하기 쉬웠다는 것을 나타냅니다. 특히, 현장 작업자 시스템을 이용하여 가상 객체의 위치를 파악하고 이동시키는 것에 대한 만족도는 높았습니다. 또한, 사무실 관리자 시스템을 통해 현장의 상황을 이해하고 효과적으로 의사를 전달할 수 있었다는 응답도 높았습니다. 이러한 결과는 혼합현실 기반의 원격협업 시스템이 사용자들에게 매우 높은 사용성을 제공한다는 것을 입증합니다.

따라서, 이 연구는 혼합현실과 BIM의 통합을 통해 건설 현장에서의 효율적인 정보 교환 및 협업을 증진할 수 있는 가능성을 보여줍니다. 사용자들의 긍정적인 평가를 통해 본 시스템의 실제 활용 가능성이 검증되었으며, 이에 따라 건설 현장에서의 원활한 협업과 효율적인 작업 진행이 가능하다는 결론을 내릴 수 있습니다. 이 연구의 결과는 현장 작업자와 사무실 관리자 모두에게 이익을 제공하며, 이러한 기술의 더 넓은 적용 범위와 잠재적인 가능성을 제시합니다.

제 2 절 한계

이 연구는 혼합현실 기반 원격협업 시스템의 구현과 검증을 성공적으로 수행하였으나, 몇 가지 제한적인 측면이 있습니다. 이러한 한계를 명확히 인식하고 그에 대한 해결 방안을 모색함으로써, 연구의 가치를 더욱 높이고 잠재적인 발전 가능성을 더욱 확대할 수 있을 것입니다.

첫 번째 한계는 양방향 커뮤니케이션의 제한입니다. 현재 시스템에서는 현장 작업자 시스템에서 사무실 관리자 시스템으로 청각 및 시각 정보를 전달할 수 있지만, 사무실 관리자 시스템에서 현장 작업자 시스템으로 청각 정보만 전달할 수 있습니다. 이에 따라 상호 간의 효과적인 커뮤니케이션이 제약됩니다. 사무실 관리자가 시각적 정보를 포함한 지시를 전달할 방법을 개발하는 것이 필요합니다. 이는 원격협업의 효율성을 높이는 데 결정적인 역할을 할 것입니다. 예를 들어, 사무실 관리자가 입력한 텍스트나 주석이 FOS 화면에 실시간으로 표시되도록 하는 기능을 개발하면, 원격협업의 효율성이 크게 향상될 것으로 기대됩니다.

두 번째 한계는 BIM 가상 객체 조작의 권한이 현장 작업자 시스템 사용자에게만 제한되어 있다는 점입니다. 현재 시스템에서는 사무실 관리자 시스템 사용자는 지시를 내리는 것에만 초점을 맞추고 있습니다. 그러나, 사무실 관리자 시스템 사용자도 BIM 객체를 이동하거나 회전시키는 등의 조작을 할 수 있다면 더 효과적인 협업이 가능해질 것입니다. 이는 모든 협업자가 동시에 동일한 가상 객체를 조작할 수 있도록 함으로써 상호작용의 수준을 높이는 데 기여할 것입니다.

마지막 한계는 시스템의 효과성과 효율성을 정량적으로 평가하는 방법이 아직 확립되지 않았다는 점입니다. 본 연구에서는 설문조사를 통한 정성적인 평가를 주로 수행하였습니다. 이는 사용자의 경험과 인식을 파악하는 데는 유용하지만, 시스템의 성능과 효율성에 대한 구체적인 정량적 측정치를 제공하지는 못합니다. 따라서, 시스템의 효과성과 효율성을 정량적으로 측정하고 분석하는 방법이 추가적인 연구에서 도입되어야 합니다. 이를 통해 시스템의 성능을 더 객관적이고 정확하게 평가하고, 개선할 수 있는 방향을 식별하는 데

도움이 될 것입니다.

이 연구의 한계를 극복하기 위한 노력은 이 분야의 연구를 더욱 발전시키고, 이 시스템의 실질적인 적용 가능성과 활용도를 높일 기회를 제공할 것입니다.

부록

설문지

안녕하십니까?

바쁘신 와중에도 본 조사에 참여해 주셔서 진심으로 감사드립니다!

본 설문지의 목적은 『혼합현실과 3D 오브젝트를 이용한 원격협업 시스템 사용성에 대한 연구』에 관한 연구에 필요한 자료를 얻기 위함입니다.

각 질문 사항에 대해서 귀하께서 느끼시는 그대로 솔직하게 응답하여 주시면 됩니다. 귀하께서 응답해 주신 내용은 익명으로 처리되며 일체의 비밀이 보장되며, 통계 목적 이외의 용도로는 절대 사용하지 않습니다.

설문에 귀중한 시간을 할애해 주셔서 다시 한번 감사드립니다.

2023년 5월

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원
스마트융합컨설팅학과
스마트융합컨설팅전공

지도교수 : 정진택

연구자 : 김남영

E-MAIL : dave@doitsmartx.com

[가로]

〈현장 작업자 시스템 사용자 - 작업자용〉

	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1. 홀로렌즈를 통해 가상 객체의 위치 파악에 도움이 되었다.	①	②	③	④	⑤
2. 가상 객체를 자신이 원하는 위치로 이동할 수 있었다.	①	②	③	④	⑤
3. 사무실 관리자시스템 사용자에게 효과적으로 의사를 전달할 수 있었다.	①	②	③	④	⑤
4. 기타 의견 ()					

〈사무실 관리자시스템 사용자 - 관리자용〉

	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1. 사무실 관리자시스템을 통해 작업자가 보고 있는 현장의 상황을 이해할 수 있었다.	①	②	③	④	⑤
2. 현장 작업자 시스템 사용자에게 효과적으로 의사를 전달할 수 있었다.	①	②	③	④	⑤
3. 본 시스템이 건설 현장의 원격협업에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤
4. 기타 의견 ()					

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 김원종, 조진표. (2022). 홀로렌즈2를 이용한 실시간 생체 객체 인식 시스템 구현. 대한전자공학회 학술대회 2022.11, 386-388.
- 김학준, 채승호, 서종훈, 김하영, 한탁돈. (2013). 증강현실 인터페이스를 위한 실시간 손 인식 방법: 웹 카메라를 이용한 증강현실 시스템에서 손 인식을 위한 간단한 알고리즘 제안. 『한국HCI학회』 837-839.
- 오주영, 이준, 허환, 이중호, 박지형. (2016). 시선추적과 손동작 인식을 이용한 겹쳐진 가상 객체 선택 방법. 『한국HCI학회』 310-312.
- 윤영석, 김동명, 서재원. (2022). 홀로렌즈 2 기반의 백제 금동대향로를 위한 증강 현실 서비스 개발." 한국정보통신학회 종합학술대회 논문집 26.1, 584-586.
- 천정희, 정동근. (2021). 홀로렌즈2를 이용한 브레인 네비게이션. 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집, 575-576.
- 황정인, 서진욱. (2017). 혼합현실 상의 원거리 물체의 효율적인 조작을 위한 벽 기반 공간 조작 기법. 『서울대학교 공과대학 컴퓨터공학부 석사학위논문』
- 허환, 이민호, 황영배 (2019). 홀로렌즈에서 ToF 센서를 이용한 딥러닝 기반의 정적 손동작 인식. 『한국HCI학회』 976-979.

2. 국외문헌

- Al-Adhami, M. (2019). Extended reality approach for construction quality control.
- Alzadehsalehi, S.; Hadavi, A.; Huang, J. C. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. Automation in Construction, 116,

103254.

- Ammari, K.E.; Hammad, A. (2019). Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality. *Automation in Construction*, 107, 102940.
- Bai, H.; Sasikumar, P.; Yang, J.; Billinghamurst, M. A. (2020). User Study on Mixed Reality Remote Collaboration with Eye Gaze and Hand Gesture Sharing. *CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Honolulu, Hawaii, USA (moved to fully virtual), 25–30.
- Bosche, F.; Abdel-Wahab, M.; Carozza, L. (2016). Towards a Mixed Reality System for Construction Trade Training. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30, 04015016.
- Carrasco, M.D.O.; Chen, P.H. (2021). Application of mixed reality for improving architectural design comprehension effectiveness. *Automation in Construction*, 126, 103677.
- Chalhoub, J.; Ayer, S.K. (2018). Using Mixed Reality for electrical construction design communication. *Automation in Construction*. 86, 1–10.
- Chen, L.; Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, 46, 64–73.
- Chen, T. (2021). An Active Early Warning System for Heavy Construction Vehicle Drivers based on Mixed Reality, pp, 11–15.
- Fonnet, A.; Alves, N.; Sousa, N.; Guevara, M.; Magalhaes, L. (2017). Heritage BIM integration with mixed reality for building preventive maintenance. *24^o Encontro Português de Computação Gráfica e Interação (EPCGI)*, Guimaraes, Portugal, 12–13
- Kim, S.; Lee, G.; Billinghamurst, M.; Huang, W. (2020). The combination of visual communication cues in mixed reality remote collaboration.

- Journal of Multimodal User Interface, 14, 321–335.
- Matthews, J.; Love, P.E.D.; Heinemann, S.; Chandler, R.; Rumsey, C.; Olatunj, O. (2015). Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction. *Automation in Construction*, 58, 38–47.
- Milgram, P.; Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77D, 1321–1329.
- Naticchia, B.; Corneli, A.; Carbonari, A. (2020). Framework based on building information modeling, mixed reality, and a cloud platform to support information flow in facility management. *Frontiers of Engineering Management*, 7, 131–141.
- Nguyen, D.C.; Nguyen, T.Q.; Jin, R.; Jeon, C.; Shim, C. (2020). BIM-based mixed-reality application for bridge inspection and maintenance. *Construction Innovation*, 22, 487–503.
- Prabhakaran, A.; Mahamadu, A.M.; Mahdjoubi, L.; Manu, P. (2020). An approach for integrating mixed reality into BIM for early stage design coordination. In *MATEC Web of Conferences*, Cape Town, South Africa, 24–26 Sep.
- Raimbaud, P.; Lou, R.; Merienne, F.; Danglade, F.; Figueroa, P.; Hernandez, J. T. (2019). BIM-based Mixed Reality Application for Supervision of Construction. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, Japan, 23–27 Mar.
- Rokhsaritalemi, S. (2020). A review on mixed reality: Current trends, challenges and prospects, 10(2), 636.
- Rydvanskiy, R. (2021). Mixed reality flood visualizations: reflections on development and usability of current systems, 10(2), 82.
- Teo, T.; Lawrence, L.; Lee, G.A.; Billingham, M.; Adcock, M. (2019). Mixed Reality Remote Collaboration Combining 360 Video and 3D

- Reconstruction. CHI '19: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Glasgow, Scotland, UK, 4–9.
- Teruggi, S. (2022). HoloLens 2 Spatial Mapping Capabilities in Vast Monumental Heritage Environments, 46, 489–496.
- Ungureanu, D. (2020). Hololens 2 research mode as a tool for computer vision research, 2008.11239.
- Vasilevski, N.; Birt, J. (2020). Analysing construction student experiences of mobile mixed reality enhanced learning in virtual and augmented reality environments. *Research in Learning Technology*, 28, 2329.
- Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.
- Wang, X.; Truijens, M.; Hou, L.; Wang, Y.; Zhou, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40, 96–105.
- 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*, 41, 284–296.
- Yang, J.; Sasikumar, P.; Bai, H.; Barde, A.; Soros, G.; Billingham, M. (2020). The effects of spatial auditory and visual cues on mixed reality remote collaboration. *Journal of Multimodal User Interfaces*, 14, 337–352.
- Zhang. (2020). Research on Experiential Design of RV Interior Using HoloLens2, p. 202–206.

ABSTRACT

A Study on the Usability of Remote Collaboration System Using Mixed Reality and 3D Object

Kim, Nam-Young

Major in Smart Convergence Technology
Consulting

Dept. of Smart Convergence Consulting

Graduate School of Knowledge Service
Consulting

Hansung University

Remote collaboration for construction site management is challenging. Building Information Modeling (BIM) provides the potential for remote collaboration based on its powerful data compatibility. Also, the recently evolving Mixed Reality technology improves visual perception by superimposing 3D virtual BIM objects on real-world artifacts. This study proposes a remote collaboration system based on BIM in Mixed Reality. This system consists of three unit systems: 1) Field Operator System (FOS), 2) Communication Server, and 3) Office Manager System (OMS). FOS was developed based on 혼합현실 smart glasses for a field operator. The field operator can manipulate virtual BIM objects with finger-pointing cues and share the view with an office manager. FOS creates Mixed Reality Capture(MRC) video, the combined image of real-world images of existing artifacts in the construction site with virtual BIM

elements superimposed on them, and sends it through the Communication Server to OMS. So, the office manager can see the field operator's view through OMS based on a desktop or tablet PC. The office manager can give instructions to a field operator by voice through OMS. A user test was conducted to evaluate the applicability of the developed prototype system. As a result of the test, it was found that most of the testers had a positive evaluation of the developed system. This paper discusses the development of the BIM and MR-based remote collaboration and the test results.

【Key words】 Remote collaboration, Mixed reality, Building Information Modeling, Head-mounted display