creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사 학위논문

증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발

Development of an augmented reality-based remote facility safety diagnosis system

울산대학교 산업대학원

산업경영공학전공

민 범 준

증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발

Development of an augmented reality-based remote facility safety diagnosis system

지도교수 이 수 동

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2023년 12월

울산대학교 산업대학원

산업경영공학전공

민 범 준

민범준의 공학석사 학위논문을 인준함

2023년 12월

심사위원장 황 규 선 (인)

심사위원 정 기 효 (인)

심사위원 이 수 동 (인)

울산대학교 산업대학원

2023년 12월

국문 초록

화학 물질을 다루는 석유·화학 산업 플랜트 특성상 고위험 접근 제한 구역 설비와 장비뿐만 아니라 그 외 주요 설비와 장비에 대해서도 수시 모니터링과 점검은 기본적으로 이루어지는 필수 사항이지만 고압 전류나 유해가스 유출 등의 보이지 않는 위험요소로 인하여 관리가 힘들며, 복잡한 설비 장애 발생 시 현장의 긴급대처가 어려운 현실이다. 이러한 안전사고 문제와 설비 장애로 발생하는 설비 Down-Time을 방지하고자 본 연구에서는 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론을 제시하고, 제시된 방법론을 기반으로 석유화학 플랜트 기업을 위한 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 구축 및 실증하였다. 제안된 시스템의 주요 기능은 안전사고를 사전에 방지할 수 있는 활동을 지원하기 위해 증강현실 기반의 현장 설비 안전진단 시각화(AR 기반의 설비 모니터링 및 상태확인 등)와 복잡한 설비의 장애 발생 시 현장에서 작업자가 간단한 조치만으로 해결할 수 있는 증강현실 기반의 정비 매뉴얼(AR 기반의 영상 및 그래픽으로 보는 조치 가이드) 등이다.

본 연구에서 제시한 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발을 하기 위해 다음과 같은 절차로 연구를 수행하였다. 첫째, 증강현실의 개념 정의 및 특성과 분류체계의 정의 및 구성에 대해 조사하였으며, 연구 개념 정의를 바탕으로 기존 증강현실 관련 분류체계에 관한 선행연구 조사를 실시하여 연구 방향을 제시하였다. 둘째,「분석 및 설계 → 개발 및 구현 → 검증 및 실증 → 테스트 및 현장 적용」의 4단계 개발과정과, 단계별로 수행해야 할 20개의 세부 항목을 정의하여「증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론」을 제안하고 이를 실제 개발 및 실증하였다.

따라서 향후 연구방향으로 제안된 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 다양한 석유화학 산업 플랜트로 확대 적용하고, 인공지능 알고리즘 적용을 통해 다양한 석유화학 산업별 데이터 수집으로 최적의 모델로 구축하여 다양한 산업별 실증모델을 기반으로 확산전략을 수립할 예정이다.

[목 차]

국문 초록 ····· Ⅰ

그림 목차 ····· Ⅳ

표 목차 ····· Ⅵ

제 1 장 서론 ····· 1

제 1 절 연구의 배경 ····· 1

제 2 절 연구의 목적 ····· 2

제 3 절 연구의 방법 ····· 2

제 2 장 관련 연구 ····· 3

제 1 절 AR(Augemented Reality) ····· 3

제 2 절 AR 기술 활용 및 적용 사례 ····· 5

제 3 절 AR 산업의 시장 및 기술 동향 ····· 9

제 3 장 시스템 분석 및 설계 ····· 11

제 1 절 AR 기반의 안전진단 시스템 방법론 제시 ····· 11

제 2 절 AR 기반의 안전진단 시스템 분석 ····· 12

제 3 절 AR 기반의 안전진단 시스템 설계 ····· 14

제 4 장 시스템 개발 및 실증 ····· 16

제 1 절 AR 기반의 안전진단 시스템 개발 및 적용 ····· 16

제 2 절 AR 기반의 안전진단 시스템 실증 ····· 25

제 5 장 결론 ····· 29

제 1 절 연구의 결론 ····· 29

제 2 절 연구의 기대효과 ····· 30
제 3 절 연구의 한계점 및 발전 방향 ····· 30

참고 문헌 ····· 31

ABSTRACT ····· 33

[그림 목차]

[그림 1] AR과 VR의 정의 ····· 3
[그림 2] Microsoft의 AR 기술 활용사례 ····· 6
[그림 3] VIRNECT의 AR 기술 활용사례 ····· 7
[그림 4] PTC의 AR 기술 활용사례 ····· 7
[그림 5] GE의 AR 기술 활용사례 ····· 8
[그림 6] BMW의 AR 기술 활용사례 ····· 8
[그림 7] 참여분야별 국내 VR・AR 산업 전망 ····· 9
[그림 8] 마켓 앤 마켓, “2027년까지 AR 및 VR 시장 전망” 보고서 ····· 10
[그림 9] 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론 ····· 11
[그림 10] 실증현장 사용자 요구사항 정의서 ····· 12
[그림 11] AR 기반의 안전진단 시스템의 지원 디바이스 ····· 13
[그림 12] AR 기반의 안전진단 시스템의 기능 시나리오 ····· 14
[그림 13] AR 기반의 안전진단 시스템의 UI 시나리오 ····· 15
[그림 14] 실증현장 플랜트 설비 공간 데이터 ····· 16
[그림 15] 네트워크 및 Edge Computer 설치 현장 ····· 17
[그림 16] 실증현장의 PLC Tag List ····· 17
[그림 17] 안전진단 시스템 3D Modeling 작업 화면 ····· 18
[그림 18] 안전진단 시스템의 증강현실 선택 화면 - 공간 인식 ····· 18
[그림 19] 안전진단 시스템의 출입절차 화면 ····· 19
[그림 20] 안전진단 시스템의 접근금지 알람 화면 ····· 19
[그림 21] 안전진단 시스템의 위험구역 설비 모니터링 화면 ····· 20
[그림 22] 안전진단 시스템의 설비점검 이력 현황 화면 ····· 20
[그림 23] 안전진단 시스템의 설비점검 이력의 위험성 평가 화면 ····· 21
[그림 24] 안전진단 시스템의 생산현황 이력 화면 ····· 21
[그림 25] 안전진단 시스템의 증강현실 선택 화면 - 마크 인식 ····· 22
[그림 26] 안전진단 시스템의 마크 인식 실행 화면 ····· 22
[그림 27] 안전진단 시스템의 정비 메뉴얼 화면 ····· 23

[그림 28] 안전진단 시스템의 사진 촬영 화면····· 23
[그림 29] 안전진단 시스템의 서명하기 화면····· 24
[그림 30] 안전진단 시스템의 프로그램 종료 화면····· 24
[그림 31] 시스템 성능 테스트 후 받은 공인시험성적서····· 28

[표 목차]

<표 1> AR 산업 적용 분야 ····· 4
<표 2> AR과 VR의 주요 특징 ····· 5
<표 3> AR 기반의 안전진단 시스템에 사용된 서버 및 디바이스 기본사양 ····· 13
<표 4> 시스템 성능 테스트 목표 ····· 25
<표 5> 대상 감지 반응속도 시험 결과 ····· 26
<표 6> 데이터 정확도 시험 결과 ····· 26
<표 7> 데이터 처리 지연속도 시험 결과 ····· 27
<표 8> 원격 대상 제어 처리속도 시험 결과 ····· 27

제 1장 서론

제 1절 연구의 배경

수년 전부터 개발되어온 AR(Augmented Reality) VR(Virtual Reality) 콘텐츠는 코로나-19로 인해 비대면으로 전환되면서 그 필요성이 크게 대두되었으며 코로나 이후 산업계 전반의 디지털 전환과 각종 안전 문제 등으로 더욱 폭발적으로 성장하는 추세이다. 또한, 4차 산업혁명의 물결 속에 전 세계 제조업들은 빅데이터, 사물인터넷(IoT), 인공지능, AR/VR 등 최신 4차 산업혁명 기술들을 활용하여 공정 설비의 생산 능력을 높이거나, 제품의 품질 수준 향상, 공정 운영의 안전성 및 신뢰도 향상을 목적으로 한 관련 기술이 주목받고 있다. [5, 13]

화학 물질을 다루는 석유·화학 산업 플랜트 특성상 고위험 접근 제한 구역 설비와 장비뿐만 아니라 그 외 주요 설비와 장비에 대해서도 수시 모니터링과 점검은 기본적으로 이루어지는 필수 사항이지만, 고압 전류나 유해가스 유출 등의 보이지 않는 위험요소로 인하여 관리가 어려운 현실이다. 따라서 안전사고를 사전에 방지할 수 있는 활동을 지원하기 위해 위험 상황 발생을 직관적으로 확인하기 위한 Mark(QR, 바코드 등) 인식 및 Area(공간) 인식을 통한 원거리 설비 모니터링과 유사시 현장에서 현장 작업자가 바로 제어를 할 수 있는 증강현실 기반으로 된 모니터링 시스템이 절실한 상황이며, 언어 소통의 제약이 있는 외국인 근로자들과 관리 인력의 순환 재배치 및 숙련자 은퇴로 인해 설비점검 업무의 전문성 확보가 어려워 장비 및 설비 장애 발생 시 작동법 미숙으로 인한 오류가 많은데 현장에서 작업자가 간단한 조치만으로 해결할 수 있게 증강현실 기술을 활용하여 작업자가 조치할 수 있도록 영상 및 그래픽으로 구현하여 눈으로 보면서 손쉽게 따라 할 수 있는 매뉴얼을 제작 및 배포하여 스스로 조치할 수 있도록 플랜트 설비의 장애 발생 시 현장의 표준화된 긴급 대처 안내 체계가 필요하다는 것이다. [2]

제 2절 연구의 목적

본 논문에서는 위험한 화학 물질을 다루는 석유·화학 산업을 대상으로 AR 기술을 이용한 원거리 설비 모니터링과 AR 기술을 이용한 교육훈련 콘텐츠를 개발하여

제한 접근 구역의 고압 전류나 유해가스 유출 등의 보이지 않는 위험 요소로 인하여 관리가 어려운 설비에서 발생하는 안전사고와 복잡한 설비의 장애 발생 시 즉각적인 대응이 어려워 장애 수리 및 설비 점검에 많은 시간과 비용이 소요되고 있는 이러한 문제를 방지할 수 있도록 하고자 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 제안한다. 이를 제공함으로써 안전사고율 감소와 반복적인 설비 점검 업무에 대한 부담 경감 및 설비 Down-Time을 최소화할 수 있도록 하고, 숙련공의 확보가 어려운 현장에서 효율적인 인력 운영이 가능하도록 기대할 수 있다.

제 3 절 연구의 방법

본 연구에서는 위험한 화학 물질을 다루는 석유·화학 산업을 대상으로 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발을 하기 위해 다음과 같은 절차로 연구를 수행하였다.

첫째, AR의 개념 정의 및 특성과 분류체계의 정의 및 구성에 대해 조사한다. 연구 개념 정의를 바탕으로 기존 AR 관련 분류체계에 관한 선행연구 조사를 실시하여 연구 방향을 제시하고자 한다.

둘째, 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템의 개발을 위하여 「분석 및 설계 → 개발 및 구현 → 검증 및 실증 → 테스트 및 현장 적용」의 4단계로 정의하고, 단계별로 수행해야 할 20개의 세부 항목을 정의하여 「증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론」을 제시하고, 제시된 방법론을 기반으로 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발에 적용하였다.

제 2 장 관련 연구

제 1 절 AR(Augemented Reality)

1. AR의 기술 정의

AR은 실제로 존재하는 공간에 가상 정보를 실시간으로 증강하여 사용자가 증강된 가상 정보와 상호작용함으로써 작업 효율성을 향상시키는 기술이다. [1] AR[1], VR[2], MR[3] XR[4]이 디지털 콘텐츠를 형성시키는 새로운 기법으로 대두되고 있고, 특히 AR은 현실에 기반한 정보와 디바이스의 기술을 이용하여 가상 정보를 더해 정보의 이해를 돕거나 소통의 폭을 넓히는 역할을 한다. 또한 프로그램을 인식하며 눈앞의 대상과 탑재된 정보와의 상호작용을 가능케한다. 구현 기술의 발달로 인해 2D 평면 이미지는 물론 영상이나 3D 다차원 영역의 기술로 정보 전달력과 실재감과 몰입도를 강화시킨다. [3]

[그림 1] AR과 VR의 정의

출처 : https://brunch.co.kr/@igmigm/47

VR은 완전히 컴퓨터로 만든 가상 환경 속에 사용자를 넣지만, AR은 실제 환경에 정보를 직접 등록하는 것이 목적이다. AR과 VR은 실제 세계 사이의 간극을 공간적, 그리고 인지적으로 메워준다는 면에서 모바일 컴퓨팅을 한 단계 넘어선다. AR을 사용하면 최소한 인지적으로는 디지털 정보가 실제 세계의 일부처럼 보인다. [9]

---

1) AR(Augemented Reality) : 증강현실
2) VR(Virtual Reality) : 가상현실
3) MR(Mixed Reality) : 혼합현실
4) XR(Extended Reality) : 확장현실

2. AR 산업의 특성

AR은 기존의 스마트 디바이스를 활용하기 때문에 <표 1>과 같이 다양한 분야로 확장이 가능하다. 스크린골프, HMD 활용 콘텐츠, 증강현실 게임, 스마트팩토리, 360도 영상 등 관련 서비스가 빠르게 증가하고 있을 뿐만 아니라 의료, 제조, 국방 등 타 산업과의 융합도 활발하게 진행되고 있다. 산업용 AR의 경우 산업현장에서 이용자가 제공받은 데이터를 사용하여 안전, 교육, 훈련, 유지 보수, 품질검사, 예지 보전 등 산업 안전과 관련된 업무 효율을 높이는데 활용도가 증가하고 있다. [2]

<표 1> AR 산업 적용 분야

산업	활용 예시
게임	- 게임: PC/콘솔, 컴퓨터게임, 모바일게임 등 - 테마파크: 롤러코스터, 4D 시뮬레이터 등
교육	- 이러닝: 팝업북 등 교육 콘텐츠 - 훈련: 군사작전 훈련, 직업훈련 트레이닝 등
의료	- 외과학 분야: 수술 교육용, 고난이도 수술 훈련용 등 - 정신신경과학 분야: 가상 시뮬레이션 정신행동치료 - 영상진단학 분야: 3D 가상 대장내시경 등 CG 활용 - 재활의학 분야: 재활치료용 시뮬레이션 훈련 - 헬스케어 분야: 원격의료, 원격 피트니스 등
영상	- 영화: 기술영화(Tech-Film) - 내비게이션: 3차원 가상경로, 실사영상기반 실감 내비게이션 - 드론: 1인칭시점(FTV)영상, e-스포츠 등 - 부동산: 가상 모델하우스, 부동산 영상 등
방송・광고	- 방송: 가상 스튜디오, 드라마, 스포츠 중계, 콘서트 실황 공연 등 - 광고: 가상 광고 시스템, 전시관 가상 체험 등
제조・산업	- 자동차: 가상테스트, 디자인 및 설계, 자율주행체험 등 - 항공: 배선조립 및 도색공정 가상훈련, 기내 서비스 제공 등 - 기타: 복잡한 기계조립, 유지보수(A/S) 정도 획득

출처 : VR・AR중소기업기술로드맵(2019~2023)중소기업기술정보진흥원.

AR과 VR은 <표 2>와 같이 “가상의 환경이나 객체를 구현하고, 이용자들은 해당 환경 혹은 객체와 상호작용함으로써 미디어에 의해 매개되는 경험을 인지하지 못하

고, 실제와 같은 생생한 경험을 한다. 기존 미디어가 단순히 감상하는 형태이거나 3인칭 시점의 경험을 제공하는 것과는 다르게 AR과 VR은 1인칭 시점에서 이용자의 행위에 따라 가상의 환경 혹은 객체가 반응하기에 상호작용이 더욱 활발하게 이루어진다". [9]

<표 2> AR과 VR의 주요 특징

체험	몰입감	상호 작용	1인칭 시점
• 자신이 가상의 공간에 있는 듯한 경험을 제공 • 가상의 객체와 상호작용 하는 듯한 경험을 제공	• 실제 세계와 같은 360도 공간 안에 가상의 세계가 펼쳐져 몰입감 증가	• 손과 몸을 움직이며 가상현실 환경에서 행동을 유발할 수 있는 실시간 상호작용 가능	• 1인칭 시점을 통해 이를 이용자에게 실제 행위를 하는 것으로 인식하게 함

출처 : VR·AR중소기업기술로드맵(2019~2023)중소기업기술정보진흥원.

제 2 절 AR 기술 활용 및 적용 사례

최근 AR 기술은 '산업용 AR이라는 이름으로 제조, 유통, 의료 등의 산업현장에 적용되는 기업용 버전으로 방향을 틀고 있다. "AR은 이론상 현실과 가상 이미지의 조합, 실시간 상호작용, 3D 공간으로의 전개라는 3대 요건을 필요로 하지만, 근본적인 철학은 '현실 세계를 바탕으로 정보를 시각화' 하는 데 있다. 때문에 산업용 AR 기술은 작업자에게 데이터를 제공하여 조립, 수리, 검증, 모니터링, 품질관리, 교육 분야에서 생산성을 향상시키고 업무 효율을 높이는 조력자 역할을 하고 있다. [9]

복잡한 제조과정에서 [그림 2]와 같이 안경과 같은 HMD[5] 및 AR 웨어러블 디바이스(Wearable Device)[6]를 착용하면 문서와 태블릿과 스마트폰을 통해 별도의 지시 내용을 볼 필요 없이 AR 기술을 활용하여 원격으로 업무에 필요한 정보와 데이터를 실시간으로 확인할 수 있다. 제조 현장의 경우 AR 기술을 통해 현장의 분석된 데이터가 실시간으로 작업자들이 활용할 수 있다면, 생산성 면에서 획기적

5) HMD(Head Mounted Display) : 머리에 착용하는 디스플레이 장치
6) 웨어러블 디바이스(Wearable Device) : 다양한 형태로 신체에 착용 가능한 기기

인 효과가 있을 것으로 예상하고 있다. “작업자는 복잡하고 어려운 조립과정을 조립 순서와 방법에 대한 정보를 시각과 음성을 통해 전달할 수 있으며, 필요한 시점에서 볼트·너트를 조이는 정도 등 필요한 시점에서 정보를 정확하게 알 수 있다. [9]

[그림 2] Microsoft의 AR 기술 활용사례

출처 : https://learn.microsoft.com/ko-kr/dynamics365/mixed-reality/guides/get-started

또한 복잡한 작업들이 계획적이고, 순차적으로 이뤄지는 석유·화학 산업 공정은 하나의 공정에 문제가 생기면 다른 공정에 영향을 끼쳐 큰 손실을 발생시키므로 기계장치·설비 이상 시 AR 기술을 적용하여 효율적으로 관리할 수 있는 방법이 다양한 형태로 연구되고 있다.

국내의 버넥트 리모트는 실시간 원격협업 서비스를 통해 산업 현장에 필요한 정보와 이슈를 실시간으로 공유하여 언제 어디서든 업무 대응이 가능하다. 빠르고 간편하게 협업이 가능하며 기존의 익숙한 업무 환경을 그대로 유지하여 업무의 정확성과 효율성을 높일 수 있다. 버넥트는 전기발전 및 플랜트 산업에 특화된 AR 솔루션을 제공하고 있으며, 최근 석유화학/정유/통신 분야 등 AR 기술 사업영역을 확대하고 있다. 버넥트 리모트는 AR 기반 다자간 원격협업 솔루션으로 AR 기반으로 된 통화를 통해 원격 기술 지원 환경을 제공하여 다자간 원격협업으로 현장 1명, 원격 1명, 모니터링 4명으로 총 6명 접속 가능하다. [11] 버넥트 리모트의 실시간 원격협업 서비스는 아래의 [그림 3]과 같다.

[그림 3] VIRNECT의 AR 기술 활용사례

출처 : https://www.virnect.com/products/view

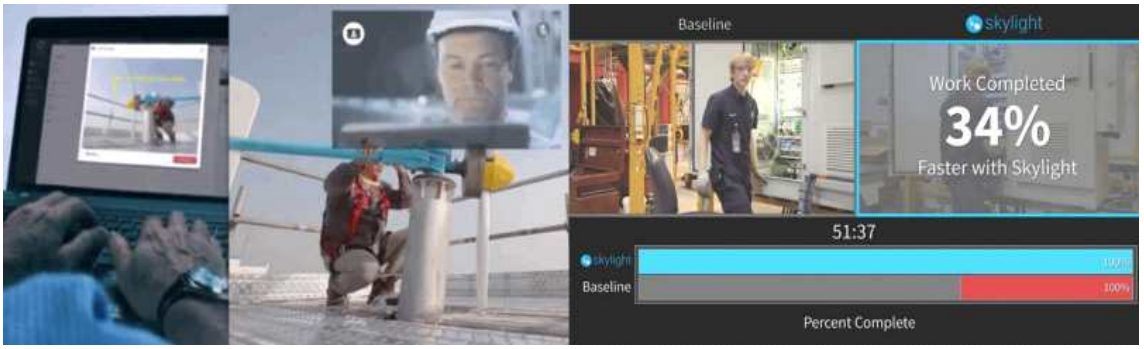
미국의 PTC는 2015년 퀄컴으로부터 AR 솔루션 전문 회사인 Vuforia를 인수하여 AR 시장으로 진입하여 사업을 확대하였다. Vuforia 제품군 중 Chalk는 모바일 기기를 통해 1:1 원격 협업 솔루션으로 AR 기반으로 된 통화를 통해 원격 기술 지원 환경을 제공한다. 고급 기술자는 모바일 또는 PC 기기를 사용하여 협업 기능을 사용할 수 있으며 별도의 회원가입 없이 가전제품 기술 지원을 위한 서비스를 지원하며, [11] 현장에서 전문 지식을 포착 및 공유하고, 대규모 CAD[7] 기반 AR 작업 지침을 위한 기존 제품 데이터를 소싱하고, AI[8]로 강화된 시각적 검사를 구축하고, [14] 실시간 원격 지원으로 일선 직원을 지원할 수 있는 포괄적인 AR 포트폴리오 형태의 PTC 제품은 [그림 4]와 같다.

[그림 4] PTC의 AR 기술 활용사례

출처 : https://www.ptc.com/ko/blogs/ar/what-is-augmented-reality

7) CAD(Computer Aided Design) : 컴퓨터를 통해 설계하는 기술
8) AI(Artificial Intelligence) : 인공지능

미국 플로리다 주 GE 재생에너지(Renewable Energy) 공장에서 [그림 5]와 같이 풍력 발전용 터빈을 조립하는 작업자들이 스마트 글라스를 착용하여 원격 정비를 수행하였다. GE는 스마트 글라스를 처음 착용하고 작업하는 경우에도 표준 작업 방법에 비해 생산성이 34% 향상되었다고 발표하였으며, 이를 바탕으로 GE는 생산, 조립, 수리, 유지관리, 물류관리 등 거의 모든 사업부에서 스카이라이트 플랫폼을 활용하였다. [1]



[그림 5] GE의 AR 기술 활용사례

출처 : https://stat.spri.kr/posts/view/22847?code=industry_trend

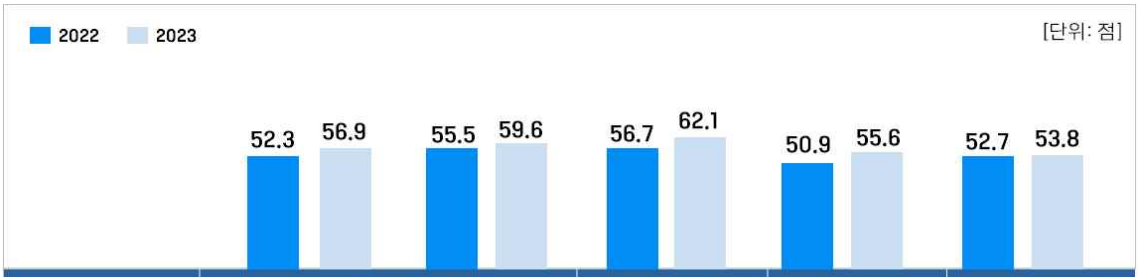
BMW 그룹은 생산 시스템에 [그림 6]과 같이 VR・AR 기술을 도입해 빠르고 유동적인 생산 공정을 구축한다고 밝혔다. VR・AR을 작업 공간 설계, 작업 훈련과 숙련도 향상, 조립, 품질 관리 등의 도구로 활용할 예정이다. BMW 제조 공정에 사용된 솔루션은 프라운호퍼 컴퓨터 그래픽 연구소와 공동으로 개발하였으며 모델이 실제 양산에 들어가기 전에 차량 설계 또는 제조 공정에서 어떤 조정이 필요한지에 대한 중요한 정보를 제공한다. [1]

[그림 6] BMW의 AR 기술 활용사례 [1]

출처 : https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=mage7th&logNo=221686669101

제 3 절 AR 산업의 시장 및 기술 동향

참여하고 있는 분야별로 국내 VR・AR 산업에 대한 전망은 [그림 7]과 같다. 2022년은 콘텐츠 판매 및 서비스업에서 56.7% 2023년 역시 콘텐츠 판매 및 서비스업에서 62.1%로 가장 높게 나타났으며 [8], 그다음으로 높은 순위를 차지하고 있는 분야는 콘텐츠 제작 및 공급업의 산업 콘텐츠 제작으로 2022년에는 55.5%를 차지하였으며 2023년에는 59.6%를 달성하며 두 번째 순위를 차지하였다.



구분	콘텐츠 제작 및 공급업				콘텐츠 판매 및 서비스업 (n=56)		전용기기 및 부분품 제조업 (n=58)		전용 소프트웨어 개발・공급업 (n=137)	
	문화 콘텐츠 (n=359)		산업 콘텐츠 (n=332)							
	2022년	2023년	2022년	2023년	2022년	2023년	2022년	2023년	2022년	2023년
100점 환산(점)*	52.3	56.9	55.5	59.6	56.7	62.1	50.9	55.6	52.7	53.8
GAP('23-'22)	4.6		4.1		5.4		4.7		1.1	

[그림 7] 참여분야별 국내 VR·AR산업 전망

AR 산업의 해외시장의 경우, VR 시장은 2018년부터 연평균 33.47%의 성장률을 보여 2024년에 446억 8천만 달러에 이를 것이라고 예측하는 한편 AR 시장은 연평균 약 63%의 성장률을 보이며 2024년에 727억 달러로 규모가 성장할 것이라고 예측했다. 같은 기준으로 국내시장의 VR 시장은 연평균 36%의 성장률을 보여 2024년에 25억 3천240만 달러로 성장할 것이라고 예측했다. 반면 AR 시장의 연평균 성장률은 약 50%를 보여 2024년에 41억 7천9백만 달러에 이를 것이라고 전망했다. 해외시장과 국내시장 모두 2024년을 기준으로 AR 시장을 VR 시장 보다 규모 면에서 약 1.6배 이상 크고, 성장률 면에서 2배 정도 높을 것이라고 예상하고 있다. [12]

마켓 앤 마켓[9]의 '2027년까지 AR 및 VR 시장 전망(Augmented Reality and Virtual Reality Market - Global Forecast to 2027)' 보고서를 따르면 2027년까지 AR 및 VR 시장이 연간 25.3%를 기록해 2027년 시장 규모가 1,145억 달러에 이를 것으로 전망했다. AR과 VR 모두 하드웨어 장치와 소프트웨어가 결합해야 제대로 된 AR 또는

9) 마켓 앤 마켓(Markets and Markets) : 미국, 인도 등 글로벌 리서치 회사

VR을 구현할 수 있는 만큼, 하드웨어와 소프트웨어의 성능과 궁합이 무엇보다 중요하다. 이에 따라 AR 및 VR 소프트웨어 솔루션이 자연스럽게 증가하면서 AR 및 VR 시장의 성장을 함께 이끌 것으로 예측했다. 특히 대규모 프로젝트로 성장할 수 있는 다양한 AR 프로젝트가 등장하면서, 소프트웨어 부문에서 AR 기술이 계속 발전할 것으로 내다봤다. [13]

[그림 8] 마켓 앤 마켓, “2027년까지 AR 및 VR 시장 전망” 보고서

출처 : https://www.ciokorea.com/news/262768

예측 기간 AR 부문에서 시장 점유율이 가장 높은 지역은 북미였으며, 북미 지역은 이미 시장이 발달되어 있어 성장 정체가 예상되기 때문에 아시아 태평양 지역에서의 성장률이 가장 높을 것으로 전망됐다. 보고서는 AR 및 VR 시장을 기술 유형, 제공 형태, 장치 종류, 애플리케이션(Application), 기업 규모, 지역 등으로 나누어 조사 분석을 진행했으며, AR 및 VR 관련 주요 업체로는 구글(Google), 마이크로소프트(Microsoft), 소니(Sony Corporation), 삼성전자(Samsung Electronics), HTC, 애플(Apple), PTC, 세이코 엡손(Seiko Epson), 메타(Meta), 레노버(Lenovo) 등이 있다. [13]

구글(Google), 애플(Apple), 인텔(Intel) 등 글로벌 IT 기업들은 AR 사업 강화를 위해 관련 벤처 및 스타트업 기업들을 인수해 기술 역량을 강화하고 있다. VR은 엄청난 제작비용이 필요해 비용 대비 수익이 나기 어렵다. 그러나 AR은 기존 현실을 충분히 활용할 수 있어 간단히 제작할 수 있고, 스마트폰만 있으면 누구나 활용할 수 있어 시장성이 좋다. AR은 교육과 훈련, 게임과 놀이, 의료, 전시, 관광, 제조 등에서 다양한 응용 가능성을 보여주고 있다. [10]

제 3 장 시스템 분석 및 설계

제 1 절 AR 기반의 안전진단 시스템 방법론 제시

본 연구의 주제인 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 수행하기 위한 시스템 개발 방법론을 「분석 및 설계 → 개발 및 구현 → 검증 및 실증 → 테스트 및 현장적용」의 4 단계로 정의하고, 단계별 수행해야 할 20개의 세부 항목을 정의하여 「증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론」을 [그림 9]와 같이 제시하였다.

[그림 9] 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론

[그림 9]와 같이 제시한 방법론의「분석 및 설계」의 세부 항목으로는 요구사항 정의 및 분석, 대상 장비 및 설비 선정, Data Tagging 대상 정의, 개발 시나리오 설계, 통신 및 네트워크 설계로 정의하였으며, 「개발 및 구현」의 세부 항목으로는 3D 광역 Scanning, 서버 및 네트워크 구축, Data Tagging/Binding, 3D Modeling 작업, AR Contents 개발로 정의하였다. 「검증 및 실증」의 세부 항목은 대상 감지 반응속도, 데이터 정확도, 데이터 처리 지연속도, 원격 대상 제어 처리속도, 3D 콘텐츠 출력속도를 기준으로 실증하기 위해 정의하였으며, 「테스트 및 현장적용」의 세부 항목은 작업자 동선 점검, 현장 테스트 및 디버깅, 현장 통합 테스트, 사용자 교육 및 테스트, AR Contents 적용을 대상으로 테스트하기 위해 정의하였다.

제 2 절 AR 기반의 안전진단 시스템 분석

1. 요구사항 정의 및 분석

증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 구현하기 위한 개발 방향성을 설정하고, 실증 기업 현장 실무자와 인터뷰를 실시하여 실증 현장의 설비에 원거리에서 모니터링할 데이터가 무엇인지, 어떤 설비를 대상으로 교육 콘텐츠를 적용할지에 대하여 [그림 10]과 같이 사용자 요구사항을 정의 및 분석하여 시스템 개발의 기초자료로 사용하였다.

요구사항 정의서

Requirements Definition

작성자 : 민범준 대리 작성일자 : 2023년 07월 27일

순서	요구사항	요구항목 1	요구항목2	요 구 내 용	검토의견	비고
1	안전성	예외 처리	안전 기능	화학 제품 생산 시설로 위험 작업이 많아 시스템 도입을 통해 작업자의 안전을 확보	개발 가능	-
2	안전성	예외 처리	안전 기능	시스템을 통해 현장에 들어가기 전 안전 장비 착용의 필수 여부를 확인할 수 있었으면 좋겠다.	개발 가능	-
3	안전성	예외 처리	안전 기능	위험 지역 접근 시 시각 및 청각으로 접근을 차단할 수 있는 시스템이 필요	개발 가능	-
4	효율성	직관적 인터페이스	도움말 기능	작업 중 전문가의 확인 및 지시가 필요한 상황이 자주 발생함	개발 가능	-
5	효율성	직관적 인터페이스	도움말 기능	긴급 상황일 경우 화상전화를 이용하게 되지만 기능적 한계가 있음	분석 필요	-
6	효율성	직관적 인터페이스	도움말 기능	작업 내용을 이해하기 쉽도록 실제 장비에 AR을 이용하여 작업 단계 표시 필요	개발 가능	-
7	효율성	직관적 인터페이스	도움말 기능	3D 애니메이션을 이용하여 단계별 작업 매뉴얼 작성	개발 가능	-
8	안전성	예외 처리	안전 기능	위험 구역으로 작업자 출입이 어려워 설비의 상태 확인이 어려움	개발 가능	-
9	효율성	직관적 인터페이스	도움말 기능	작업 대상 장비의 작업 위치 안내에 따라 정확한 장비에서 작업하도록 한다.	개발 가능	-
10	보안	암호화 기능	접근제어 기능	시건장치가 걸려 있는 위험구역에서 작업자가 접근했을 때 알람 발생이 가능한지.	검토 필요	-

[그림 10] 실증 현장 사용자 요구사항 정의서

2. 대상 장비 및 설비 선정

증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 지원하는 디바이스들은 Smart Phone(Android, IOS)과 Smart Pad(Android, IOS) 그리고 HoloLens2 등과 같이 여러 디바이스들이 있으며, 실제 사용된 디바이스는 Smart Pad(Android)이다. 세부 내용은 아래의 [그림 11]과 같다.

Smart Phone
스마트 폰(Android, IOS)

Smart Pad
스마트 패드(Android/IOS)

Wearable Device
Microsoft사의 HoloLens2

[그림 11] AR 기반의 안전진단 시스템의 지원 디바이스

본 연구인 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발에 실제 활용한 서버와 디바이스의 사양은 아래의 <표 3>과 같다.

<표 3> AR 기반의 안전진단 시스템에 사용된 서버 및 디바이스 기본 사양

하드웨어 정보			
하드웨어 사 양	ThingWorx Server · Experience Server	CPU	Intel Xeon Silver 4210R 10C 100W 2.4GHz Processor
		RAM	ThinkSystem 16GB TruDDR4 2933MHz (2Rx8 1.2V) RDIMM(Max 12 DIMM Siot)
		HDD	ThinkSystem 2.5inch PM1645a 3.2TB Mainstream SAS 12Gb Adapter
		CPU	Intel Xeon Silver 4210R 10C 100W 2.4GHz Processor
		RAM	ThinkSystem 16GB TruDDR4 2933MHz (2Rx8 1.2V) RDIMM(Max 12 DIMM Siot)
		HDD	ThinkSystem 2.5inch PM1645a 3.2TB Mainstream SAS 12Gb Adapter
	KepWare Server · ThingWorx Server	CPU	Intelⓡ Xeonⓡ E-2224 (4-core, 3.4 GHz, 8MB, 71W)
		RAM	8GB DDR4 ECC DIMM
		HDD	1TB SATA3 7.2k 3.5in
		CPU	Qualcomm Snapdragon 865+ SM8250-AB Platform
		RAM	8GB LPDDR5 SDRAM
		HDD	256GB UFS 3.0 규격 내장 메모리
	스마트태블릿 (Galaxy S7+)	AP	Qualcomm Snapdragon 865+ SM8250-AB Platform
		RAM	8GB LPDDR5 SDRAM
		HDD	256GB UFS 3.0 규격 내장 메모리
		OS	Android 11
네트워크 환 경	TCP/IP		

제 3 절 AR 기반의 안전진단 시스템 설계

1. 개발 시나리오 기능 설계

본 연구에서는 연구하고자 하는 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 중심으로 기술하고자 하며, 개발을 통해 구현하기 위한 시스템의 기능들의 시나리오 작성을 아래의 [그림 12]와 같이 정의하였다.

[그림 12] AR 기반의 안전진단 시스템의 기능 시나리오

사용자는 HMD 장치 및 스마트 태블릿 등에서 애플리케이션(App)을 실행하여 로그인하면 개발한 시스템의 Area Target[10]기능이 현장의 설비들을 인식하게 되고 그 후 초기화면이 나타나게 되는데, 이 초기화면에서는 시스템에서 제공하는 메뉴인 상태 확인 버튼, 모니터링 버튼, 생산 현황 버튼, 안전진단 버튼, 정비 매뉴얼 버튼 등의 메뉴가 나타난다. 여기서 사용자는 점검하고자 하는 메뉴 버튼을 터치하고 수행하고자 하는 작업을 시작하면 된다. 여기서 안전진단 버튼은 사용자가 위험구역의 설비에 가까이 접근할 경우 사이버 펜스가 자동으로 생성되며 사용자의 접근을 시각적/청각적으로 차단시키는 기능이다. 모니터링 버튼은 각 설비들의 PLC[11] 및 Sensor에서 취득한 데이터들을 고압 전류나 유해가스 유출 등의 위험요소로 가까이

10) Area Target : 공간 인식
11) PLC(Programmable Logic Controller) : 설비 컨트롤러

접근할 수 없는 고위험 접근 제한 구역의 설비들에 가까이 접근하지 않고 원격으로 모니터링하여 데이터들을 확인할 수 있다. 설비관리 버튼은 각 설비들의 설비 점검 이력 현황을 확인할 수 있는데, 어떤 원인으로 부품을 교체했거나 설비를 점검했는지 확인하면서 설비를 점검할 수 있다. 생산 현황 버튼은 각 설비들의 생산목표를 설정하고 생산 수량 및 가동시간 등 다양한 생산실적 데이터를 관리 및 조회할 수 있다. 정비 매뉴얼 버튼은 현장에서 설비의 문제가 생기거나 작동법 미숙으로 오류가 발생한 경우 작업자가 조치할 수 있도록 AR 기반의 영상 및 그래픽으로 구현하여 작업자가 눈으로 보면서 쉽게 따라 할 수 있다.

2. 개발 시나리오 UI 설계

실증 현장의 요구사항에 정의된 내용들을 바탕으로 석유화학 공장 내에서 사용자의 편의성과 안전성, 관리의 용이성을 고려하여 스마트 디바이스를 통해 간단한 터치 방식으로 쉽고 직관적으로 설비 데이터를 모니터링할 수 있도록 [그림 13]과 같이 UI를 설계하였으며, 구현된 UI는 제 3장 제 3절의 안전진단 시스템의 시나리오에 바탕으로 작성하였다.

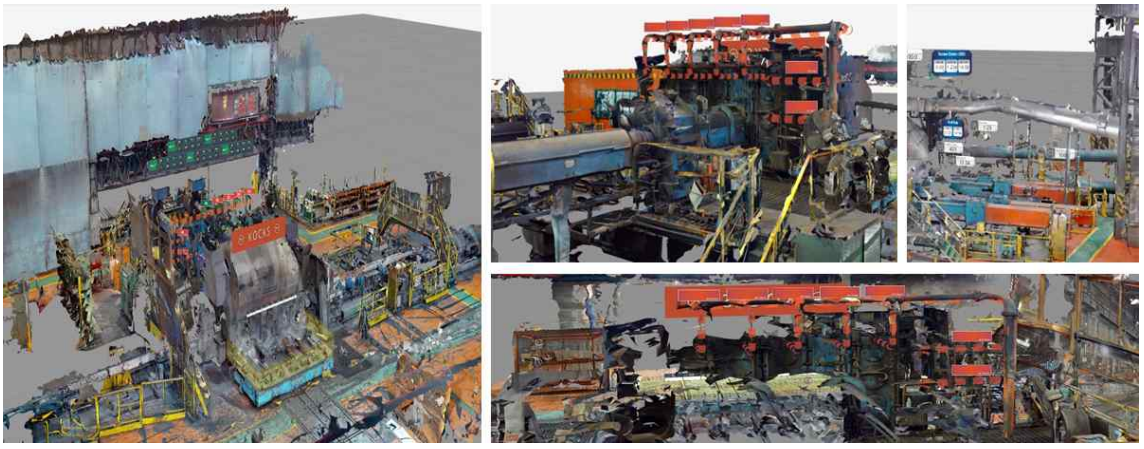
[그림 13] AR 기반의 안전진단 시스템의 UI 시나리오

제 4 장 시스템 개발 및 실증

제 1 절 AR 기반의 안전진단 시스템 개발 및 적용

1. 3D 공간 데이터 취득

증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 구현을 위하여 Matterport Carmera[12]를 사용하여 실증 현장 플랜트 설비 및 공간을 촬영하였으며, 촬영된 공간데이터에 Area Target 지점을 설정하여 설비의 위치가 정확히 인식될 수 있도록 하였다. 다음으로 Area Target 설정이 끝난 공간데이터에 각 설비들을 3D 모델로 생성하고, 생성된 3D 설비 모델들을 AR 객체로 표현하여 눈으로 확인이 어려운 설비 내부 상태를 가시화하여 구현하였다.

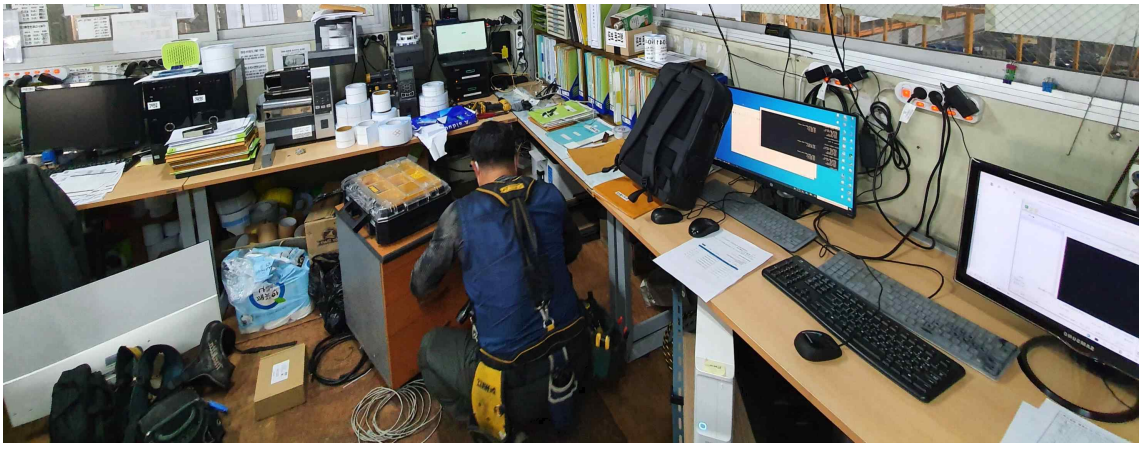


[그림 14] 실증현장 플랜트 설비 공간 데이터

2. 서버 및 네트워크 구축

증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 구현하기 위해서는 실증 현장의 네트워크 및 Edge Computer[13]를 설치해야 하지만, 석유·화학산업 플랜트 설비의 제어는 매우 신중하게 처리되어야 하므로 설비 구축 업체를 통해 아래의 [그림 15]와 같이 실증 현장의 네트워크 및 Edge Computer를 설치 중이며, 이를 통해 Edge Computer 상에서 표준 데이터 구축 및 목적 기반의 데이터 구조 모델링을 수행하고, 데이터 패턴 분석을 통한 예측/예지 서비스 및 정비를 지원할 수 있다.

12) Matterport carmera : 3D 광대역 입체 스캐너
13) Edge Computer : 대상과 가까운 위치에서 빠르고 안정적인 서비스가 가능한 컴퓨터



[그림 15] 네트워크 및 Edge Computer 설치 현장

3. PLC 데이터 Tagging 및 바인딩

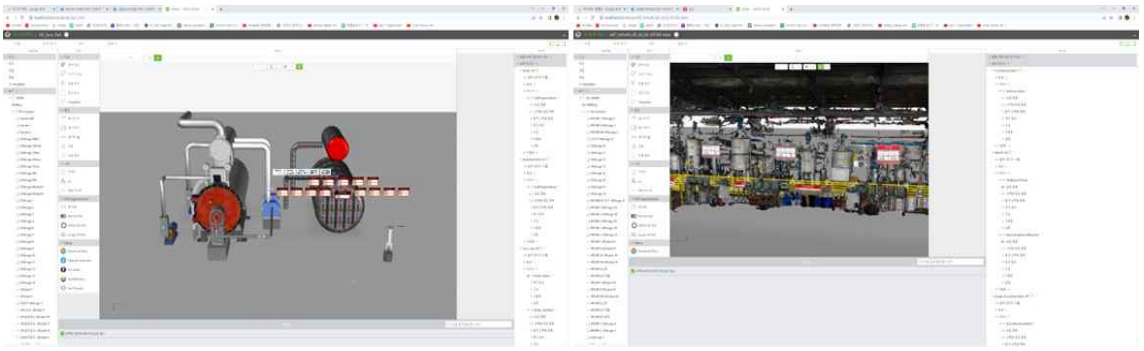
설비 데이터의 실시간 연동을 위한 PLC 제어 시퀀스를 확인하고, 데이터 주소 매핑을 통해 Tagging 작업을 하여, 제어를 위한 기초 데이터를 확보하는 것은 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 구축을 위한 필수 작업 중 하나이다. 이러한 작업이 필수 작업 중 하나인 이유는 PLC 데이터들을 Tag 기반으로 수집하여 이를 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템에 적용하게 되면 고위험 접근 제한 구역의 설비들을 가까이 접근하지 않고도 원거리에서 설비관리 및 점검이 가능하다. 때문에 [그림 16]와 같이 실증 현장의 PLC Tag List를 정의하고, Tag 기반 PLC 데이터들을 수집하였다.

장비구분	PLC 그룹	PLC 명	PCL명(약어)	TAG ADDRESS(PLC)	PLC IP	PLC 위치	PLC 제조사	PLC 모델	PLC CPU(Rack/S	IO 서버 구분	IO 서버 그룹	IO 서버명	IO서버 IP	IO 서버 위치
PLC	LBM_IO_3	HS_CB	HS_CB	BD1284.DBX4.1	200.200.1.50	Control Room#2	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB1.DBW2	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_1	MH1	MH1	DB10.DBW12	146.0.0.1	가열로 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_1	MH1	MH1	DB10.DBW16	146.0.0.1	가열로 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_1	MH1	MH1	DB10.DBW4	146.0.0.1	가열로 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_1	MH1	MH1	DB10.DBW8	146.0.0.1	가열로 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX11.1	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	대형압연	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX12.6	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	대형압연	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX13.5	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX13.6	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX15.2	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	대형압연	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX16.5	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	대형압연	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX18.1	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	대형압연	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX19.3	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX20.6	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX22.2	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	대형압연	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX23.5	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	대형압연	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX25.0	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	대형압연	*	*	*
PLC	LBM_IO_2	CB3	CB3	DB100.DBX26.2	192.168.0.51	냉각대 전기실	SIMENS	S7-400	0/3	*	*	*	*	*

[그림 16] 실증현장의 PLC Tag List

4. AR 기반의 안전진단 시스템 3D Modeling 작업

3D 광역 스캐너를 통해 취득한 공간 정보와 PLC Tag 정보를 활용하여 저작도구에서 3D Modeling 작업을 아래의 [그림 17]과 같이 실시하였다.



[그림 17] 안전진단 시스템 3D Modeling 작업 화면

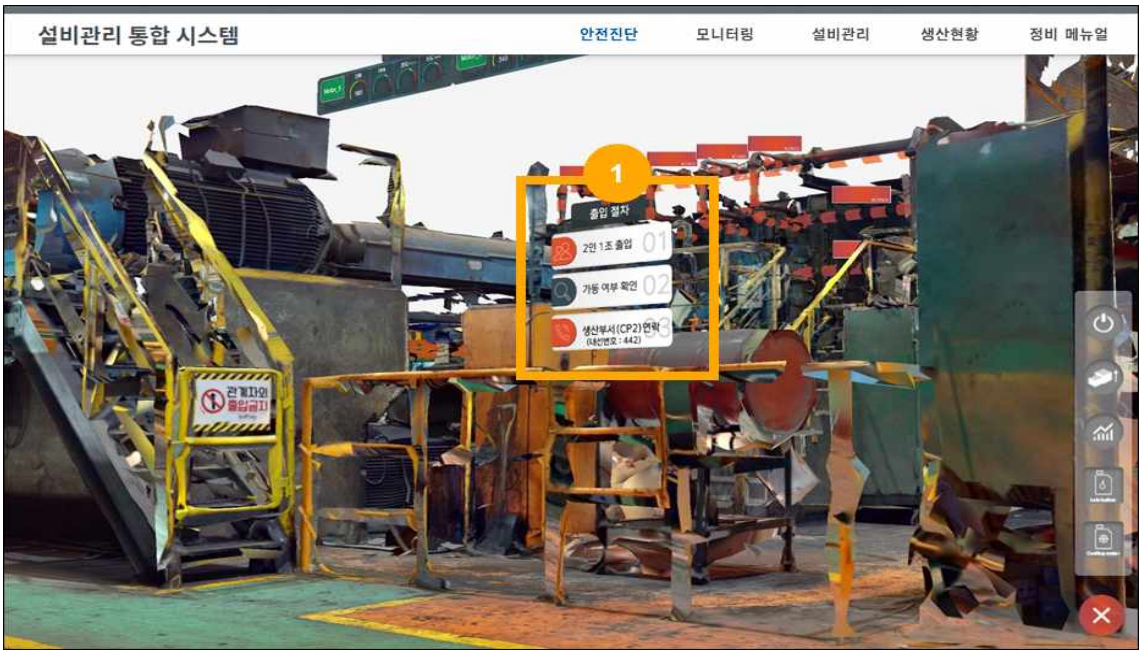
5. AR 기반의 안전진단 시스템 개발

「제 3 장 시스템 분석 및 설계」의 「제 3 절 AR 기반의 안전진단 시스템 설계」에서 설계한 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 위한 시나리오를 바탕으로 애플리케이션을 개발하였으며, 시나리오 순서에 따라 실행시키면서 검증 및 실증을 하였다. 지금부터는 시나리오에 따라 구현한 애플리케이션 화면을 기술하고자 한다.

안전진단 앱을 실행하여 로그인을 하게 되면 [그림 18]과 같이 증강현실 선택 페이지가 나오는데 '①공간 인식' 을 선택하면 공간 인식을 진행한다.

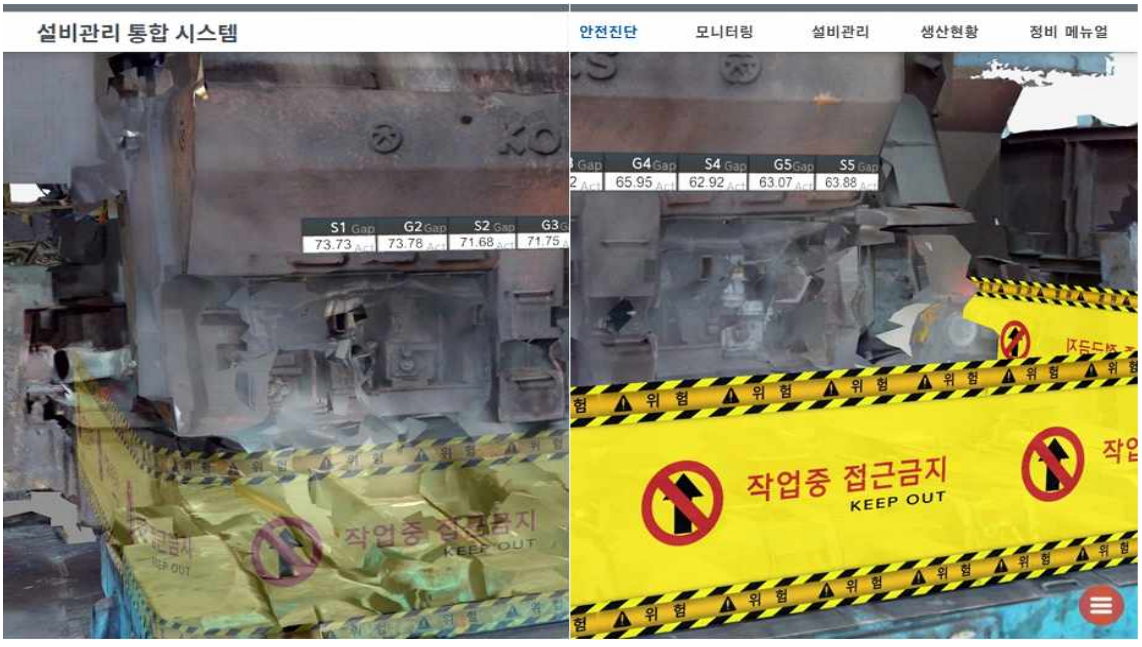
[그림 18] 안전진단 시스템의 증강현실 선택 화면 - 공간 인식

공간 인식 진행이 끝나면 현장의 작업자는 각 설비의 일일 점검을 실시하게 된다. 점검 시 출입 통제구역에 작업자가 가까이 다가가게 되면 AR로 '①출입 절차 방법' 에 대해 안내한다.



[그림 19] 안전진단 시스템의 출입절차 화면

작업자는 출입 절차 방법에 대한 내용을 숙지하지만, 그럼에도 불구하고 설비에 가까이 접근할 시 [그림 20]과 같이 반투명했던 '접근금지 펜스' 가 짙게 나타나며 소음이 발생해 시각 및 청각적으로 접근을 차단시켜 위험상황을 안내한다.

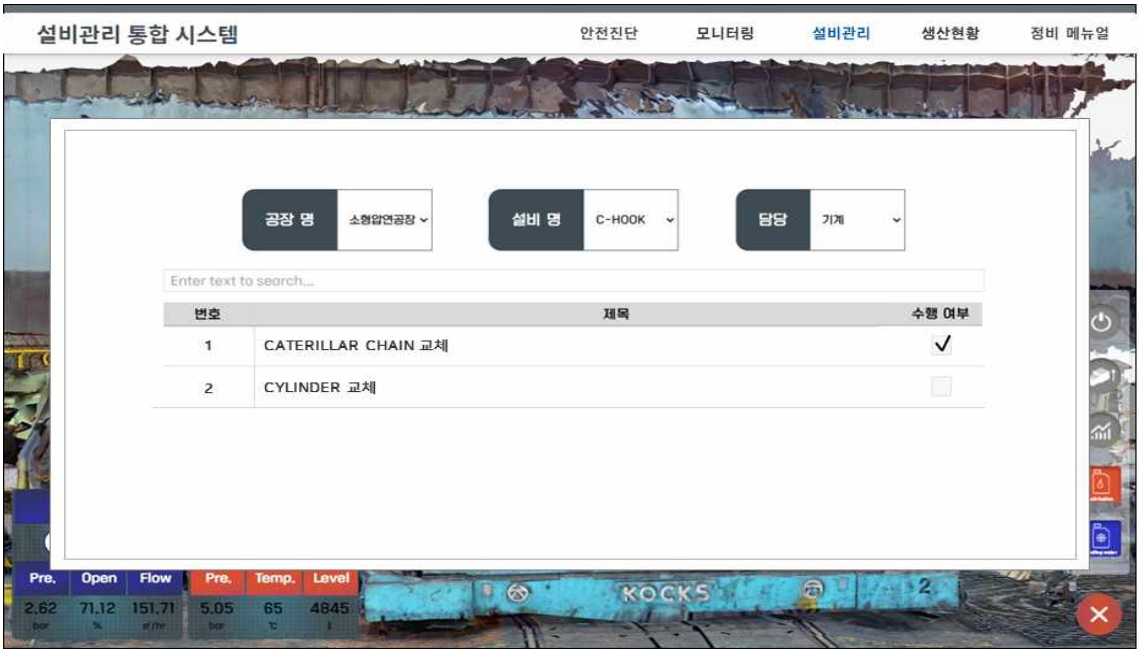


[그림 20] 안전진단 시스템의 접근금지 알람 화면

아래의 [그림 21]은 출입 통제 구역의 설비를 원거리에서 모니터링하고 있는 화면이다. '①버튼' 을 누르게 되면 화면 좌측 상단에 '②K1~K5까지의 전류, 속도 정보를 확인할 수 있고, 각각의 패널을 누르면 설비의 정보를 '③그래프' 형태로 볼 수 있다.

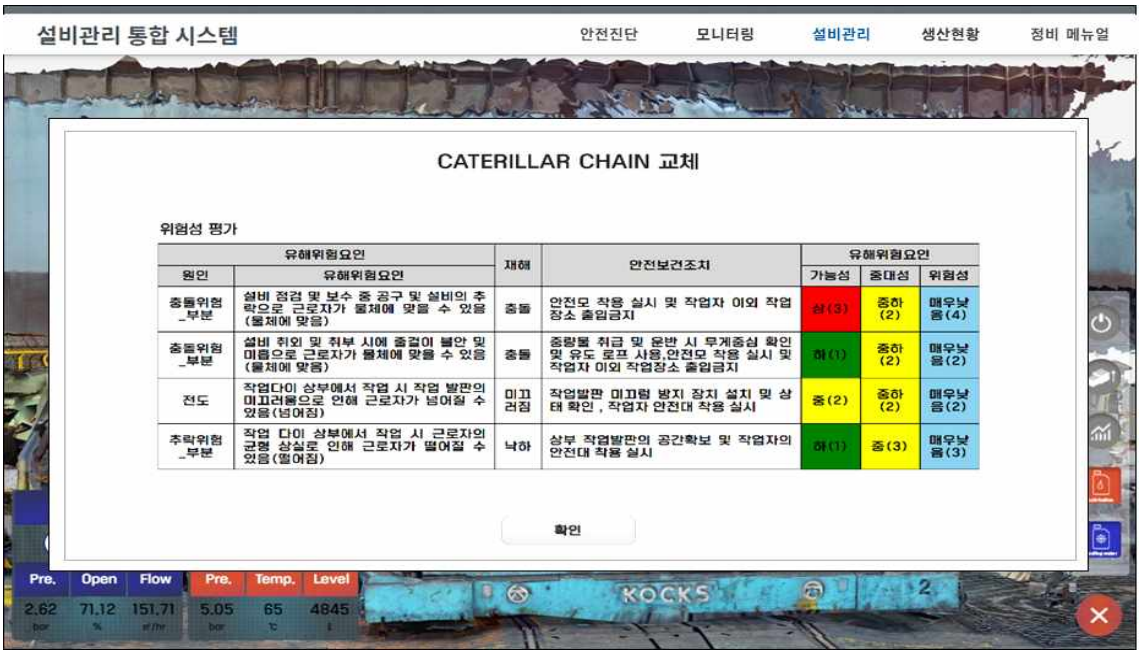
[그림 21] 안전진단 시스템의 위험구역 설비 모니터링 화면

아래의 [그림 22]는 각 설비들의 설비 점검 이력 현황을 확인하는 화면이다. 무슨 원인으로 부품을 교체했거나 설비를 점검했는지에 대한 현황을 확인할 수 있다.



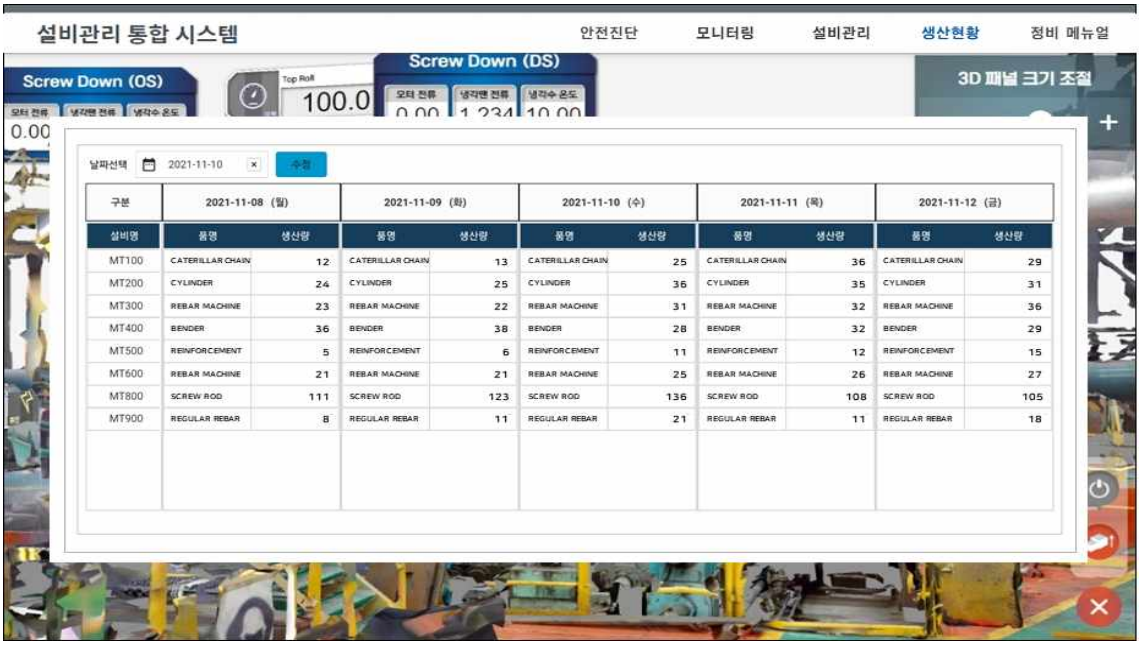
[그림 22] 안전진단 시스템의 설비점검 이력 현황 화면

설비 점검 이력 화면의 체크 리스트를 선택하면 아래의 [그림 23]처럼 '위험성 평가' 화면으로 전환된다. 작업자는 해당하는 항목에 체크하고 확인 버튼을 누르게 되면 설비 점검 이력 현황 화면의 체크박스에 표시된다.



[그림 23] 안전진단 시스템의 설비점검 이력의 위험성 평가 화면

아래의 [그림 24]는 우측 상단의 생산 현황 탭을 선택하여 연도, 월, 일자 별로 생산목표를 설정하고 생산 수량 및 가동시간 등 다양한 생산실적 데이터를 관리 및 조회할 수 있는 화면이다.

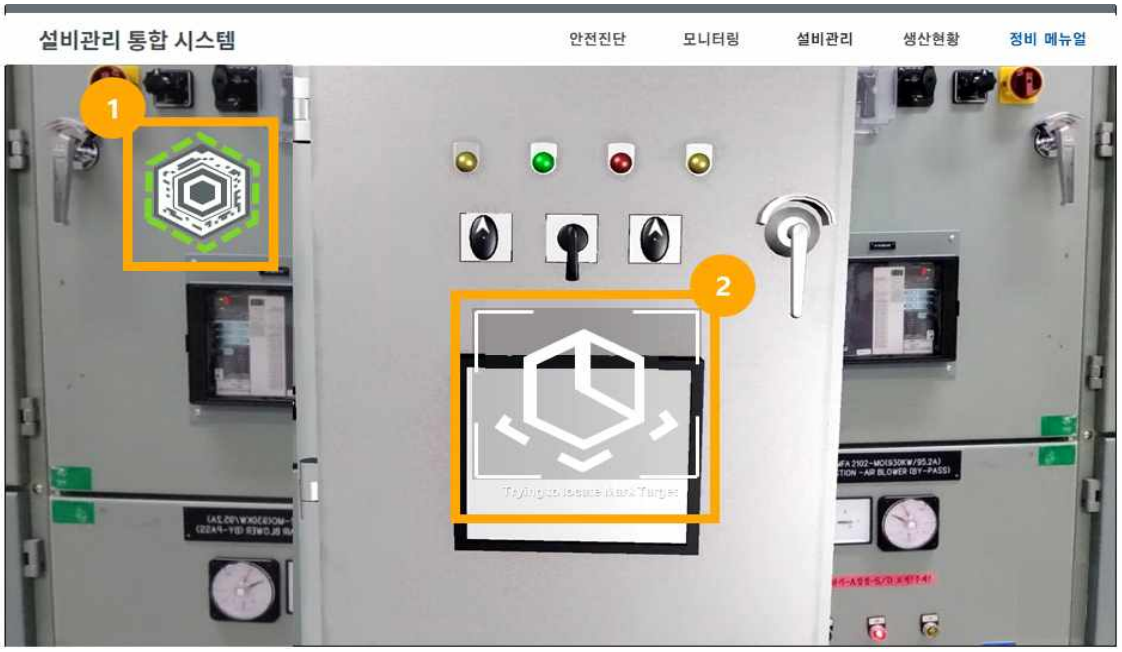


[그림 24] 안전진단 시스템의 생산현황 이력 화면

정비 매뉴얼 탭을 선택하면 아래의 [그림 25]와 같이 증강현실 선택 페이지가 나오는데 '①마크 인식' 을 선택하면 마크 인식을 진행한다.

[그림 25] 안전진단 시스템의 증강현실 선택 화면 - 마크 인식

아래의 [그림 26]은 마크 인식 실행 화면이다. 설비에 부착된 '①마크' 를 인식하게 되면 '②Trying to locate Mark Target' 이 나오게 되고, 일정 시간이 지나면 마크를 인식한다.

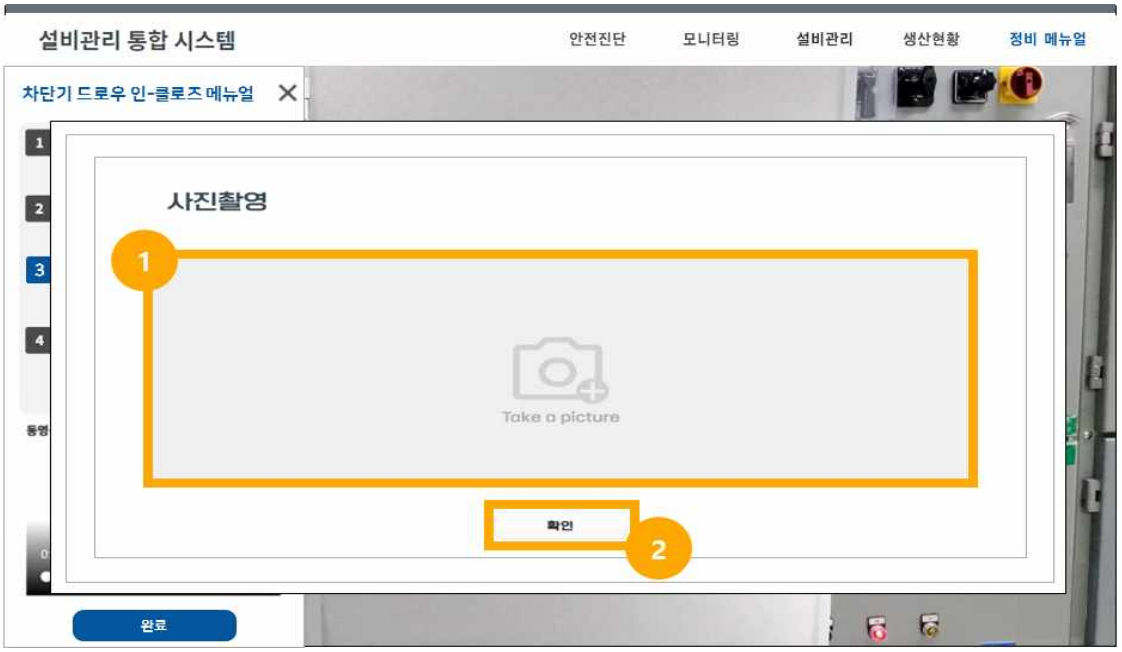


[그림 26] 안전진단 시스템의 마크 인식 실행 화면

마크 인식이 끝나면 아래의 [그림 27]처럼 AR 기반의 영상 및 그래픽으로 구현한 정비 가이드가 나오게 되고, 좌측에 있는 패널 리스트를 순서대로 눌러 작업자가 눈으로 보면서 쉽게 따라 할 수 있다.

[그림 27] 안전진단 시스템의 정비 매뉴얼 화면

정비 매뉴얼을 보고 설비의 문제를 해결하게 되면 설비 점검 이력 작성 시 참조 가능한 사진 촬영 기능으로 전환되고 '①Take a picture' 영역 터치 시 카메가 실행되며, 사진 촬영 후 '②확인' 버튼을 눌러 사진을 등록한다.

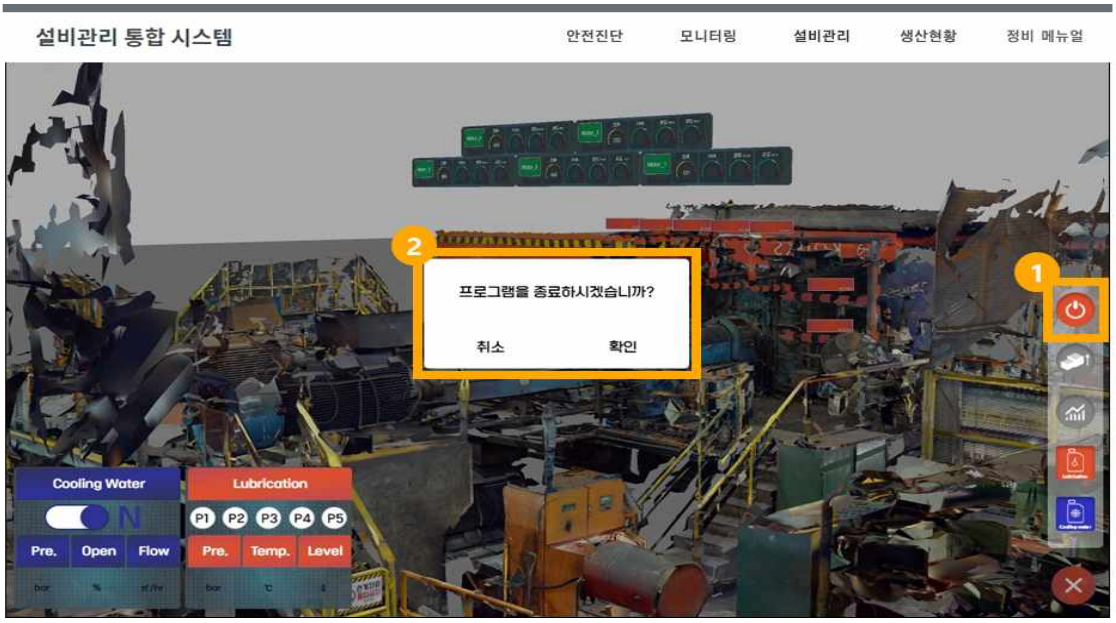


[그림 28] 안전진단 시스템의 사진 촬영 화면

사진 촬영 단계를 완료하면 [그림 29]와 같이 서명하기 페이지로 전환되며, 전자 서명 작성 후 '①확인' 버튼을 누르게 되면 다음 단계로 넘어간다.

[그림 29] 안전진단 시스템의 서명하기 화면

증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템의 모든 기능을 사용한 후 프로그램을 종료하기 위해선 [그림 30]과 같이 우측에 있는 메뉴 목록 창에서 '①버튼'을 누르면 '②프로그램 종료 팝업'이 나타나게 된다. 취소를 누르면 창이 닫히고 확인을 누르면 프로그램이 종료된다.



[그림 30] 안전진단 시스템의 프로그램 종료 화면

제 2 절 AR 기반의 안전진단 시스템 실증

1. 시스템 실증 결과

제 3 장 시스템 분석 및 설계의 제 1 절 AR 기반의 안전진단 시스템 방법론에서 언급한 '증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론을' 근거로 개발된 안전진단 시스템을 공인시험 성적 기관인 한국건설생활환경시험연구원(KCL, Korea Conformity Laboratories)의 입회하에 테스트를 진행하였으며, 테스트는 주어진 환경에서 시스템이 어떠한 성능을 기록하는지 측정하는 것이며「대상 감지 반응속도」→「데이터 정확도」→「데이터 처리 지연속도」→「원격 대상 제어 처리속도」→「3D 콘텐츠 출력속도」항목 순으로 진행하였다. 성능 결과는 아래의 <표 4>와 같으며, 본 연구에서 설계하여 개발된 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 사용하는 데 있어 성능에 문제가 없는 것으로 입증되었다.

<표 4> 시스템 성능 테스트 목표

목표명	성능 구분	성능 목표	성능 결과
시스템 성능 측정	대상 감지 반응속도	대상감지시간 3초 이하를 기준으로 시험 측정	측정값 : 1.537초
	데이터 정확도	데이터 정확율 99% 이상을 기준으로 시험 측정	측정값 : 100%
	데이터 처리 지연속도	Edge Computer 데이터 처리 지연시간 1초 이하를 기준으로 시험 측정	측정값 : 0.831초
	원격 대상 제어 처리속도	원격제어 신호처리 지연시간 1초 이하를 기준으로 시험 측정	측정값 : 0.186초
	3D 콘텐츠 출력속도	3D 콘텐츠 출력속도 15 fps 이상을 기준으로 시험 측정	측정값 : 59fps

「대상 감지 반응속도」를 측정하기 위해 다음과 같은 절차로 진행하였다. 시험용 태블릿에서 안드로이드 화면 녹화 기능을 사용하여 화면 녹화를 시작하고 시험자가 설비가 설치된 장소에 위치하여 시험용 태블릿에서 본 연구에서 개발된 안전진단 시스템을 실행하여 현장 공간인식을 진행하였으며, 이 과정을 5회 반복하여 녹화된 영상 시간을 통해 대상 감지 반응속도를 계산하였다. 결과는 아래의 <표 5>와 같다.

<표 5> 대상 감지 반응속도 시험 결과

구분	시작시간	종료시간	대상 감지 반응속도
1회	3.223 s	4.137 s	0.914 s
2회	35.966 s	37.300 s	1.334 s
3회	10.869 s	12.133 s	1.264 s
4회	11.126 s	12.933 s	1.807 s
5회	11.501 s	13.867 s	2.366 s
시험결과(평균)		1.537 s	

「데이터 정확도」를 측정하기 위해 다음과 같은 절차로 진행하였다. 실증 현장에 설치한 ThingWorx Server에서 추출한 송신 데이터 로그파일과 본 연구에서 개발된 안전진단 시스템의 ThingWorx Server의 수신 데이터 로그파일을 가져온 뒤 2,000개의 데이터를 추출하였고, 2,000개의 송신 데이터와 수신 데이터가 서로 일치하는지 비교하여 Data 정확도를 계산하였다. 결과는 아래의 <표 6>과 같다.

<표 6> 데이터 정확도 시험 결과

구분	송신 데이터 수	수신 데이터 중 송신 데이터와 일치하는 데이터 수	데이터 정확도
시험결과	2,000개	2,000개	100%

「데이터 처리 지연속도」를 측정하기 위해 다음과 같은 절차로 진행하였다. 시험용 PC에서 화면 녹화를 시작하고 시험용 PC에서 윈도우 원격 데스크톱 연결을 실행하여 실증 현장의 KepWare Server에 접속한 뒤 OPC Quick Client 6.10.659를 실행한다. 그 후 다시 시험용 PC에서 윈도우 원격 데스크톱 연결을 실행하여 본 연구에서 개발된 안전진단 시스템의 ThingWorx Server에 접속한 뒤 ThingWorx

Mashup 9.2.3을 실행하고 실증 현장의 KepWare Server의 OPC Quick Client 6.10.659에서 데이터의 값이 변경되었을 때 개발한 안전진단 시스템의 ThingWorx Server의 ThingWorx Mashup 9.2.3에서 변경 값이 반영되면 화면 녹화를 종료한다. 이 과정을 5회 반복하여 Data 처리 지연속도를 계산하였다. 결과는 아래의 <표 7>과 같다.

<표 7> 데이터 처리 지연속도 시험 결과

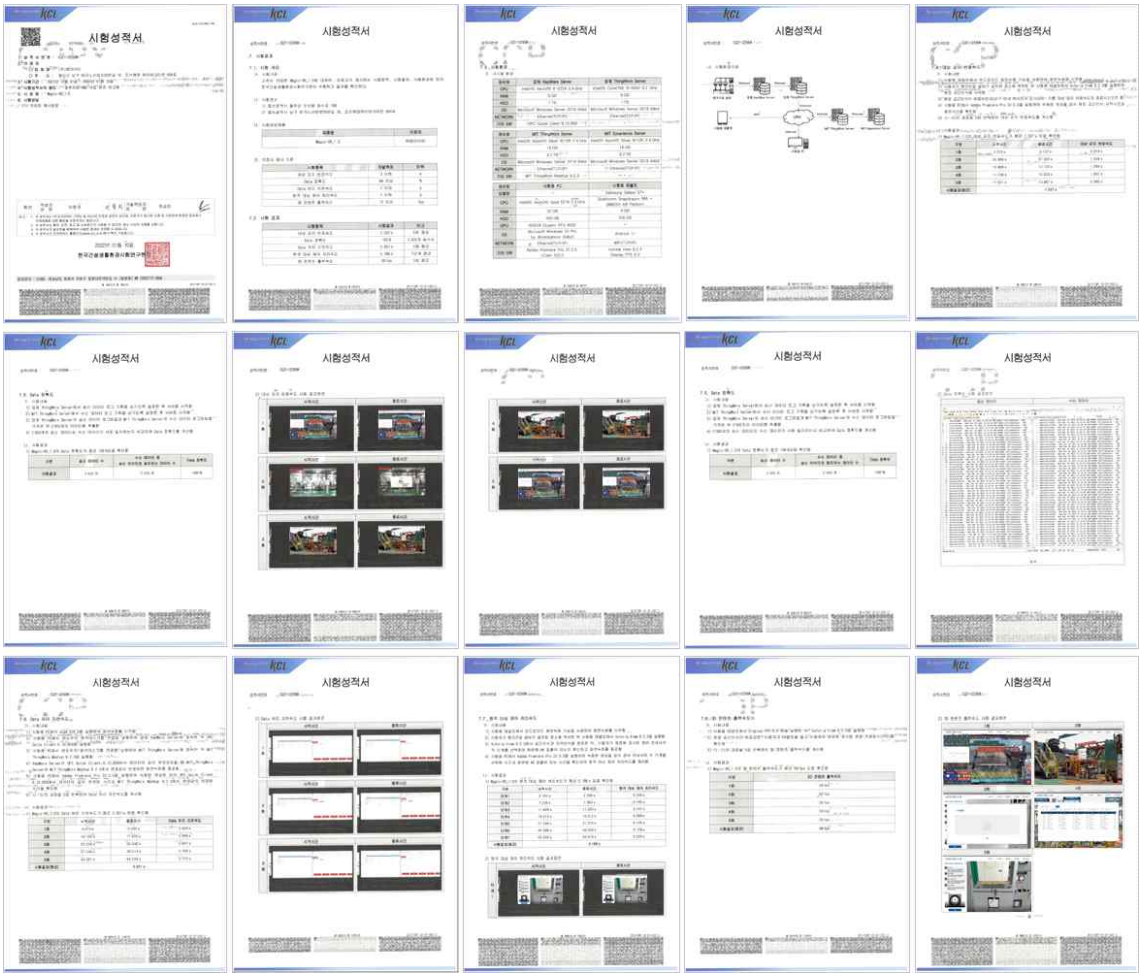
구분	시작시간	종료시간	데이터 처리 지연속도
1회	4.074 s	5.000 s	0.926 s
2회	16.100 s	17.000 s	0.900 s
3회	25.209 s	26.046 s	0.837 s
4회	37.248 s	38.014 s	0.766 s
5회	43.281 s	44.004 s	0.723 s
시험결과(평균)		0.831 s	

「원격 대상 제어 처리속도」를 측정하기 위해 다음과 같은 절차로 진행하였다. 시험용 태블릿에서 안드로이드 화면 녹화 기능을 사용하여 화면 녹화를 시작하고 시험자가 설비가 설치된 장소에 위치한 뒤 시험용 태블릿에서 본 연구에서 개발된 안전진단 시스템을 실행한 후 공간인식과 마커 인식을 완료하면 시험자가 화면에 표시된 정비 안내서의 각 단계를 선택하여 화면에 AR 표출이 되는지 확인하고 화면 녹화를 종료한다. 그 후 시험용 PC에서 Adobe Premiere Pro 22.0.0을 실행하여 녹화된 영상을 읽어 정비 안내서의 각 단계를 선택한 시간과 화면에 AR 표출이 되는 시간을 확인하여 원격 대상 제어 처리속도를 계산하였다. 결과는 아래의 <표 8>과 같다.

<표 8> 원격 대상 제어 처리속도 시험 결과

구분	시작시간	종료시간	데이터 처리 지연속도
단계1	2.160 s	2.386 s	0.226 s
단계2	7.238 s	7.383 s	0.145 s
단계3	11.809 s	11.950 s	0.141 s
단계4	18.213 s	18.512 s	0.299 s
단계5	31.244 s	31.379 s	0.135 s
단계6	44.399 s	44.528 s	0.129 s
단계7	53.250 s	53.476 s	0.226 s
시험결과(평균)		0.186 s	

아래의 [그림 31]은 공인시험 성적 기관인 한국건설생활환경시험연구원의 입회하에 본 연구에서 개발된 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 테스트하여 받은 공인시험성적서이며, 본 연구에서 설계하여 개발된 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 사용자가 사용하는 데 있어 성능과 안전성에 문제가 없는 것으로 검증을 받았으며, 입증하기 위한 근거 자료로 사용하였다.



[그림 31] 시스템 성능 테스트 후 받은 공인시험성적서

제 5 장 결론

제 1 절 연구의 결론

화학 물질을 다루는 석유·화학 산업 플랜트 특성상 고위험 접근 제한 구역 설비와 장비뿐만 아니라 그 외 주요 설비와 장비에 대해서도 수시 모니터링과 점검은 기본적으로 이루어지는 필수 사항이지만 고압 전류나 유해가스 유출 등의 보이지 않는 위험요소로 인하여 관리가 힘들며, 복잡한 설비 장애 발생 시 현장의 긴급 대처가 어려운 현실이다. 이러한 안전사고 문제와 설비 장애로 발생하는 설비 Down-Time을 방지하고자 본 연구에서는 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론을 제시하고, 제시된 방법론을 기반으로 석유화학 플랜트 기업을 위한 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 구축 및 실증하였으며, 제안된 시스템의 주요 기능은 안전사고를 사전에 방지할 수 있는 활동을 지원하기 위해 증강현실 기반의 현장 안전진단 시각화(AR 기반의 설비 모니터링 및 상태 확인 등)와 복잡한 설비의 장애 시 현장에서 작업자가 간단한 조치만으로 해결할 수 있는 증강현실 기반의 정비 매뉴얼(AR 기반의 영상 및 그래픽으로 보는 조치 가이드) 등이 있다.

본 연구에서 제시한 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발을 하기 위해 다음과 같은 절차로 연구를 수행하였다. 첫째, 증강현실의 개념 정의 및 특성과 분류체계의 정의 및 구성에 대해 조사하였으며, 연구 개념 정의를 바탕으로 기존 증강현실 관련 분류체계에 관한 선행연구 조사를 실시하여 연구 방향을 제시하였다. 둘째, 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템의 개발을 위하여 「분석 및 설계 → 개발 및 구현 → 검증 및 실증 → 테스트 및 현장 적용」의 4단계로 정의하고, 단계별로 수행해야 할 20개의 세부 항목을 정의하여 「증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발 방법론」을 제시하고, 제시된 방법론을 기반으로 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템 개발에 적용하였다.

제 2 절 연구의 기대효과

본 연구에서 구현한 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템의 기대효과는 다음과 같다.

첫 번째는 산업현장을 가상 모델로 재현하고 PLC와 Sensor를 통해 설비 데이터를 실시간으로 연동해 공장 내 각종 장비와 시설의 운영상태를 현장에서 한눈에 확인할 수 있게 함으로써 설비관리가 가능하고, 작업자가 현장의 비정상적인 상황을 바로 인식하여 작업 오류를 최소화하고 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한, 위험 구역에 작업자가 접근하게 되면 알림과 가상 펜스를 생성하여 작업자에게 알려 위험 구역에 접근하여 발생할 수 있는 인명사고 발생을 예방할 수 있다.

두 번째로 현장에서 작업자가 간단한 조치만으로 해결할 수 있는 실감형 AR 기반의 정비 매뉴얼은 3D 모델 애니메이션 기반으로 컨텐츠 제작을 단순화하여 현장 작업자도 작업과정을 직관적으로 이해하기 쉽도록 구성되어 있어 현장의 복잡하고 체험이 어려운 설비나 장비에 대해 기존의 어려웠던 이론적인 교육이 아닌 체험 위주의 효과적인 안전교육 및 설비 점검을 실시할 수 있어 설비나 장비의 문제 발생 시 미숙련자 스스로 문제를 해결할 수 있다. 또한, 비숙련자의 교육시간과 비용을 크게 줄일 수 있고 작업자 조작 미숙으로 인한 안전사고 발생률 또한 감소할 수 있다.

제 3 절 연구의 한계점 및 발전 방향

본 연구에서 제시한 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템의 한계점으로 한 개의 석유화학 플랜트에 대해서만 실증되었을 뿐, 다양한 석유화학 플랜트에는 적용하여 실증되지 않았다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제공되는 기능과 적용되는 OT 및 IT의 기술적인 측면에선 검증에 한계가 있을 수 있으며, 실증된 석유화학 산업에서 수집된 데이터들이 충분하지 않아 적용된 시스템은 최적의 모델로 제시되지 않아 AR 산업의 전체적 동향을 대표할 수 있는 표본으로서 적합하지 않을 수 있다. 하지만 AR은 지속적으로 발전되고 있는 차세대 기술이자 개념이다. 그렇기에 이러한 한계점을 극복하기 위해 향후 연구방향으로 제안된 증강현실 기반의 원거리 설비 안전진단 시스템을 다양한 석유화학 산업 플랜트로 확대 적용하고, 인공지능 알고리즘 적용을 통해 다양한 석유화학 산업별 데이터 수집으로 최적의 모델로 구축하여 다양한 산업별 실증모델을 기반으로 확산 전략을 수립할 예정이다.

참고 문헌

[1] 김정현, 김정윤, 5G 기반 AR/VR 기술 연구 (디지털예술공학멀티미디어논문지, 2020)

[2] 민병수, 스마트팩토리 구축을 위한 증강현실 플랫폼 기반의 원격진단시스템 개발에 관한 연구 (서울대학교 공과대학 FIP 졸업논문, 2022)

[3] 민재윤, 김민, 증강현실(AR) 기술을 이용한 교육 콘텐츠 디자인 (기초조형학연구, 2022)

[4] 송종훈, XR 콘텐츠 실시간 원격제어 및 모니터링 시스템 (동국대학교 석사 학위 논문, 2020)

[5] 심호석, 이효섭, XR기반 메타버스 실감형 콘텐츠를 활용한 직업훈련 교육모델 개발에 관한 연구 (산업기술연구논문지, 2022)

[6] 윤승모, XR 활용 산업 분류 및 활용성 분석체계에 관한 연구 (연세대학교 석사 학위논문, 2023)

[7] 이지혜, VR/AR 전문 인력양성방안 연구 (한국디자인문화학회지, 2021)

[8] 임영모, 가상증강현실(VR/AR)산업 실태조사 (소프트웨어정책연구소, 2022)

[9] 임황용, 스마트팩토리 원격협업 플랫폼 및 AR 기술 적용에 관한 연구 (한성대학교 박사학위논문, 2019)

[10] 전황수, 한미경, 장종현, 증강현실(AR) 기술개발 동향 (한국전자통신연구원, 2017)

[11] 한성일, 이대식, 유영모, 이상윤, 산업 현장의 기술 지원 AR 협업 서비스 플랫폼 설계 및 구현 (디지털산업정보학회 논문지, 2021)

[12] http://industryjournal.co.kr/news/229613

[13] https://www.ciokorea.com/news/262768

[14] https://www.ptc.com/

Development of an augmented reality-based remote facility safety diagnosis system

Beom-Jun Min

Department of Industrial Management Engineering
Graduate School of Industry, Ulsan University

(Advisor: Professor Lee su-dong)

ABSTRACT

Due to the nature of petrochemical plants dealing with chemical substances, it is essential to monitor and inspect not only high-risk access restricted area facilities and equipment but also other major facilities and equipment. However, it is difficult to manage due to invisible risk factors such as high-voltage current or toxic gas leakage, and it is difficult to cope with emergency situations in the event of complex facility failure. In order to prevent the down-time of facilities caused by these safety accidents and facility failures, this study presents a methodology for the development of augmented reality-based remote facility safety diagnosis system, and based on the proposed methodology, augmented reality-based remote facility safety diagnosis system for petrochemical plant companies was constructed and demonstrated. The main functions of the proposed system are augmented reality-based on-site facility safety diagnosis visualization (AR-based facility monitoring and status check, etc.) to support activities that can prevent safety accidents in advance, and augmented reality-based maintenance manual (AR-based image and graphic action guide) that can be solved by simple measures in the event of a complex facility failure.

In order to develop the augmented reality-based safety diagnosis system for remote facilities, the following procedures were conducted. First, the definition and composition of the concept and characteristics of augmented reality and the classification system were investigated, and based on the definition of the concept of the study, the previous research on the existing classification system related to augmented reality was conducted and the direction of the research was presented. Second, we Augmented Reality-based remote facility safety diagnosis system development methodology by defining a four-stage development process of analysis and design → development and implementation → verification and demonstration → testing and field application, and 20 detailed items to be processed. It was actually developed and demonstrated.

Therefore, the augmented reality-based remote facility safety diagnosis system proposed in the future research direction will be extended to various petrochemical industry plants, and the artificial intelligence algorithm will be applied to collect data for various petrochemical industries to establish an optimal model and establish a diffusion strategy based on various industry-specific empirical models.