

LH 하자 및 유지보수 통합 관리를 위한 디지털 신기술 활용 방향 연구

The Study on the Direction of Utilizing New Digital Technology for LH's
integrated management of Defects and Maintenance

양동석

방선규

김동균



연구관리 2026-007

LH 하자 및 유지보수 통합 관리를 위한 디지털 신기술 활용 방향 연구

지 은 이 양동석, 방선규, 김동균
발 행 인 정창무
발 행 처 한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소 (34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈페이지 <http://lhri.lh.or.kr>

이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구·검토한 기초자료로써 공사나 정부의
공식적인 견해와 관계가 없습니다.
우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

LH 하자 및 유지보수 통합 관리를 위한 디지털 신기술 활용 방향 연구

The Study on the Direction of Utilizing New Digital Technology for LH's
integrated management of Defects and Maintenance

양동석·방선규·김동균

참여 연구진

연구책임

양동석 LH 토지주택연구원 연구위원

연구진

방선규 LH 토지주택연구원 연구원

김동균 LH 주거복지계획처 대리

연구심의위원

박지영 LH 토지주택연구원 실장(심의위원장)

김대중 국토연구원 선임연구위원

황현식 통계청 국장

이제호 LH 주거복지본부 주거복지시스템 팀장

기호영 LH 토지주택연구원 연구위원

김남정 LH 토지주택연구원 연구위원

자문위원 (가나다순)

송성현 AIFactory 대표이사

박종일 (주)오픈네트웍시스템 매니저

윤기병 (前) 원광대학교 교수

■ 연구의 배경 및 목적

- 정부의 주택공급 확대 정책에 따른 LH 하자 유지보수 관련 물량이 급증하고 있음
- LH가 유지보수해야 할 공동주택(장기임대, 공공임대 등)은 매해 증가추세(2024년 116만호)에 있으며 유지보수 물량이 한 해 약 88만 건에 이르고 있음
- 디지털 신기술을 통한 하자 및 유지보수 자동화 및 서비스 고도화가 국내외에 활발하게 진행 중임
- 공사 역시 하자유지보수 관련 업무 효율화를 위한 디지털 기술을 도입 중에 있음
 - (주거복지계획) “미래 기술을 활용한 유지보수 서비스 플랫폼 구축” 용역을 진행 중임(’25. 7~ ’25.02)
 - (주택품질처) “LH 공분공임 모바일 하자보수 통합관리솔루션”에 인공지능 기반의 개발을 완료함(’23.12~’25.06)
 - 공사는 스마트홈을 도입하고 IoT 기술과 어플리케이션을 활용해 원격 제어 및 관리 기능을 제공하고 있어서 향후 스마트 유지보수 시스템으로 확장 가능성이 높음
 - 스마트 상담시스템과 챗봇 등의 도입으로 상담의 효율화를 높이고, 메타버스 디지털 트윈 등의 기술도입으로 미리 예측된 유지보수 서비스 제공이 가능해질 것으로 보임
- 그러나, 본부별로 추진된 하자유지보수 관련 디지털 신기술 도입은 상호 간 시너지 효과 창출 및 고객 만족도 향상에 어려움이 있음에 따라 전사적 관점의 통합 모델 또는 적용 방향에 대한 사전 연구가 요구됨
- 본 연구에서는 디지털 신기술 기반의 하자유지보수 관련 업무 및 서비스에 대한 통합 관리를 위한 효율적인 통합 방향 제시를 목표로 함

■ 연구의 내용 및 결과

○ 디지털 신기술 정의

- 디지털 신기술은 디지털 데이터를 활용하여 기존 방식의 업무를 혁신하고 생산성을 높이는 기술을 의미
- 본 연구에서는 다양한 디지털 신기술 중에서 LH 하자 및 유지보수 업무에 적용되어지고 있는 디지털 신기술 중심으로 논의

○ 하자유지보수관련 디지털 신기술 국내외 적용 사례 조사

- BIM 기반 AI 연계 하자 예방 플랫폼을 구축하여 설계 및 시공 단계에서의 하자 발생율을 낮추는 선제적 관리 체계 운영 사례
- One Sydney Harbour는 호주 시드니에 위치한 70층 높이의 타워에 디지털 트윈 기술을 적용하여 에너지 절감 및 인터랙티브한 방식으로 위험관리, 비용초과방지 등의 서비스를 제공하는 사례
- 싱가포르 및 네덜란드 The Edge의 도시 수준의 디지털 트윈을 구축하여 도시계획, 재난 대응, 생태 관리 등에 활용하는 사례
- 증강현실을 활용하여 시설물 유지보수를 하는 일본 코노이케구미의 터널 MR 사례
- 이 밖에도, 포스코이앤씨의 드론과 AI 융합기술을 활용한 균열관리 솔루션 (POS-VISION) 사례, 효성 중공업의 예측 유지보수사례, AI컨텍센터, 대우건설의 바로답, 메타버스 기술을 활용한 삼성물산의 헤스티아 사례 등을 조사

○ LH의 하자유지보수 디지털 신기술 적용 검토

- LH는 하자보수 업무에 디지털 신기술인 3D 모델링, AI 모델링, 클라우드 인프라 기술을 도입하고 있음
- LH는 주거시스템의 복잡화로 인해 하자유지보수 상담 시 업무의 효율화 및 신속 정확성을 높이기 위해 메타버스 기술 및 비전 AI 디지털 신기술 적용 예정임

○ LH 하자유지보수 디지털 신기술 통합 방향 수립

- LH 하자보수 통합솔루션에 적용된 인공지능모델의 시범 운영 및 성능평가를 통해 실효성을 검증하고 이를 상담플랫폼의 하자유형 분류 모델에 활용
- LH의 하자유지보수 관련 3D 및 메타버스 신기술의 활용은 어느 한 기술로 통합하기 보다는 두 기술의 장점을 극대화할 수 있도록 계층적으로 통합하는 방향을 제시
- 생성형 AI를 통한 상담 업무 및 하자유지보수 업무 자동화 통합 방향 제시



[그림 1] LH 하자 유지보수 통합 모델 (출처: NotebookLM을 통해 작성)

○ 디지털 신기술 기반의 LH 하자 유지보수 발전 방안 제시

- LH 빅데이터 기반의 하자유지보수 의사결정 지원 체계 구축
- 지능형 하자 유지보수 추진
 - 하자유지보수 관련 데이터 통합 플랫폼, 공간데이터 기반 의사결정 지원시스템, BIM 기반 하자관리, 임주민 참여형 디지털 사용자 인터페이스 등을 구축
- 자율 예방 및 책임 추적 체계 구축
 - 하자 발생 자체를 최소화하는 방안 제시
 - 책임 소재 자동 추적 시스템 구축
 - 디지털 트윈 기반 주택 운영
 - 예측 유지 보수 고도화
 - 하자 판정 인공지능 개발 및 분쟁 조정 디지털화

■ 연구의 한계 및 제언

- 본 연구는 LH 하자유지보수 분야에 도입된 디지털 신기술들을 검토하고 더욱 높은 생산성 및 효율성을 높이기 위해 적용된 디지털 신기술에 대한 통합 방향을 제시하였으며, 향후 디지털 신기술 기반의 하자유지보수 통합 발전 방안을 제시하였으나

- 기술의 빠른 발전 추세 및 구체적인 비용효과의 검증이 추후 요구됨
- 제안된 통합방향 및 발전 방안 등은 운영 중인 하자보수 통합 솔루션 및 상담 플랫폼에 적용될 것으로 기대됨

주제어

하자유지보수, 디지털 신기술, 인공지능, 통합, 솔루션, 개발, 방향, LH

제1장 서론

- 1. 연구의 배경 및 목적 ————— 1
- 2. 연구의 범위 및 방법 ————— 3

제2장 디지털 신기술 정의 및 활용 사례 조사

- 1. 디지털 신기술 정의 ————— 5
- 2. 디지털 신기술 기반 하자 및 유지보수 관련 문헌 연구 ————— 12
- 3. 하자유지보수 관련 디지털 신기술 활용 사례 ————— 19

제3장 LH의 하자 및 유지보수 디지털 신기술 적용

- 1. LH 하자유지보수 디지털 신기술 활용 필요성 ————— 35
- 2. LH의 하자유지보수 업무에 적용된 디지털 신기술 ————— 41

제4장 LH의 하자보수 디지털 신기술 통합 방향

- 1. LH 하자유지보수 디지털 신기술 통합 기본 방향 ————— 53
- 2. LH 하자유지보수 디지털 신기술 통합 방향 ————— 54
- 3. LH 하자유지보수 디지털 신기술 통합 발전 방안 ————— 64

제5장 결론

- 1. 본 연구의 성과 ————— 71
- 2. 연구의 한계 및 제언 ————— 74

표차례 List of Tables

[표 2-1] 주요 딥러닝 모델의 특징	7
[표 2-2] 디지털 신기술 기반 하자 및 유지보수 관련 연구 사례	12
[표 2-3] 연구흐름도 및 실무부서 협업 관련도	18
[표 4-1] 3D 모델링 및 메타버스 신기술 적용 시 특징	60
[표 4-2] 2D, 3D BIM, GIS 통합 및 역할	66
[표 4-3] 디지털 트윈 기반 주택의 특징	68

그림 차례 List of Figures

[그림 1] 주택의 생애주기에 따른 하자유지보수 요청 건수(출처:LH 내부자료)	1
[그림 2-1] 생성형 AI 개념도	9
[그림 2-2] 메타버스 개념도	10
[그림 2-3] 모바일 하자보수 통합관리플랫폼 구성	19
[그림 2-4] 메타버스 활용 예	21
[그림 2-5] GS 건설 BIM 기반 하자 연계 예방 플랫폼	23
[그림 2-6] 시드니 디지털 트윈 사례	24
[그림 2-7] 싱가포르의 디지털 트윈 예시화면	25
[그림 2-8] 디지털 트윈 더 엣지(건물외부 화면)	26
[그림 2-9] 코노이케구미의 증강현실 구현 사례	26
[그림 2-10] 포스코이앤씨 디지털 신기술 활용사례	27
[그림 2-11] 효성중공업‘아모르’ 운영 프로세스	28
[그림 2-12] 콜봇+챗봇 AI 엔진 서비스 프로세스 플로우	30
[그림 2-13] 대우건설 ‘인공지능 계약 문서 분석시스템 바로답	31
[그림 2-14] 삼성물산 헤스티아 사례	32
[그림 2-15] 롯데 백화점 LLM 기반의 BI Agent	33
[그림 2-16] 롯데 백화점 LLM 활용 예시화면	34
[그림 3-1] 하자보수 유형별 발생 건수	36
[그림 3-2] 하자유형 임의 분류 및 육안 확인 어려운 이미지의 예	37
[그림 3-3] 같은 유형을 다른 유형으로 분류한 하자 유형	37
[그림 3-4] 생애주기 및 사용자 통합의 하자보수 플랫폼 구성	38
[그림 3-5] 하자공종별 발생 건수의 예	39

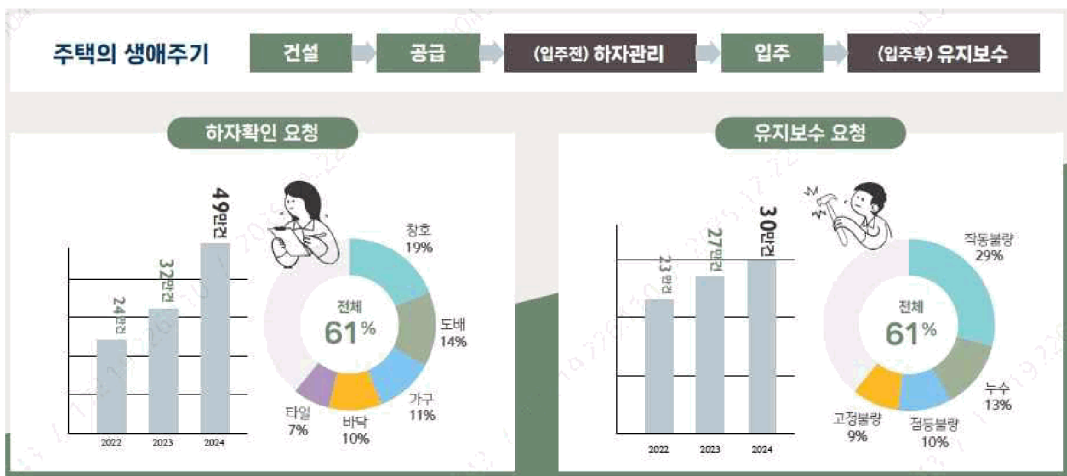
[그림 3-6] 하자유지보수 업무에 도입된 디지털 신기술	41
[그림 3-7] 3D 공간 생성 과정	42
[그림 3-8] 공간, 위치, 부위를 3D 모델상에서 확인하여 선택	43
[그림 3-9] LH 모바일 하자보수 통합관리 플랫폼에서의 AI 적용 부분	44
[그림 3-10] 인공지능 모델을 활용한 하자유형 자동 분류 및 선택화면	44
[그림 3-11] 하자유형 이미지 및 텍스트 자동 분류 테스트 적용	45
[그림 3-12] 하자유형 자동 분류 정확도 결과	46
[그림 3-13] 하자보수 자동 스케줄링 생성 프로세스	47
[그림 3-14] 보수공사 세부 내역서의 예	48
[그림 3-15] 공사 내역서 자동 생성에 요구되는 자료	48
[그림 3-16] 하자유지보수 메타버스 상담 프로세스	49
[그림 3-17] 메타버스 환경 구축의 예	50
[그림 3-18] 메타버스 환경의 사용자 인터페이스	51
[그림 3-19] 비전 AI 디지털 신기술 적용 개발 목표 설정	52
[그림 3-20] 상담과정에서 데이터 신기술 활용 시 기대효과	52
[그림 4-1] 인공지능 모델의 통합	54
[그림 4-2] LH 하자보수 인공지능 학습 및 성능평가 운영체계	56
[그림 4-3] 생성형 AI 기반의 LH 하자보수 상담 및 업무 처리 자동화	62
[그림 4-4] LH 하자 유지보수 통합 모델	63
[그림 4-5] LH 하자 유지보수 디지털 신기술 단계적 통합 발전 방안	64
[그림 4-6] 빅데이터 기반의 하자유지보수 의사결정 지원	65
[그림 4-7] 하자유지보수 솔루션 및 상담시스템 데이터기반 의사결정 지원	65

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1.1 연구배경

- 정부의 주택공급 확대 정책에 따른 LH 하자 유지보수관련 물량이 급증하고 있음
 - 국토부는 2025년 정부정책 기조로 공공주택 공급 확대 등 공공의 역할을 강화할 예정(‘24.12.27, 정부24)
 - LH는 공급한 공공주택의 관리 및 운영을 책임지며 공동주택관리에 관한 사항을 투명하고 안전하게 관리하여 거주자의 권리보호와 주거 환경 개선에 대한 의무가 있음
 - LH가 유지보수해야 할 공동주택(장기임대, 공공임대 등)은 매해 증가추세(2020년 102만호에서 2024년 116만호)에 있고 유지보수 물량은 한 해 약 88만건에 이르고 있으며, 예산 또한 1조원에 다다르고 있음¹⁾
 - LH에 접수된 유지보수 상담건은 '23년 1백만 건으로 전년 대비 35.7% 증가하고 있음
 - 주택의 생애주기에 따른 하자유지보수 건수는 매해 증가 추세임



[그림 1] 주택의 생애주기에 따른 하자유지보수 요청 건수(출처:LH 내부자료)

1) 양동석 외(2024), “LH 하자보수 통합관리 솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안”, 토지주택연구원

- 디지털 신기술을 통한 하자 및 유지보수 자동화 및 서비스 고도화가 활발히 진행되고 있음
 - 스마트 센서와 IoT 기술을 활용하여 주택 내 설비의 상태를 실시간으로 모니터링하고 이상 징후를 조기에 감지하여 유지보수를 자동화하는 연구 및 사례 증가
 - AI 기반 하자보수 상담 서비스로 사용자의 하자 내용에 대한 원인 진단 및 조치를 인공지능이 처리하는 시스템들이 개발됨
 - 주택 유지보수와 하자보수 업무를 통합적으로 관리할 수 있는 디지털 플랫폼을 활용하여 유지보수 이력 관리, 서비스 요청, 진행 상황 추적 등을 하나의 시스템에서 처리함으로써 관리의 효율성을 높이고 있음
 - 챗봇 및 비전 AI 기술을 활용한 유지보수 접수와 처리를 자동화하고 있음
 - 정부 120대 국정과제 및 민생토론회 (7회:상생의 디지털, 국민권익 보호 등)에 따라 디지털 기술을 활용한 양질의 주거복지 실현과 불편을 더는 대국민 서비스 제공 요구 증대
- 공사는 유지보수 하자관련 업무 효율화를 위한 디지털 기술 도입 중에 있음
 - (주택품질처) “LH 공분공임 모바일 하자보수 통합관리솔루션”에 인공지능 기반의 개발을 완료함(’23.12~’25.06)
 - (주거복지계획처) “미래 기술을 활용한 유지보수 서비스 플랫폼 구축” 용역 진행 중임(’25. 7~ ’25.02)
 - 공사는 스마트홈을 도입하고 IoT 기술과 어플리케이션을 활용해 원격 제어 및 관리 기능을 제공하고 있어서 향후 스마트 유지보수 시스템으로 확장 가능성이 높음
 - 스마트 상담시스템과 챗봇 등의 도입으로 상담의 효율화를 높이고, 메타버스 디지털 트윈 등의 기술도입으로 미리 예측된 유지보수 서비스 제공이 가능해질 것으로 보임
- 본부별로 추진된 하자유지보수 관련 디지털 기술 도입은 상호 간 시너지 효과 창출 및 고객 만족도 향상에 어려움이 있음에 따라 전사적 관점의 통합모델 또는 통합 방향에 대한 사전 연구가 요구됨

1.2 연구목적

- 본 연구에서는 디지털 신기술 기반의 하자·유지보수 관련 업무 및 서비스에 대한 통합 관리를 위한 효율적인 활용 방향 제시를 목표로 함

2. 연구의 범위 및 방법

2.1 연구범위

- 연구범위는 LH 하자·유지보수 관련 업무를 중심으로 디지털 신기술을 적용하는 것에 범위를 제한하고 있음
- 사전 기획연구의 성격으로써 하자유지보수 통합관리를 위한 디지털 신기술의 활용 방향을 제시 하는데 중점을 두고 있음

2.2 연구 방법

■ 문헌 및 인터넷 조사를 통한 연구 진행

- 디지털 신기술 정의 및 기술 검토
 - 디지털 신기술 관련 연구 결과와 발간물 조사
- 하자보수관련 디지털 신기술 활용 사례 조사
 - 문헌 및 인터넷을 통한 활용 사례 조사

■ 인터뷰 및 방문조사를 통한 연구진행

- 디지털신기술 전문기업 방문 및 전문가 인터뷰 및 시사점 정리
 - 하자보수와 관련된 디지털신기술 활용 사례 구축, 성능지표, 테스트 및 운영 등의 전문가 인터뷰

■ 전문가 그룹 및 관련기관 연계를 통한 연구진행

- 관련분야 전문가 및 전문기관과의 정보교류를 통한 연구완성도에 기여
 - 디지털 신기술 관련 전문기관 자문
 - 하자보수 관련 용역업체와의 진행상황 공유 및 협의
- 관련 실무부서와 유기적 협력체제 유지
 - 주거복지계획처 및 하자보수 관련 부서와 담당자 인터뷰 및 워크숍을 통한 협력체제 강화
 - 연구 성과가 유효하게 적용될 수 있도록 수시로 연구 결과 협의

제2장 디지털 신기술 정의 및 활용 사례 조사

1. 디지털 신기술 정의

■ 디지털 신기술 정의

- 디지털 신기술은 디지털 데이터를 활용하여 기존 방식의 업무를 혁신하고, 생산성을 높일 수 있는 기술을 의미함
- 4차 산업혁명 시대의 핵심 동력으로 인공지능(AI), 메타버스, 빅데이터, 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅, 블록체인 등 디지털 신기술들이 활발히 활용되어지고 있음
- 이러한 디지털 신기술을 통하여 기업의 새로운 가치 창출 및 시간 비용을 효율화시킬 수 있음
 - 기존의 업무 프로세스를 혁신하여 생산성을 향상
 - 정확도를 높이고 신속한 결과 도출 및 예측 등을 통한 서비스 고도화 가능
- 디지털 신기술은 다양한 형태로 발전하고 있으며, 기술 자체의 발전뿐만 아니라 여러 기술이 융합되면서 더 강력한 혁신을 추진하고 있음
 - AI, IoT, 빅데이터를 활용하여 생산 공정을 최적화하고 불량률을 감소시키는 생산 효율성 증대 (스마트 팩토리)
 - AI와 결합된 로봇공학, 양자컴퓨팅 등 더욱 발전된 기술들이 활용되어 더욱 큰 변화가 예상됨
 - AI, 센서 기술, 5G 통신 기술 융합을 통한 자율주행, 도시교통 통제 등
 - AI, 메타버스 기술을 기반으로 교육, 쇼핑, 엔터테인먼트, 상담 서비스 등 다양한 분야에서 혁신이 이루어지고 있음
 - 현실 세계의 물리적 시스템을 가상세계에 동일하게 구현하고 시뮬레이션하여 문제 예측 및 최적화에 활용(디지털 트윈)
- 기업의 경쟁력 강화에 디지털 신기술은 필수 불가결하게 활용 되어지고 있음

- 본 연구에서는 이러한 다양한 신기술 중에서 하자 및 유지 보수에 활용되어지고 있는 디지털 신기술 위주로 논의하기로 함

■ 인공지능(AI) && 딥러닝 기술

- 인공지능(Artificial Intelligence)은 인간의 학습, 추론, 인지 능력 등을 모방하여 문제를 해결하려 컴퓨터나 기계 등에 인공적으로 구현하는 기술을 의미함
 - 머신러닝은 데이터로부터 패턴을 학습(기계가 스스로 학습)하여 문제를 해결하는 기법
 - 학습 방법 중 지도학습(Supervised learning)은 입력값과 정답이 있을 때 이를 학습하는 기법(분류, 회귀)
 - 비지도 학습(Unsupervised learning)은 정답을 지정하지 않고 구조나 군집을 찾는 방법(클러스터링, 차원축소 등)
 - 강화학습(Reinforcement learning)은 보상 신호로 행동 전략을 학습하는 기법(게임, 로봇 제어 등)
 - 2000년대 초반까지 알고리즘을 설계하거나 프로그래밍 하기가 어렵고 복잡할 경우 많이 활용된 인공지능 기법으로는 전문가시스템, 통계적 방법, 의사결정 트리 등이 많이 활용됨
 - 2000년대 이후부터 인공신경망(Artificial Neural Network) 모델이 “딥러닝”이라는 명칭으로 바뀌고 이미지 인식분야에 큰 효과를 얻으면서부터 여러 분야에 적극 활용되기 시작함
- 인공지능은 다양한 분야에서 혁신을 주도하였으며 주용 응용 분야로는,
 - 자연어처리(NLP, Natural Language Processing) : 컴퓨터가 인간의 언어를 이해하고 생성하는 기술(기계번역, 챗봇, 자동 요약 등)
 - 컴퓨터 비전(Computer Vision) : 이미지나 비디오 등의 시각적인 데이터를 인식하고 다룰 수 있는 기술(안면인식, 객체인식, 의료 영상 분석, 이미지 분석 등)
 - 로봇공학 : 인공지능 기술을 활용하여 환경을 인식하고 자율적으로 움직이는 지능 로봇 기술(산업용 로봇, 무인드론, 청소 로봇 등)
- 딥러닝(Deep Learning) 기술은 데이터를 기반으로 학습하여 스스로 예측하고 판단하는 머신러닝의 한 분야임
 - 인간의 뇌를 기반으로하는 인공신경망을 기반으로 하는 딥러닝은 여러개의 은닉층

(Hidden Layers)을 깊게 쌓아 올린 심층신경망(Deep Neural Network) 구조를 갖으며, 이를 통해 복잡하고 추상적인 특징을 스스로 학습하고 도출함

- 주요 딥러닝 모델로는 심층신경망, 합성곱신경망, 순환신경망, 트랜스포머 등이 있음

[표 2-1] 주요 딥러닝 모델의 특징

신경망 유형	약자	주요 적용 분야	특징
심층 신경망	DNN	일반적 분류/회귀 문제	일반적인 심층 구조
합성곱 신경망	CNN	이미지인식/컴퓨터비전	필터를 사용하여 공간적 특성을 효과적으로 도출
순환 신경망	RNN	시계열데이터/음성인식	이전 단계의 정보를 기억하여 순서가 있는 데이터처리에 적합
트랜스포머	Transformer	자연어처리, LLM	데이터의 중요한 부분에 집중하며, 병렬 처리에 강점이 있음

- DNN(Deep Neural Network) 모델은 은닉층 두 개 이상으로 구성되어 반복학습, 오류역전파 알고리즘등을 통해 널리 활용되고 있음
- CNN(Covolution Neural Network) 모델은 데이터의 특징들을 먼저 추출하고 특징의 패턴을 파악하는 모델로 정보추출, 문장분류, 얼굴인식 등의 분야에서 활용
- RNN(Recurrent Neural Network) 모델은 과거의 학습 내용을 현재의 학습에 반영하는 구조의 모델로 반복적이고 순차적인 데이터에 대한 학습에 유리함
- 딥러닝은 AI 혁명을 이끄는 핵심 기술이며 모든 산업 분야에서 혁신을 창출하고 있음

■ 하자유지보수 이미지 분석(Segmentation)을 위한 주요 인공지능 모델²⁾

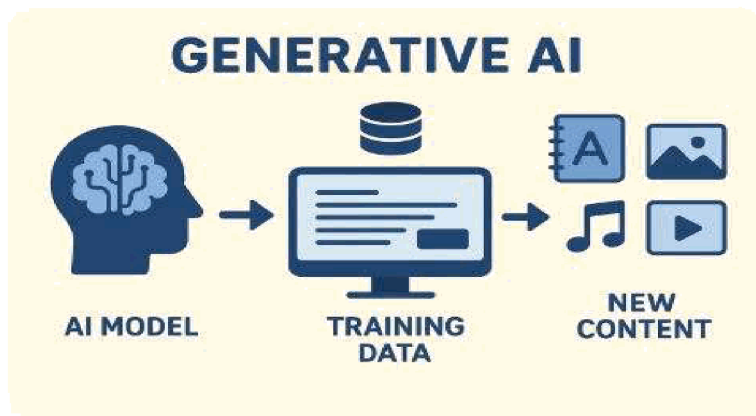
- 하자유지보수 관련 하자유형에 대한 자동 분류를 위한 인공지능 모델로 적합한 합성곱 신경망(CNN, Convolutional Neural Networks)은 이미지 분류, 객체 감지, 이미지 세분화 등 다양한 이미지 관련 작업에 널리 사용됨
 - CNN은 필터를 사용해 이미지의 특징을 추출
 - CNN 모델의 하나인 YOLO(You Only Look Once) 모델은 실시간 객체 감지에 강력한 성능을 나타내고 있으며 이미지를 한 번만 보는 방식으로 처리속도가 빠름
 - R-CNN(Region-based CNN): 이미지 내 특정 객체를 찾는 데 사용되며, 선택적 검색을 통해 후보 영역을 추출한 후 CNN을 적용

2) 양동석(2024), “LH 하자보수 통합관리 솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안”, 토지주택연구원 보고서

- Mask R-CNN: R-CNN의 확장으로, 객체 감지 뿐만 아니라 픽셀 수준의 분할(masking)도 수행
 - U-Net: 주로 생물학적 이미지의 세분화에 사용되는 모델로, 인코더-디코더 구조를 가지고 있어 정확한 세분화 성능
 - VGGNet: 이미지 분류 대회인 ImageNet에서 뛰어난 성능을 보였던 모델로, 깊은 네트워크 구조를 가지고 있음
 - ResNet(Residual Network): 매우 깊은 네트워크를 효과적으로 학습할 수 있도록 설계된 모델로, 잔차 연결을 통해 기울기 소실 문제를 해결
 - Generative Adversarial Networks (GANs): 이미지를 생성하는 데 사용되며, 두 개의 네트워크(생성자와 판별자)가 서로 경쟁하여 높은 품질의 이미지를 생성
- 하자유지에 필요한 특정 객체를 탐지하기 위해 개발 된 주요 딥러닝 객체 탐지 모델은 다음과 같음
- R-CNN (Regions with CNN features): CNN을 사용하여 이미지에서 후보 영역을 추출한 후, 각 영역에 대해 분류기를 적용
 - Fast R-CNN: R-CNN의 개선된 버전으로, 후보 영역을 한 번만 추출하고, 그 위에서 CNN을 실행하여 속도를 높임
 - Faster R-CNN: Region Proposal Network(RPN)를 도입하여 후보 영역을 더 빠르게 생성
 - YOLO (You Only Look Once): 전체 이미지를 한 번만 처리하여 객체를 탐지하는 모델로, 실시간 객체 탐지에 적합, 각 버전마다 성능이 개선됨
 - SSD (Single Shot Multibox Detector): 다양한 크기의 객체를 동시에 탐지할 수 있도록 여러 스케일의 피쳐 맵을 활용하여 속도와 정확성을 동시에 갖춘 모델

■ 생성형 AI (Generative AI)

- 인공지능 모델의 활용이 분류나 판단의 문제 해결에 널리 활용되어지고 있는데 최근에는 새로운 콘텐츠를 스스로 생산해 내는 인공지능 기술로 “생성형 AI”가 대두되고 있음



[그림 2-1] 생성형 AI 개념도

- 생성형 AI는 대규모 데이터를 학습하여 존재하지 않았던 새로운 콘텐츠(텍스트, 이미지, 오디오, 비디오, 프로그램 코드 등)를 생성하는 인공지능 모델을 의미
 - 이러한 생성형 AI 중 대규모 언어모델인 LLM(Large Language Model)은 방대한 텍스트를 학습하여 다음에 올 단어를 예측해 문장을 생성하는 모델임(GPT, Gemini, LLaMA, Claude 등이 대표적)
 - 확산 모델(Diffusion Model)은 이미지에 점차적으로 노이즈(Noise)를 추가했다가 학습과정에서 이 노이즈를 제거하는 방식을 반복하며 원하는 이미지를 생성 (DALL·E, Stable Diffusion, Midjourney 등)
 - GAN(Generative Adversarial Network) 모델은 생성자(Generator)와 판별자(Discriminator)의 두 개의 신경망이 서로 경쟁하며 학습하는 모델로써 생성자는 가짜 데이터를 생성하고 판별자는 가부를 판정하는 과정을 반복함으로써 점차 실제와 구분하기 어려운 고품질의 콘텐츠를 생성하게 됨
 - 멀티모달 (Multimodal) 모델은 텍스트, 이미지, 오디오, 영상 등 다양한 입력 데이터를 복합적으로 학습하고 생성해 내는 모델임
- 생성형 AI는 창조적인 작업을 자동화하고 가속함으로써 사회, 경제 전반에 혁신적인 변화를 불러오고 있음
 - 보고서 작성, 코드 생성 등 반복적인 작업을 자동화하여 업무 효율 극대화
 - 취향, 스타일, 상황을 반영한 개인화된 맞춤형 콘텐츠 생성
 - 복잡한 디자인이나 예술 작품을 쉽게 만들 수 있는 창의적 활동 지원

- 반면에, 저작권 문제, 가짜 정보(Deepfake) 확산, 일자리 변화 등 해결해야 될 윤리적, 사회적 문제가 대두되고 있음

■ 메타버스

- 메타버스(Metaverse)는 ‘초월’을 의미하는 메타와 우주를 의미하는 유니버스(Univrese)의 합성어로 현실 세계를 구현한 3차원 가상 세계를 나타냄
 - 현실 세계에 있는 것처럼 사람들은 자신의 아바타를 통하여 다른이들과 소통하고 관련 업무 및 다양한 교류를 수행할 수 있음
 - 기존의 가상현실(VR)과는 다르게 현실과 유사한 사회적, 경제적, 문화적 활동을 함
 - 정해진 규칙과 한정된 내용을 제한 받지 않고 사용자는 자유롭게 활동하고 새로운 콘텐츠를 직접 만들고 공유 할 수 있음
 - 특히, 메타버스에서의 활동은 현실 세계와 연결되어 새로운 경제 생태계를 형성하며, 현실 세계보다 정확하고 신속하게 활동할 수 있음
 - 메타버스는 현실의 연장된 공간 역할을 수행함



[그림 2-2] 메타버스 개념도

- 메타버스를 구현하기 위해서는 여러 기술들의 융합이 요구됨
 - 가상(VR)/ 증강(AR)/확장(XR) 기술들을 융합하여 몰입감 높은 경험을 제공
 - 가상 세계를 시각적으로 현실성 있게 표현하기 위한 3D 기술이 요구됨
 - 가상 환경의 데이터 처리를 자동화하고 개인화된 사용자 경험을 위해서는 인공지능 모델의 학습이 필요함

- 다수의 사용자가 실시간으로 접속하고 활동하기 위해서는 클라우드 등의 인프라 기술이 요구됨
- 메타버스는 게임, 콘서트, 팬미팅, 상담 등 몰입형 콘텐츠를 통해 새로운 경험을 제공하는 데 많이 활용됨
 - 원격회의, 협업 공간 등 가상 모델하우스나 오피스를 구축하여 비대면 업무환경을 제공함
 - 교육분야에서 학습자에게 생생한 경험을 제공(의학분야, 역사, 실험, 우주여행 등)
 - 가상 매장에서 쇼핑을 하거나 신제품 체험 등
- 메타버스는 현실에서 할 수 없는 경험을 제공하고 공간 및 시간의 제약을 넘어설 수 있음
 - 사용자가 실행하면서 스스로 콘텐츠를 생성할 수 있으며 그 내용을 다른 사용자와 공유함으로써 새로운 가치를 창조할 수 있음
 - 세계의 다양한 사용자들이 한 공간에서 실시간으로 소통할 수 있는 장점이 있음
- 메타버스는 문제점으로는 익명성에 따른 언어적 폭력, 차별, 개인정보 유출 등 문제점이 발생할 수 있어서 이에 대한 보완이 철저해야 함
 - 사용자에 따라 현실 도피의 수단으로 되거나 과몰입을 통한 중독 등의 문제 발생 가능성을 내포함
 - 홀로그램 같은 실감형 기술이 아직은 미숙하여 자연스럽지 못한 경우가 있음

■ AI 챗봇

- AI 챗봇은 인공지능 기술인 자연어처리(NLP)와 기계학습(ML)을 활용하여 사람과의 대화를 모방하고 이해하며 그에 따른 적절한 응답을 생성해 내는 기술임
 - 대화의 흐름을 제어하고 문맥에 맞게끔 일관성 있는 응답을 수행함
 - AI 챗봇을 통해 고객의 질문에 실시간으로 응답하는 고객지원이 자동화될 수 있음
 - 다양한 업무 플랫폼에 융합하여 업무 생산성 및 효율성을 높일 수 있음
 - STT(Speech To Text), TTS(Text To Speech)등을 활용하여 음성기반 실시간 상담에 활용되어지고 있음

2. 디지털 신기술 기반 하자 및 유지보수 관련 문헌 연구

■ 최근의 디지털 신기술 기반의 하자·유지보수 상담 및 처리 서비스 관련을 주제로 한 참고 문헌 조사

- 디지털 신기술(메타버스, AI, 챗봇 등) 기반의 하자유지보수 서비스들의 구축이 많이 연구되고 있으나, 성숙한 단계의 연구는 이루어지고 있지 않은 실정임

[표 2-2] 디지털 신기술 기반 하자 및 유지보수 관련 연구 사례

제목	연도	수행기관	주요내용
메타버스 모델하우스 플랫폼의 서비스 특성이 사용자 만족도 및 재이용의도에 미치는 영향-MZ 세대를 중심으로	2024	대한건축학회논문집 (성수정 외)	메타버스를 활용한 모델하우스 서비스 특성이 MZ 사용자 만족도(3.83)와 재이용 의도(3.75)에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 공감성과 대응성이 그에 유의미한 영향을 줌
360도 이미지 캡처 기반 메타버스 환경 구축을 통한 건축물 유지관리 기초연구	2024	대한건축학회 학술발표대회논문집 (유채연 외)	메타버스 기술을 활용하여 건축물의 안전 점검과 유지 관리의 효율성을 높이는 방법을 제안하며, 360도 이미지를 기반으로 한 비대면 점검 시스템을 구현함 향후, 알고리즘을 통해 건축물의 손상 부위를 확인하고 유지 관리 데이터를 효율적으로 관리하는 방안 제시
메타버스 기반 상담 에이전트와 사용자의 자기 노출에 대한 제언	2024	한국 HCI 학회학술대회논문집 (이은성 외)	메타버스 내 인공지능 상담사와의 상호작용에서 자기노출에 영향을 미치는 요소를 분석하였으며, 의인화의 외형적, 심리적, 행동적 특성이 자기 노출에 미친 영향을 규명함
검색증강생성(RAG) 기반 사용자 감정 분석 아바타 AI 챗봇 구축 및 활용에 관한 연구	2024	멀티미디어 학회 논문집 (박성주 외)	RAG 알고리즘을 기반으로 감정 분석 아바타 AI 챗봇을 개발하여 사용자와의 상호작용을 향상시킬 수 있는 방안을 제시함
고객과의 소통문제, 대화형 AI 챗봇으로 해결한다	2024	전자기술 (서재창)	아시아 태평양 지역에서 대화형 AI의 중요성이 증가하고 있으며, 고객의 맞춤형 서비스에 대한 기대가 높아지고 있음에 따라 고객 서비스의 효율성 및 개선을 위한 주요도로 여겨짐
LH 하자보수 통합관리솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안	2024	토지주택연구원 (양동석 외)	LH 모바일 하자보수 통합관리 솔루션에 적용된 인공지능 기술에 대한 성능평가지표 개발 및 운영방안을 제시함 본 과제의 인공지능 기반의 기능 통합에 있어 방향 수립에 참고
Transformer 기반 공공임대 주거하자 공사유형 예측 연구	2023	성균관대학교 (유지석)	신속한 하자처리를 위해 하자 접수단계에서 향후 예상되는 공사유형에 대한 정확한 식별이 필요함에 따라 텍스트임베딩 및 딥러닝 기법을 공사유형 분류 모델로 적용하여 높은 성능을 증명함. 본 과제의 AI 분류 기능 발전방안에 참고
공동주택하자 자동분류 및 특성 분석을 위한 HCLA 하자 관리모델	2022	한양대학교 (김벌)	공동주택 하자발생에서 잠재하자를 예측하여 관리하기 위해서 하자의 개별적 및 역학적 특성을 정량화하여 분석하여 중점 관리대상을 선정하는 하자관리 모델 제안함 본 연구에서 향후 발전방향에 참고

■ 메타버스 모델하우스 플랫폼의 서비스 특성이 사용자 만족도 및 재이용 의도에 미치는 영향(2024, 성수정 외)

- 가상 모델하우스인 웹 기반 모델 하우스는 현실감에 있어 차이가 있음
 - 문제점을 해결하기 위해 정확한 3차원 공간정보와 가상현실 기술을 결합한 주거 체험이 가능한 플랫폼으로 메타버스가 적극 활용되어짐
 - 메타버스는 현실의 나를 대리하는 아바타를 통하여 다양한 일상 활동과 경제생활을 영위하는 3D 기반의 가상세계임
 - 현실 세계의 제약 없이 사용자에게 새로운 경험을 제공할 수 있는 잠재력이 있음
- 메타버스는 부동산 산업의 디지털 전환과 프로세스 혁신에 중요한 실무적 함의를 가지고 있다고 볼 수 있음
- 국내 MZ 세대를 대상으로 메타버스 모델하우스에 대한 인식을 분석
 - “ZEP 메타버스 모델하우스 자이갤러리” 플랫폼을 대상으로 함
 - MZ 세대는 디지털 네이티브로서 디지털 기술과 온라인 플랫폼을 적극적으로 수용하고 활용하는 특성이 있음
 - 메타버스 모델하우스 1회이상 이용한 MZ 144명 설문조사결과 메타버스 모델하우스가 제공하는 서비스들이 이들의 공감을 얻고 플랫폼에서 사용자들에게 신속한 대응을 제공할수록 만족도가 높아짐
 - 공감성(원하는 주거 공간이나 서비스를 찾는 능력)과 대응성(사용자 질문에 대해 직원의 신속한 응답과 문제 해결능력)이 재이용 의도에 유의한 영향력을 미침
- 메타버스와 같은 신기술을 적용할 때 MZ 세대를 대상으로 한 서비스 디자인에 있어서 이들의 특성을 고려한 맞춤형 접근이 요구됨
 - 메타버스 모델하우스가 물리적 모델하우스를 대체하거나 보완함으로써 건설사 및 소비자의 비용부담을 줄일 수 있음
- 시사점 : 본 연구에서 활용하고자 하는 메타버스의 사용자 만족도가 높음에 따라 메타버스의 효과적인 활용 방향 제시가 요구됨

■ 360도 이미지 캡처 기반 메타버스 환경 구축을 통한 건축물 유지관리 기초 연구 (2024, 유채연 외)

- 메타버스의 적용범위를 확장하여 건축물의 유지관리 업무에 디지털 기술을 적용

했을 때 육안점검 시스템의 문제점을 개선할 수 있음(2022, 이지현외)

- 실내공간 360도 이미지 캡처 > 유니티 게임엔진 기반 메타버스환경구현 > 생성환경 내 벽체 및 천장/바닥 표면확인 > 점검자 시점 시뮬레이션 수행
- 점검자는 가상현실 내 캐릭터를 VR 기기와 연동하여 시설물의 상태를 모니터링 하고 벽체 균열 및 바닥 손상 등의 세부 사항을 점검할 수 있음
- 점검자는 메타버스 내 캐릭터로 추가할 수 있으며, 1인칭 및 3인칭 시점으로 변환하여 확인 가능함
 - 건축물의 유지관리 데이터를 도면에 저장하여 이력관리가 용이
 - 기존의 육안 점검 방식보다 효율성과 정확도를 크게 향상시켜 유지관리 업무의 생산성 제고
- 시사점 : 하자 및 유지보수 관련해 사용자의 편의성 및 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대함
 - 정확한 대상 부분을 선택할 때 정확성을 향상 시킬 수 있음
 - 사용자 측면에서의 경험을 데이터베이스로 축적할 수 있음

■ 메타버스 기반 상담 에이전트와 사용자의 자기 노출에 대한 제언 (2024, 이은성 외)

- 메타버스 환경 내 상담 에이전트와 사용자 간의 상호작용 속에서 사용자의 자기 노출에 영향을 미치는 요소 분석
 - 메타버스 환경에서 자기노출이 발현되는 상황이 텍스트 기반의 챗봇 에이전트에 대한 자기노출에 대한 비교 수행
 - 피상담자의, 자기노출을 높이기 위해서 가상 환경에서의 인공지능 상담 에이전트가 향후 어떻게 디자인되고 발전되어야 하는지에 대한 시사점 제시
- 인간과 미디어 에이전트와의 상호작용 속에서 사용자의 자기 노출에 영향을 주는 변인 분석
 - AI 챗봇의 프로필 사진으로 사람 이미지 적용, 인간과 유사한 심리적 특성 제공, 인간과 유사한 행동(보는 시선과 같은 비언어적 요소) 등으로 유대감 및 신뢰감을 높일 수 있음
 - 메타버스 환경에서는 미디어 에이전트와의 상호작용을 1인칭 또는 3인칭 시점으로 할 수 있음

- 가상환경에서 자신의 아바타를 커스터마이징 할 수 있는 권한을 부여함으로써 자기 노출을 높일 수 있음
- 시사점 : 하자유지보수 상담 플랫폼 구축 시 가상 환경에서의 메타버스 설계의 시사점을 제시

■ 검색증강생성(RAG)기반 사용자 감정 분석 아바타 AI 챗봇 구축 및 활용에 관한 연구 (2024, 박성주 외)

- 기업의 LLM 사용이 늘어남에 따라 기업정보 유출, 개인정보 유출 등의 문제 해결을 위해 기업의 필요한 정보만 학습하여 답변하는 챗봇 서비스의 구축이 증가 추세
 - 질의 응답시 환각현상을 줄이고 학습된 결과만을 가져오기 위한 검색증강생성 (Retrieval Augmented Generation:RAG) 활용이 대두됨
 - 문장의 감정정보를 분석하여 사용자와 상호작용의 효율성을 높이는 챗봇 서비스 구축 모델 제시
 - RAG를 이용한 서비스 개발은 정확하고 신뢰도 높은 답변 제공, AI 모델 구축 및 운영비용의 절감
- 관광정보에 대한 질의 응답하는 챗봇 서비스를 구축
- 챗봇 대화 내용 중 응답 내용을 KoBERT를 이용하여 7개의 감정(슬픔, 분노, 행복, 중립, 불안, 혐오)으로 분석하여 해당 이미지를 나타냄
- 시사점 : 향후 상담 서비스 플랫폼에 반영하여 고차원의 상담 서비스를 기대함

■ 고객과의 소통문제, 대화형 AI 챗봇으로 해결한다(2024, 서재창)

- 많은 기업이 최상의 고객경험을 제공하기 위해 고객과의 소통을 우선시하며, 이에 고객 경험 예산 비중이 높아지고 있는 추세임
 - 대화형 챗봇을 통해 고객문의에 즉각적인 답변제공 문제해결 시간을 단축하고 고객 만족도를 높임
 - 자동응답 기능 외에 자동 데이터 수집, 프로모션 활동, 구매프로세스 안내 등 다양한 기능 수행
- 챗봇을 이용함으로써 인건비 절약, 반복적이고 일상적인 업무에 챗봇이 대응함

으로써 인력을 창의적인 업무에 집중시킬 수 있음

- 개인화 서비스를 제공함으로써 맞춤형 응답 제공
 - 대화형 AI 챗봇은 고객 상황 데이터를 빠르게 수집하고 활용해 배송 안내, 제품 추천, 맞춤형 인사를 제공하여 고객만족도를 향상시킴
- 시사점 : 본 연구에서 적용하고자 하는 하자보수 상담서비스에 챗봇을 활용하여 반복적인 질문 및 담당자 부재 시에 필요한 자동응답 서비스 제공

■ Transformer 기반 공공임대 주거하자 공사유형 예측 연구 (2023, 유지석 외)

- 신속한 하자 처리를 위해서 최초 하자 접수시 '공사유형'에 대한 식별이 중요
- Pre-trained Transformer 기반의 텍스트 임베딩 및 딥러닝 기법을 건축 분야 14개 공사유형에 대한 분류 모델에 적용
 - 기존 모델에 비해 91.5%의 성능 개선 증명
- BERT 임베딩 및 딥러닝 기반의 Multi-Class 분류 모델의 성능평가를 위해 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision)와 재현율(Recall)은 데이터 불균형이 존재하는 데이터에서 필수적으로 검토 해야 하는 성능지표임
- 재현율은 실제 특정 Class 의 데이터(True Positive + False Positive) 중에서 예측이 맞은 데이터(True Positive)의 비율을 의미함
 - 성능평가 지표로써 F1-score(정밀도와 재현율의 조화평균 계산값)로 설정함
- 시사점 : 본 연구에서 추진하고자하는 통합모델 개발에 활용

■ 공동주택 하자 자동분류 및 특성 분석을 위한 HCLA 하자 관리모델 개발 (2022, 김별)

- 건설 관련 하자 관리 및 방지의 중요성 증대되고 있으며 잠재하자를 예측 관리 필요
- 하자의 개별적 및 역학적 특성을 정량화하여 분석 필요
 - 데이터의 입력(하자분류작업) 및 분석(하자관리전략 도출) 과정의 자동화를 통해 관리주체의 접근성을 확보하고, 정확성 및 전문성을 향상
 - 딥러닝 모델중 CNN(Convolution Neural Network)을 활용하여 자동 분류 모델 제안
- HCLA(Hybrid-CNN-LDA-ARM) 하자 관리모델로 분류 및 평가를 함으로써 관리 우선순위를 설정하고 잠재하자/누락하자들을 예측

- 하자 항목에 대한 표준체계를 구성하고 지속적인 피드백 환경의 하자관리 플랫폼 환경을 제안
 - 공종, 위치, 요소, 유형을 고려 하자의 손실을 정량화하고 하자간 생성 구조를 정의
 - 하자의 세부요인과 개별적 및 역학적 특성을 통합적으로 고려한 관리 우선순위 패키지 제공
- 시사점 : 하자보수 관련 인공지능 적용 및 발전 방안에 활용 가능함

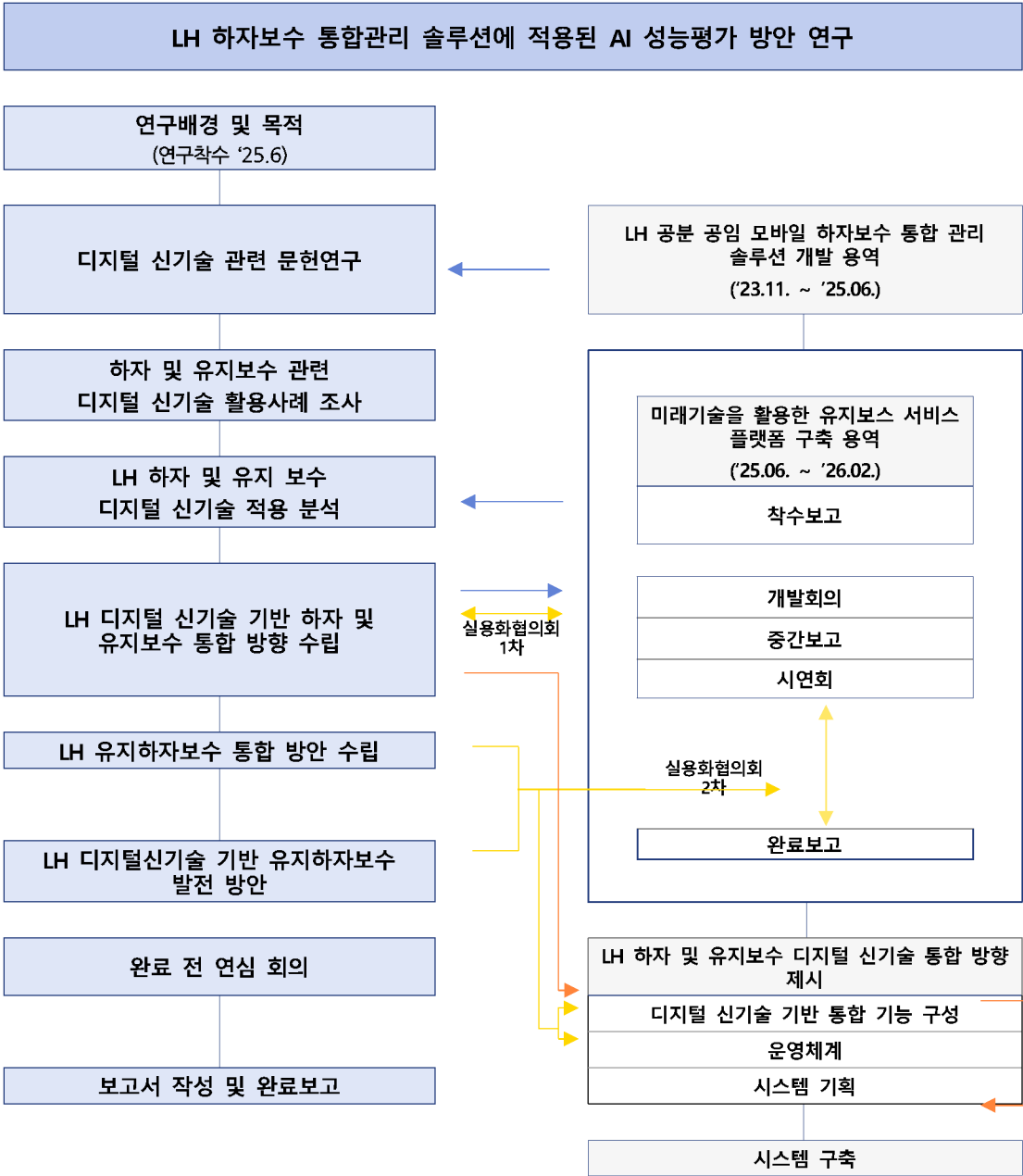
■ LH 하자보수 통합관리 솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안 (2024, 양동석 외)

- LH의 하자보수 통합관리 솔루션의 인공지능 적용 내용 및 주요 특징 검토
 - LH 하자보수 관련 업무처리시 개선되어야 할 주거생애 전체 서비스 수행, 편리한 하자유형등록, 표준화된 하자유형 분류체계, 신속하고 효율적인 업무처리 방법 제시
 - 하자보수 관련 인공지능 적용 모델 검토 및 데이터 특성을 분석함
- 하자보수 통합관리솔루션의 인공지능 성능지표 개발
 - LH 하자보수 솔루션에 적용된 인공지능의 성능지표 수립 및 평가 체계를 제시함
 - 학습데이터의 구성 및 운영방안 제시
 - LH의 하자보수 통합관리솔루션의 발전 방안 및 성능평가 운영안 제시
- 시사점 : 본 연구에서 통합하고자 하는 디지털 신기술 적용 내용의 일부를 조사하였으며, 향후 통합 방향 수립에 반영하여야 함

■ 선행연구와의 차별성

- 선행연구들은 디지털 신기술의 적용 등에 대한 기초 연구들임
- 해당 연구 중 LH에서 수행 중인 하자보수 통합관리 솔루션 개발 용역에 적용된 AI 기능들과 유사한 내용이 일부 있으나, LH 하자유지 보수에 적용된 시스템들의 통합 방향에 대한 내용은 제시하고 있지 않음
- 특히, 표에서처럼 기존 문헌 및 개발사례 등에서 도출한 시사점과 LH 개발 시스템들을 분석함으로써 효과적으로 통합하는 방향을 제시하는 실용성 있는 연구를 수행할 수 있도록 함
- 본 연구에서는 “LH 하자유지보수에 적용된 디지털 신기술”을 통합하는 방향을 제시하는데 차별화가 있으며, 향후 LH 하자유지보수 업무의 디지털 신기술 통합에 활용하는데 의의가 있음

[표 2-3] 연구 흐름도 및 실무부서 협업 관련도

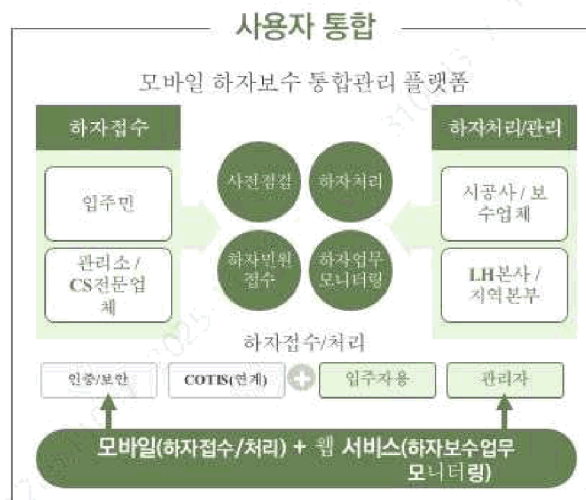


3. 하자유지보수 관련 디지털 신기술 활용 사례

1) 하자 및 유지 보수 관련 디지털 신기술 적용

■ 모바일 기반 하자접수 및 처리 자동화 플랫폼에 적용

- 입주민이 앱을 통해 하자를 사진이나 영상으로 접수
 - 인공지능이 카테고리, 우선순위 자동 분류
 - 민원처리 속도 개선
 - 문서, 사진 기록 관리 자동화
- 시공사, 관리사무소, 하도급 업체에 자동으로 하자가 배정되고 업무 일괄처리



[그림 2-3] 모바일 하자보수 통합관리플랫폼 구성

■ BIM 기반 하자관리 시스템 적용

- BIM(Building Information Modeling)을 활용하여 설계부터 시공 및 유지관리의 단계까지 데이터를 연계하여 통합관리를 함으로써 효율적인 하자 관리
- 건축 구성 요소별 하자 정보를 3D로 시각화하여 가독성 및 정확성 향상
- 하자 위치, 자재 및 시공 이력 확인이 쉽고 설비점검 및 보수비 산정 효율을 증가시킬 수 있음

- 하자 관련 정보의 명확성 향상 및 분쟁시 객관적 자료 확보 가능
- 블록체인 기반 하자 이력 관리
 - 하자 처리 이력을 블록체인에 저장하여 조작 방지
 - 입주자, 관리사무소, 시공사 간 투명한 정보 공유
 - 분쟁 시 신뢰 가능한 자료 제공

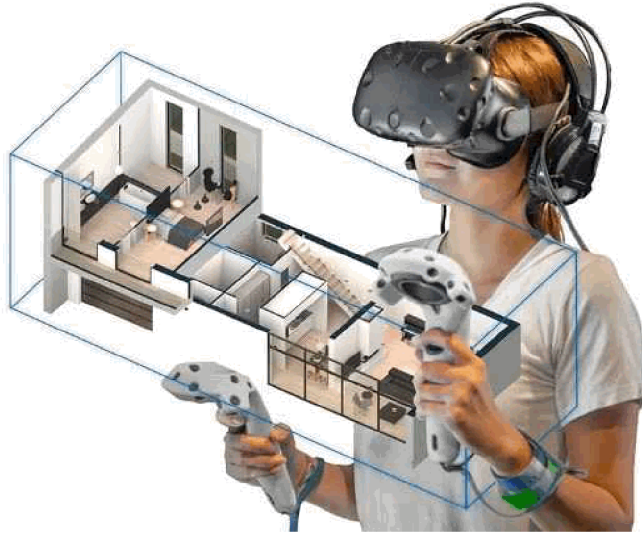
■ 디지털 트윈 기반 유지관리 통합 플랫폼

- 아파트 단지 전체를 3D 가상 모델로 구축하고 이를 활용해 유지보수 업무를 진행
 - 입주민이나 관리자가 가상공간에서 실제와 같이 건물의 상태를 확인하고 가구 등의 배치를 시뮬레이션 할 수 있음
 - 다양한 하자에 대한 대응 및 품질관리 생산성을 제고
- 설비데이터, IoT센서정보, 유지보수 기록 등을 통합하여 관리
 - 단지 전체 관리 최적화
 - 기계실, 전기실, 욕실, 주방 등에 IoT 센서 설치하여 이상 징후 발생 시 자동 알림 및 상태 기록(누수, 온도, 습도, 진동, 소음, 압력 등 측정)
 - 예산 보수 계획의 자동 산출 및 관리(장기수선충당금 효율 증가)
- 하자발생 패턴 분석, 예측 유지관리 수행
- 3D 스캐닝 기반 실내 하자 진단
 - 실내 공간을 3D 스캔하여 평탄도, 틈새, 각도오차 등을 자동으로 측정
 - 입주 전 예비점검과 공용부 점검에 활용

■ 메타버스 및 챗봇 기반 유지보수 플랫폼

- 상담원이 메타버스로 구현된 임대주택 가상현실에 접속하여 고객이 문의한 시설물을 확인하고 시설물별 주요사례를 조회한 후 그에 따른 신속한 접속 및 처리를 수행
 - 증강현실(AR) 기술을 활용하여 벽체, 바닥, 내부배관, 전선위치 등을 실시간으로 표시하여 사용자와 상담원의 일치된 정보 소통 지원
 - 가상현실(VR)을 활용하여 예비점검, 교육 및 가상 시나리오 훈련 등을 수행
 - 하자 원인분석의 정확성 강화

- 24시간 챗봇을 통해 문의할 수 있어 고객 접근성과 업무 효율성을 향상



[그림 2-4] 메타버스 활용 예 (출처:ACCA Software)

■ 로봇, 드론을 활용한 점검 및 보수

- 배관을 내시경 로봇으로 내부 누수, 막힘을 검사
- 외벽 도장, 방수를 로봇으로 고층 작업 자동화
 - 고위험 작업 안정성 향상
- 공용 공간 청소, 방역 로봇 활용
 - 유지보수 인력 부족 문제 해결
 - 정밀 반복 작업의 품질 향상

■ 하자유지보수에서 인공지능 모델의 활용

- 이미지 판별 : 카메라로 촬영한 이미지나 드론으로 확보한 영상 데이터를 AI가 분석하여 건물 외벽의 미세한 균열이나 페인트 칠의 벗겨짐 등을 자동으로 판별
- 예측 유지보수 : 설비에 장착된 센서 데이터를 AI가 분석하여 고장 시기를 예측함으로써 비용 절감 및 시설의 가용성을 높임
- AI 기반 카메라 모니터링 : 카메라를 통해 시설물이나 장비의 상태를 실시간으로 체크하여 자동으로 유지보수 요구하는 서비스

2) 하자 및 유지 보수 관련 디지털 신기술 국내외 적용 사례

■ GS 건설 : BIM 기반 AI 연계 하자 예방 플랫폼

- GS 건설은 시공 데이터를 축적하여 이를 바탕으로 AI를 활용한 “하자 예방 플랫폼”을 구축하여 설계>시공 단계에서 하자 발생율을 낮추는 선제적 관리 체계를 운영하고 있음
 - 결로 및 곰팡이 등 주요 하자의 원인이 되는 단열 시공 오류를 사전에 방지하기 위해 단열설계를 분석하고 단열재 누락이나 미흡한 부분을 체크할 수 있음
 - 미세한 설계 오류나 도면 간의 불일치등을 자동으로 검출
 - BIM 모델을 통해 시공 전 가상으로 건물을 시뮬레이션하여 설계를 최적화
 - 건설현장의 데이터를 디지털 트윈에 실시간으로 연동하여 공정률, 자재 현황, 품질 검사결과 등을 전체적으로 파악하고 문제 발생 즉시 대응할 수 있도록 지원
- 또한, 입주 후 관리까지 전 과정에 걸쳐 디지털 기술을 활용하여 하자를 줄이고 고객 만족도를 높이려고 함
- 적용 기술로는 시공 품질 데이터베이스(하자 이력) 기반 머신러닝 모델 활용 등
 - BIM과 연계된 체크리스트/예방 가이드 자동 생성
 - 현장 및 본사 협업용 대시보드 및 알림 시스템
 - 과거 하자 사례를 데이터로 정형화(공정/자재/환경)
 - AI가 고위험 공정 및 주의포인트를 설계/공정 단계에서 자동 표기
 - 현장 작업자에게 실시간 권고안 제공 (하자 발생률 감소)
 - BIM과 연동해 하자 위험 레이어를 도면에 시각화하면 입주 전 예비 점검에서 효과 극대화

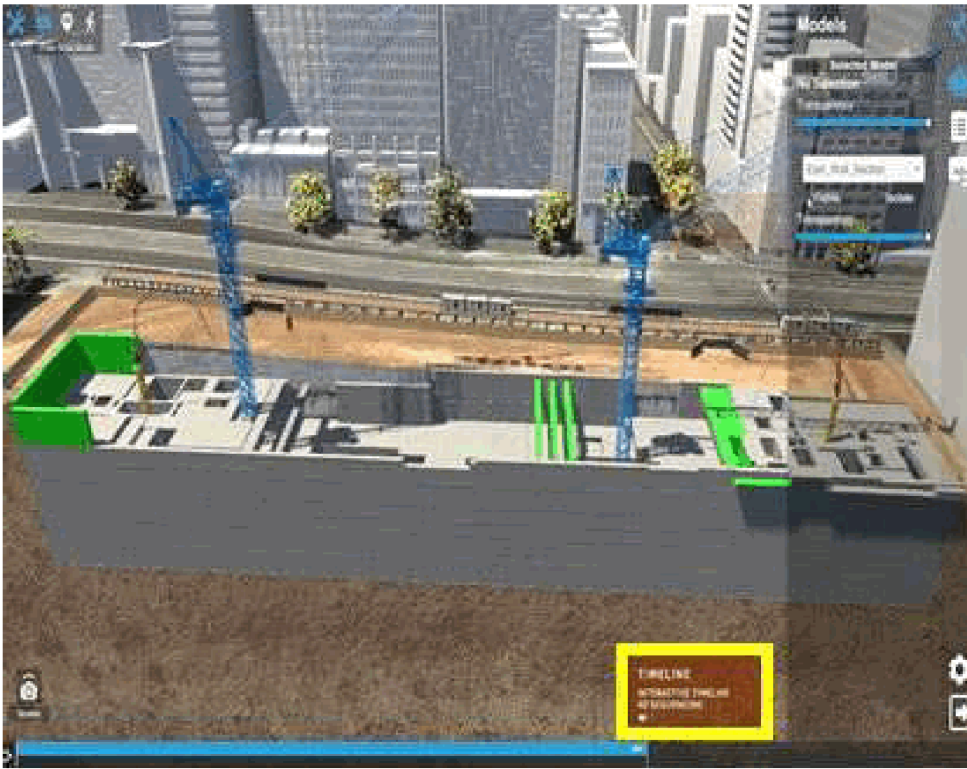


[그림 2-5] GS 건설 BIM기반 하자 연계 예방 플랫폼(참고:(스마트건설뉴스 2025))

■ BIM 기반 디지털 트윈 기술 적용 사례(One Sydney Harbour)³⁾

- One Sydney Harbour는 호주 시드니에 위치한 70층 높이의 타워로 디지털 트윈 기술을 적용한 사례
 - 4D BIM으로 구축하여 설계 및 시공 단계에서 프로젝트 관계자들의 커뮤니케이션 강화
 - 최적화된 설계안 도출 및 시공상 발생할 수 있는 리스크 분석
 - BIM과 연계된 디지털 트윈에서 연계된 분석을 통해 객관적이고 정량적 분석결과를 기반으로 친환경 에너지 절감형 서비스 제공
 - 건축의 타임라인을 미리 보고, 건물이 주변 지역을 어떻게 변화시키는지 확인 가능
 - VR을 활용하여 직접 체험하듯 탐험 기능 제공
 - 4D 방식으로 시각화하고, 인터랙티브한 방식으로 고객에게 위험관리, 비용초과방지, 프로젝트 완료 등에 대한 정보 제공

3) 삼성 SDS 인사이트 참고(<http://samsungsds.com/innsights/digital-twin-using-bimpart2.html>)



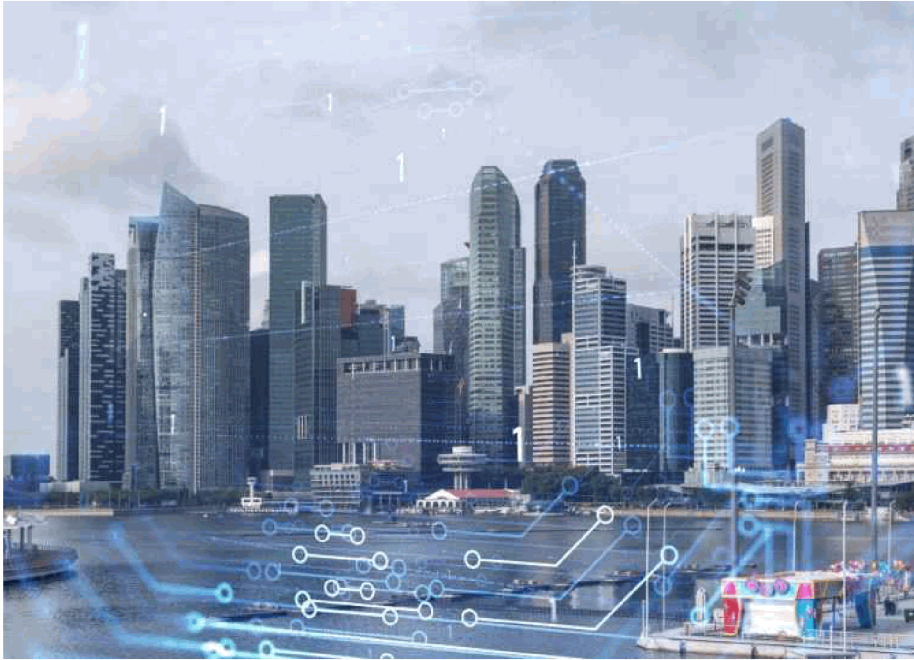
[그림 2-6] 시드니 디지털 트윈 사례 (출처 : Robert Bird Group)

■ 도시 수준의 디지털 트윈 사례 (Virtual Singapore(싱가포르))

- 도시 전체에 고정밀 디지털 트윈을 구축하여 도시계획, 재난 대응, 생태 관리 등에 활용
- 실제 도시의 복제본을 통해 부담 없이 다양한 솔루션을 시험하고 그에 따른 효율적인 의사결정을 함으로써 스마트하고 지속 가능한 도시 관리에 기여
- 아파트나 공동주택 관리 측면에서 실시간 데이터(환경, 인프라 상태)를 디지털 트윈으로 통합하여 예측 및 시뮬레이션을 통한 관리 수행
- 고해상도 LiDAR 스캔, 항공사진, 차량 장착 레이저 스캔 등의 매핑 기술을 활용하여 건물, 기반시설, 지형, 자연 요소까지 세밀하게 3D로 구현
- 다양한 정부 기관, 도시 계획가, 엔지니어, 기업, 연구원 등이 상호 접근하여 도시 데이터를 공유하고 솔루션을 협업할 수 있는 집중식 플랫폼을 제공
- 교통흐름, 환경요인, 인구이동, 공공 서비스 성능 등 도시 구석구석에 설치된 IoT

센서와 공공데이터들을 통합하여 모델에 실시간으로 반영

- 주거 단지의 에너지 흐름, 배수, 공간 활용을 시뮬레이션하여 설계 및 운영 개선
- 도시차원의 인프라(전력망, 수자원) 와 연계하여 지역 단지의 리스크 분석에 활용



[그림 2-7] 싱가포르의 디지털 트윈 예시화면

■ The Edge 디지털 트윈 사례 (네덜란드 암스테르담)

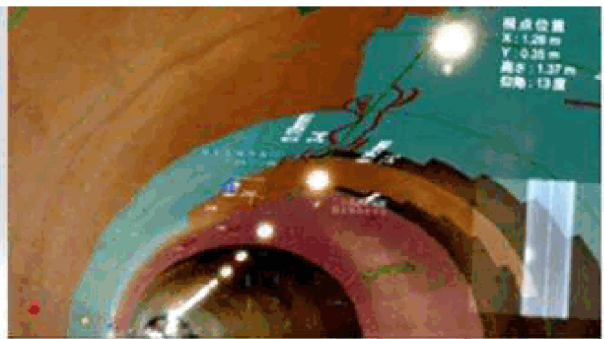
- The Edge는 네덜란드 암스테르담에 위치한 15층 규모의 사무용 건물로 딜로이트의 네덜란드 본사로 사용되고 있으며 IoT 센서와 BIM 및 디지털 트윈을 결합한 사례
 - 센서 데이터로 설비 성능을 최적화하고, 유지보수는 예측 기반으로 수행
 - 디지털 트윈으로 설비 및 에너지 흐름 모델링
 - 유지관리 및 공간 관리 시스템을 통합하여 제공
- 센서 데이터를 통해 설비 부하 및 사용 패턴을 분석하고 이를 통해 유지보수 주기를 최적화함
- 사용자 포털과 연동해 민원 및 시설 요청을 자동화하고 에너지 효율을 개선하며 설비 고장 사전탐지가 가능함



[그림 2-8] 디지털 트윈 더 옛지 (건물외부 화면)

■ 증강현실을 활용한 시설물 유지보수 (일본 코노이케구미 : 터널 MR)

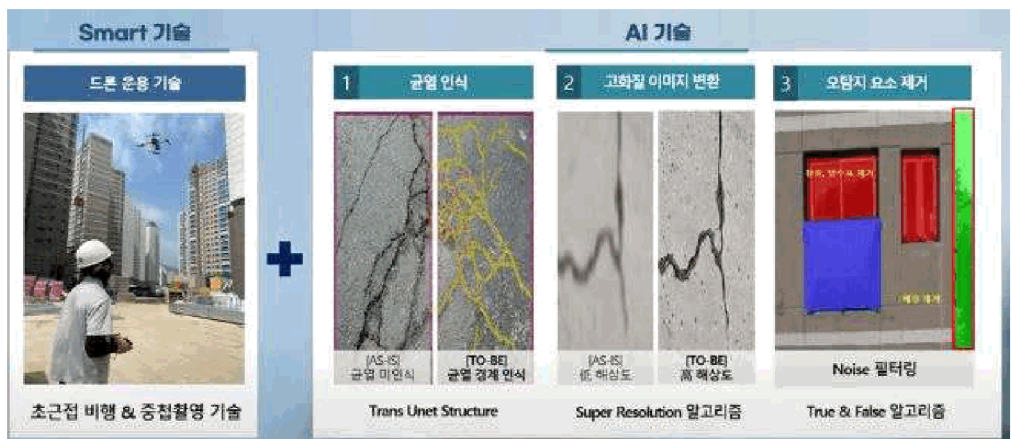
- 공공인프라 건설 전문업체 일본의 코노이케구미는 터널 유지보수업무에 혼합현실(MR) 기술을 도입함
- 웨어러블 단말을 통해 3차원 지질 전개도 등 터널의 유지보수에 필요한 데이터를 홀로그램 형태로 터널 내에 투사하여 정보 제공
 - 작업자는 터널의 균열 정도, 설계 및 시공 간의 연계성을 검토하여 유지보수 작업 수행
 - 현재의 균열상태를 촬영 축적하고 과거와 비교함으로써 균열의 확산 정도 확인 가능
 - 점검기록을 바로 확인함으로써 점검 오류나 누락 방지
 - 터널 내 차량 통제의 시간과 교통체증을 최소화하는 효과



[그림 2-9] 코노이케구미의 증강현실 구현 사례(출처: Konoike)

■ 자동 결함 탐지 사례 (포스코이앤씨 : POS-VISION)

- 포스코이앤씨에서는 드론과 AI 융합기술을 통하여 외벽 균열 관리 솔루션을 제시함
 - 드론에 고해상도 영상 장비를 장착하고 외벽을 촬영해 균열의 폭, 길이, 위치 같은 상세 정보를 탐지(0.3mm 미세한 균열 탐지 가능)
 - 단순 균열뿐 아니라 창호 코킹불량, 콘크리트 파손 등 외벽의 다양한 품질 하자관리 가능
 - 균열이 많이 발생한 구역은 히트맵 형태로 시각화해서 위험구역을 빠르게 파악할 수 있도록 함⁴⁾
 - 고층 외벽, 위험 구역을 자동으로 함을써 안정성 확보
- 이 밖에도 그림에서처럼 건설 도면을 자동으로 검토하고 구조 안정성, 설계 기준 등에 따른 오류를 검사할 수 있는 POS-DART 솔루션, 공기지연 위험 조기탐지 모니터링 시스템, LLM을 활용한 계약리스크 최소화시스템(POS-DOC), 인공 지능을 활용한 협력사 Risk 조기탐지 시스템 등을 개발함



[그림 2-10] 포스코이앤씨 디지털 신기술 활용사례(출처: 포스코 뉴스룸)

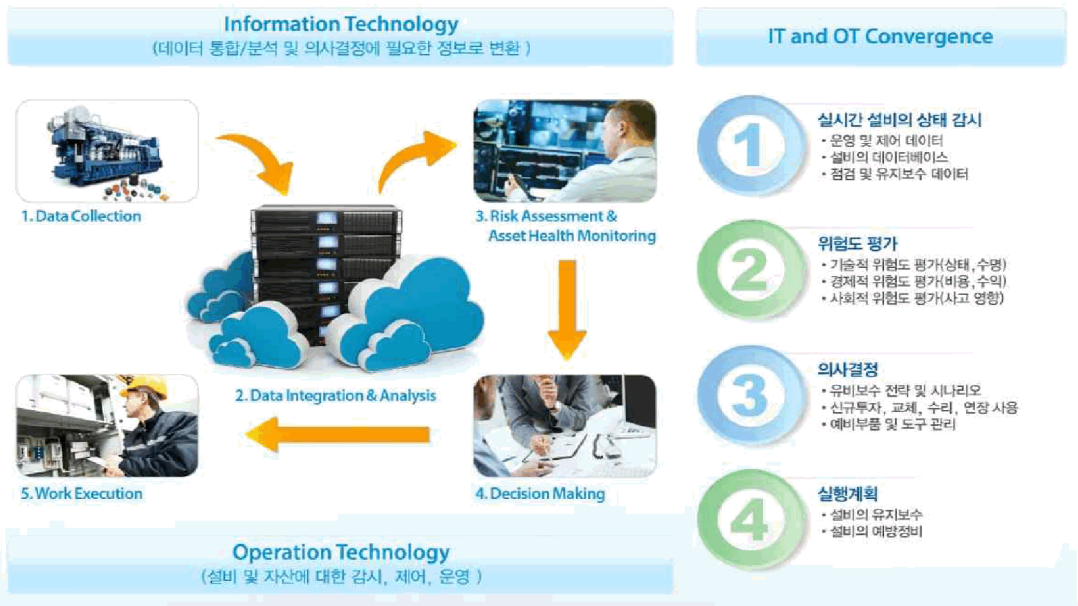
■ 예측 유지보수 사례 (효성 중공업 : ARMOUR)

- 효성중공업에서 개발한 AMOUR시스템은 IoT 센서를 통해 수집한 데이터를 분

4) <http://newsroom.posco.com>를 참고하여 정리

석하여 장비의 상태를 모니터링하고, 고장이 발생하기 전에 유지보수가 필요할 시점을 예측하고, 인공지능 기법을 활용해 과거 데이터를 기반으로 고장 패턴을 학습함

- 40년간 축적한 15,000건의 데이터를 기반으로 상태평가, 수명예측, 유지보수 및 교체 의사결정이 가능한 인공지능 기술 개발
- AI 알고리즘으로 설비 상태를 실시간 평가하고 이상 징후를 탐지함



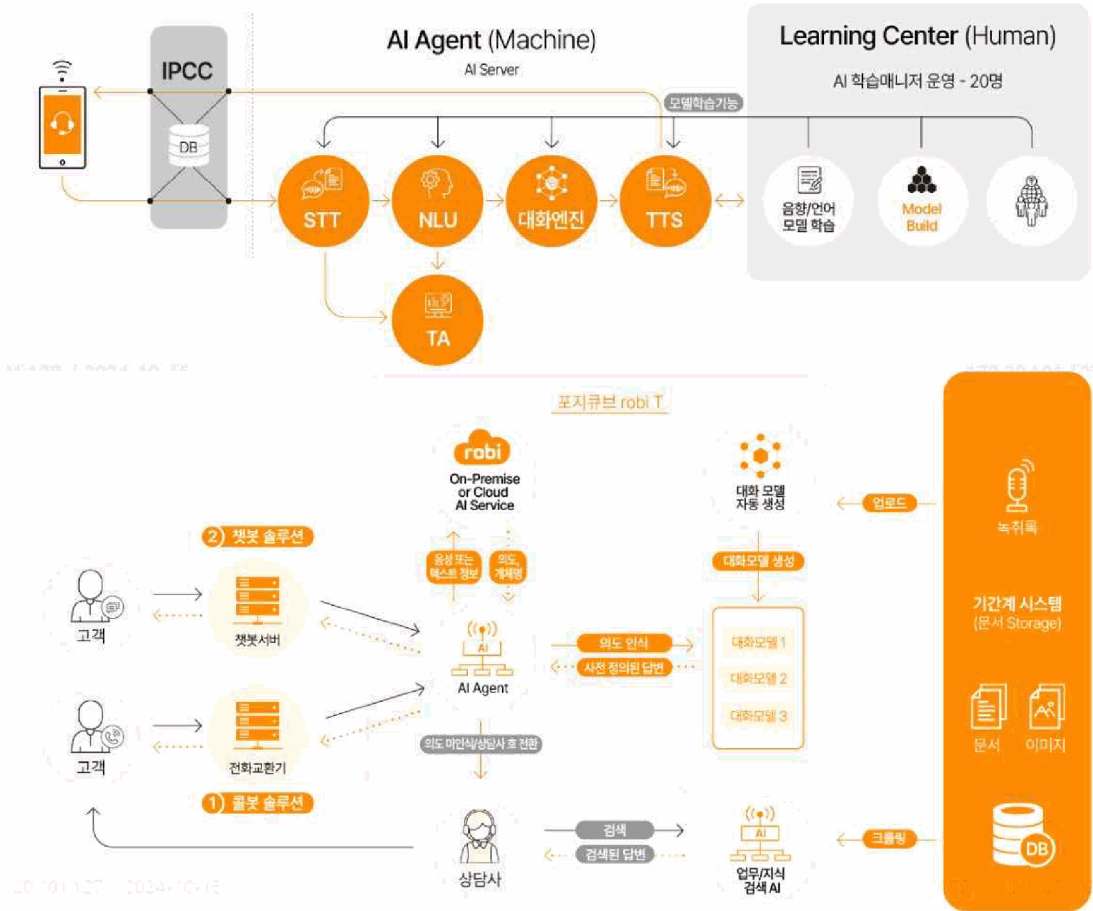
[그림 2-11] 효성중공업 '아모르' 운영 프로세스 (출처: 기술과 혁신, 2022.09.10.)

- 최신 버전인 AROUR+ 에서는 AI 기능을 강화하고 확장된 플랫폼으로 개발
 - 다양한 산업(스마트 에너지, 빌딩, 철도, 발전소 등)에도 유연하게 적용 가능
 - 실시간 전력 설비 상태 모니터링과 예측분석이 가능하여 화재 리스크, 고장 등을 사전에 경고할 수 있음
 - 예방 진단 및 자산 관리의 시너지 효과로 고장률을 낮추고 유지보수 비용을 절감

■ 자연어 처리(NLP) 디지털 신기술 활용 사례(아파트 아이: AI 컨텍센터)⁵⁾

5) 양동석 외, "LH 하자보수 통합관리 솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안", 토지주택연구원 보고서, 2024.

- 아파트 아이의 AI 컨택센터(AICC)는 아파트 관리비, 전자투표, 방문 차량 예약 등 공동주택 생활 지원 서비스를 제공하는 플랫폼임
- NLP(Natural Language Processing)을 활용하여 AI가 일관되고 표준화된 답변을 제공하여 상담 품질을 향상 시킴
- 아파트 아이의 AI 컨택센터는 건축물의 하자 신고서나 불만 제기 텍스트를 자동으로 분류하여 우선순위 선정
 - "배수구 막힘", "벽에 금이 갔다", "전기 배선 문제" 등의 하자 사항을 자동 분류하고, 그에 따른 보수 작업을 긴급도에 따라 우선순위를 정하여 지시
 - 콜봇과 챗봇을 하나의 AI 엔진으로 동작하여 통합 상담 관리가 가능, 또한 AI 학습센터에서전문 모니터링 요원이 AI 상담원의 오류를 검토하여 재학습시킴
- 현장 사진을 업로드하면 Vision AI가 균열, 누수, 곰팡이 등 하자 유형을 자동 탐지하고, 심각도(크기, 위치)의 정도를 산정하여 우선 순위에 맞게끔 작업지시 내용을 생성함
- LLM 기반 내부 챗봇이 매뉴얼, 과거 이력, 작업표준을 검색해서 관리자에게 제시(의사결정 지원), 민원 텍스트를 분석하여 반복 민원/재발 패턴 분석도 가능



[그림 2-12] 콜봇+챗봇 AI 엔진 서비스 프로세스 플로우 (출처: 포지큐브 홈페이지)

■ LLM을 활용한 하자유지보수 사례(대우건설 : 바로답)⁶⁾

- 바로답(BaroDAP)⁷⁾은 대우건설이 공동주택 하자접수·처리·소통을 디지털 기술로 통합하여 운영하는 고객 응대 및 하자 관리 플랫폼임
- 인공지능 기술을 활용해 방대한 양의 해외 EPC(설계,조달,시공) 사업의 입찰안내서(ITB, Invitation To Bid) 등을 자동 분석해 주고 고객 민원에 신속하게 대응
 - ‘Rule 기반 지식관리 시스템’을 대규모 언어모델(LLM, Large Language Model)을 활용하여 효율성을 고도화하고, 건설산업에 최적화된 검색증강생성(RAG, Retrieval-Augmented Generation) 기술을 AI 에이전트(Agent) 형태로 구현해 복잡한 계약 문제를 다양한 관점에서 분석할 수 있도록 함
 - 해외 프로젝트 사업 입찰 시 최대 7000여 페이지에 달하는 입찰문서를 신속하게 검토하기 위해서 “바로답”을 활용하여 인력 및 시간을 절감함



[그림 2-13] 대우건설 ‘인공지능 계약문서 분석시스템 바로답 (출처: 대우건설)

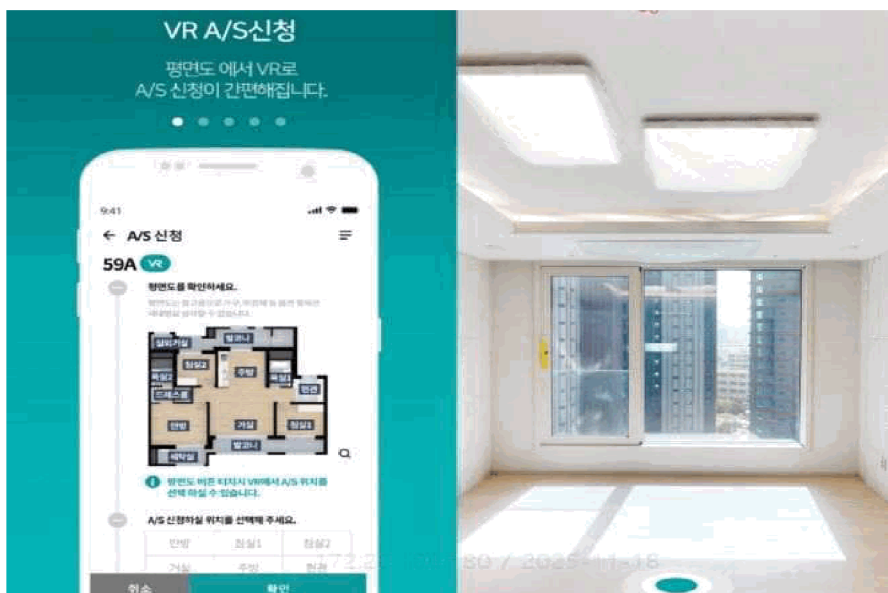
■ 메타버스 기술을 활용한 서비스(삼성물산 : 헤스티아 2.0)

- 삼성물산은 가상현실(VR) 기반의 헤스티아 2.0을 개발
 - 삼성 SDS와 메타버스 솔루션 기업인 ‘평행공간’은 협업을 통해 3차원 공간정보 기반의 디지털 트윈 기술을 적용
 - 3D (디지털 트윈) 기반으로 아파트 내부를 현실 세계와 흡사하게 경험 가능
 - 가구 배치나 인테리어를 고려할 때 원하는 부분의 길이(치수) 측정 가능

6) 양동석(2024), “LH 하자보수 통합관리 솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안”, 토지주택연구원 보고서

7) <http://www.cnbnews.com>를 참고하여 정리

- 입주민은 VR 화면에서 하자 위치를 터치해서 바로 AS 신청이 가능함
- 하자유형 사진을 등록하면 AI가 분류 및 업체 지정하고 -> 접수 유형에 따라 해당 엔지니어를 매칭 시킴
- 하루 24시간 어느 때든 민원을 제시할 수 있고 즉시 신속하게 대응하는 서비스로 만족도가 높음
- 디지털트윈, VR, AI 기술을 도입함으로써 주거 사업에서의 기술경쟁력과 고객 경험을 동시에 강화하고 있음



[그림 2-14] 삼성물산 헤스티아 사례 (출처: 한국경제)

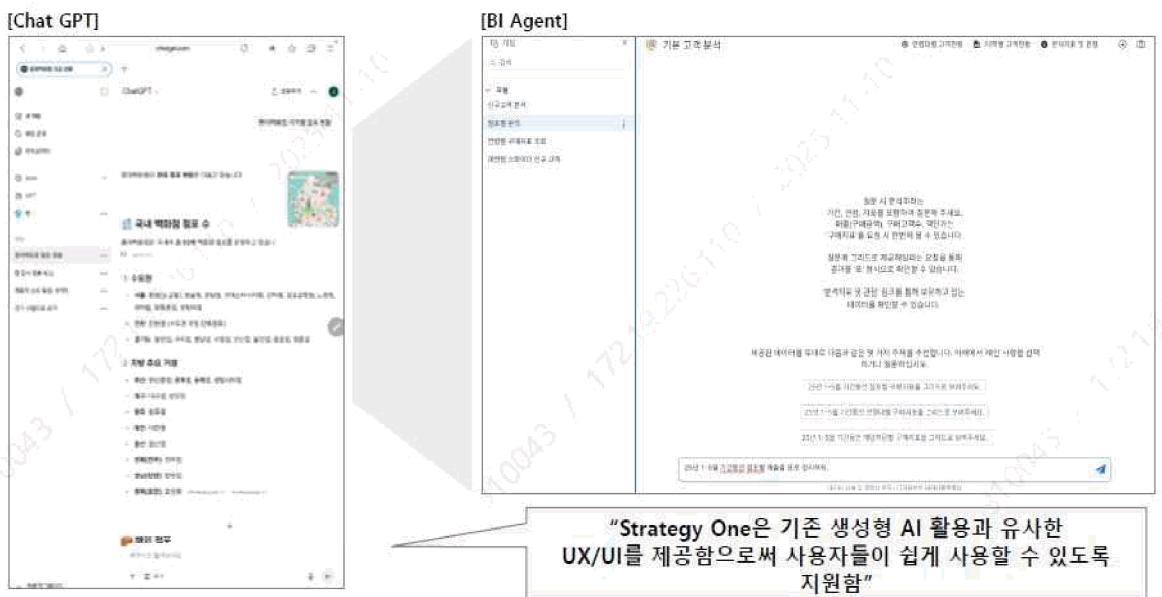
■ 데이터 활용으로 의사결정력을 높이는 BI Agent 사례 (롯데백화점)

- 목적 : 현업의 의사결정을 위하여 최적의 데이터를 찾아내고 올바른 판단 및 해석을 통하여 의사결정의 신뢰도를 높이고 생산성 향상
- 추진배경 : 순환보직으로 인해 담당자들이 자주 바뀌고 개인별 업무역량에 따른 생산성 미비, 복잡한 시스템으로 인해 반복작업 및 비효율적인 노력이 요구됨
- 활용기술 : 생성형 AI를 활용한 대화 기반의 분석 기능 제공, 분석 요청에 따른 빠른 결과 제공 및 단순 SQL 생성이 아닌 OLAP⁸⁾ 구조를 통한 메타관리
- 구축 : 현업분석가의 분석 Needs 기반 분석 주제별 데이터 마트 구축 > 신규데이

터 확보 및 결합(카드, 통신, 공공 데이터) > 내외부 결합 파생지표 설계 및 적재

○ 기대효과 : 현장 사용자들이 손쉽게 데이터 분석하여 업무에 활용

- 기존시스템의 진입장벽을 해소하여 사용자간 역량 격차 감소
- 질의 응답형 AI 분석으로 BI 사용 역량 강화
- 각종 외부 데이터를 활용한 복합적인 분석지표 활용 가능
- 활용도 높은 데이터를 제공하여 사용자의 작업시간 절감
- 기존 비효율 업무 축소하고 심층적인 분석업무에 집중



[그림 2-15] 롯데 백화점 LLM 기반의 BI Agent (출처:Strategy World 2025)

8) OLAP(Online Analytical Processing)은 대규모 데이터를 분석하고, 다차원적으로 조회하기 위해 설계된 시스템

25년 1~5월 기간동안 정보별 매출을 토로 정리해줘.

2024년 1월부터 2025년 5월 기간 동안 판매량과 매출을 분석한 결과입니다. 기간 동안 총 판매량과 매출이 증가했습니다. 그 중에서도 특히 25년 1~5월 기간 동안 판매량과 매출이 증가했습니다. 이는 고객들의 구매력이 증가했음을 시사합니다. 또한, 25년 1~5월 기간 동안 판매량과 매출이 증가했습니다. 이는 고객들의 구매력이 증가했음을 시사합니다.

기간	기간 (년)	판매량 (개)	매출 (만원)
2024년 1월	2024	1,200	120
2024년 2월	2024	1,500	150
2024년 3월	2024	1,800	180
2024년 4월	2024	2,000	200
2024년 5월	2024	2,200	220
2025년 1월	2025	2,500	250
2025년 2월	2025	2,800	280
2025년 3월	2025	3,000	300
2025년 4월	2025	3,200	320
2025년 5월	2025	3,500	350

총 판매량: 20,000개
총 매출: 2,000만원

"25년 1~5월 기간동안 정보별 매출을
표로 정리해줘"

"24년 구매했던 고객 중, 25년 1~5월에 또 구매한 고객의
매출, 객단가를 상품군별로 정리해줘"

"위 결과에서 연령대 정보를 추가해서 연령대별로 매출, 객
단가를 다시 정리해줘"

"25년 우수고객이 가장 많이 구매한 브랜드 20개를
보여주고 매출순으로 정렬해줘"

[그림 2-16] 롯데 백화점 LLM 활용의 예시 화면 - 보고서 작성 (출처:Strategy World 2025)

제3장 LH의 하자유지보수 디지털 신기술 적용

1. LH의 하자유지보수 디지털 신기술 활용 필요성

■ LH 하자보수 업무처리 시스템 분석

- LH는 한 해 88만건 이상의 유지보수 물량의 공동주택을 유지 보수해야 하며 매해 물량은 증가추세에 있음⁹⁾
- LH 입주품질관리시스템인 “QR(바로처리)”, 고객편의성을 위한 카카오톡 AS, 내부 업무 효율성을 위한 바로픽스 등 세 가지 프로그램으로 하자보수 업무를 수행하고 있으며 이들 기능을 통합한 모바일 통합솔루션을 개발 완료하여 시범운영하고 있으나 여러 문제점들을 내포하고 있음¹⁰⁾
 - 바로픽스(COTIS)의 문제점 : LH 담당자와 협력사만 사용함으로써 일반 사용자 접근이 안되며, 11개의 다른 업무를 병행에 따른 유지관리업무 최적화의 어려움 (COTIS 시스템 등록되는 하자 접수 건수는 1개월 평균 약 50만 건이 생성되고 있으며, 바로처리 시스템은 1년 약 16만 건이 접수되고 있음)
 - 바로처리(QR)의 문제점 : 입주시 점검에 효율적이거나, 내부 업무처리를 위해 관련 내용을 바로픽스에 다시 중복 입력 해야 하는 문제점 발생(데이터 연계 자동화 필요)
 - 카카오톡 AS의 문제점 : 고객방문일정관리, AS진행정보 제공 등 사용자 편의성을 도모하고는 있으나 내부 업무처리를 위해서는 바로픽스에 관련 정보 중복 입력 필요 (고객, LH업무담당자, 보수업체 간의 일괄 협업 및 소통이 이루어지지 않음 있음)
 - 이중정보망에 따른 문제점 : 공공클라우드를 통해 바로처리와 카카오톡 AS에서 발생하는 정보(고객, 업무담당자)는 외부망에 저장되고 있으며, 바로픽스는 내부망에서 관리되고 있어 상호간의 데이터연계 및 분석이 되고 있지 않음

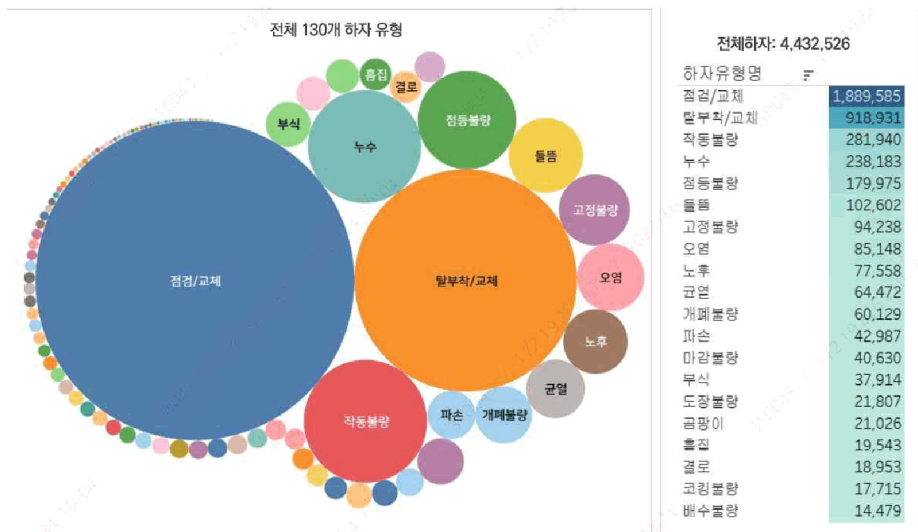
9) 이상훈외(2024), “스마트 AI 기술을 활용한 주택 유지보수 공사 통합관리솔루션 연구”, 토지주택연구원

10) 양동석외(2024), “LH 하자보수 통합관리솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안”, 토지주택연구원

■ LH 하자유지보수 데이터 특성¹¹⁾

○ 2023년 3월~6월까지 등록(4,432,526건)된 하자 이미지를 기준으로 LH 하자 보수 업무처리시스템 바로픽스(COTIS)에 등록된 하자보수 데이터들의 특성은 다음과 같음

- 하자공종별 하자발생에서는 건축 > 전기 > 기계 > 통신 > 토목 > 조경의 순으로 하자가 많이 발생하고 있음
- 건축의 경우 점검교체 > 누수 > 들뜸 > 오염 > 노후 등의 순으로 하자가 많이 발생하고 있음
- 전기의 경우 탈부착/교체 > 점등불량 > 고정불량 > 파손 > 누전 등의 순으로 발생
- 기계의 경우 점검교체 > 누수 > 작동불량 > 배수불량 > 고정불량 > 역류 > 부식 > 막힘 등의 순으로 하자가 발생함
- 하자공사 종류별 발생 건수는 퇴거공사 > 조명설비공사 > 도배공사 > 창호공사 > 방수공사 > 소방설비공사 > 장기수선 > 교체공사 등의 순으로 나타나고 있음
- 전체하자 중 130개 하자 유형 중 주요 하자유형 발생건수는 그림에서처럼 점검교체 > 탈부착/교체 > 작동불량 > 누수 > 점등불량 > 들뜸 > 고정불량 등의 순으로 나타나고 있음



[그림 3-1] 하자보수 유형별 발생 건수 (출처: LH 내부자료)

11) 양동석외(2024), "LH 하자보수 통합관리솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안", 토지주택연구원

- 특히, 기존 COTIS에 등록된 하자 이미지의 경우 전체 하자 이미지 4,432,526건 중 81%에 해당하는 3,579, 843건이 이미지를 분류할 수 없는 유형(점점교체, 탈 부착교체, 작동불량, 점등불량, 노후 등)으로 나타나고 있어서 인공지능 모델을 학습하거나 테스트할 수 있는 데이터로 활용이 어려움
- 등록된 데이터의 경우 입주민과 매니저의 판단 기준이 다른 이유로 하자유형의 일관성 없는 분류가 많음



[그림 3-2] 하자 유형 임의 분류 및 육안 확인 어려운 이미지의 예(참고: (양동석, 2024))

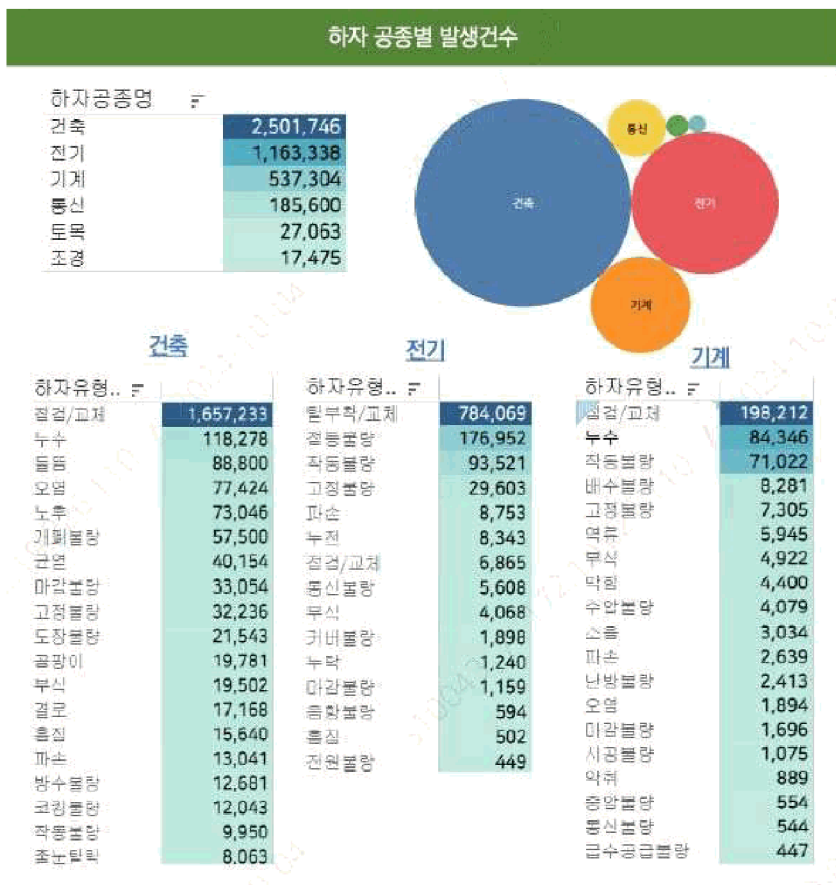
- COTIS에 등록된 하자 이미지의 경우 분류할 수 없는 이미지가 많고 실제 하자유형으로 분류되지 않거나 하자유형이 같은 경우에도 다르게 분류되어 등록된 경우가 많음



[그림 3-3] 같은 유형을 다른 유형으로 분류한 하자 유형(예:도배불량)(출처:내부자료)

고 담당자 역시 고객의 입력한 항목을 다시 확인하여 재분류하고 보수업체를 배정하는 단순 작업을 반복하고 있는 실정이어서 이를 해결하기 위한 디지털 신기술을 통한 자동화로 업무 효율을 높여야 함¹²⁾

- 하자유형을 선택하기 위한 기존 바로픽스(COTIS)의 분류체계의 경우 공간을 선택하고 부위자재를 분류한 후 하자유형 3,580 종류로 복잡하게 구성되어 있어 입주인이 하자공간이나 유형을 선택하는데 어려움이 있음
- 바로픽스와 바로처리 시스템에서 수집되는 하자 이미지의 해상도나 크기가 다양하여 하자유형을 자동분류하기 위해선는 수집단계에서 표준화된 이미지 생성이 필요
- 하자유형을 사용자가 손쉽게 선택할 수 있는 3D 환경이나 메타버스 환경의 지원이 요구 되어짐



[그림 3-5] 하자공종별 발생건수의 예(참고: LH 내부자료)

- 하자 유형 중 이미지로 표현할 수 없는 경우가 많은 데 이를 디지털 신기술 기반으로

12) 양동석외(2024), “LH 하자보수 통합관리솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안”, 토지주택연구원

해결할 수 있어야 함

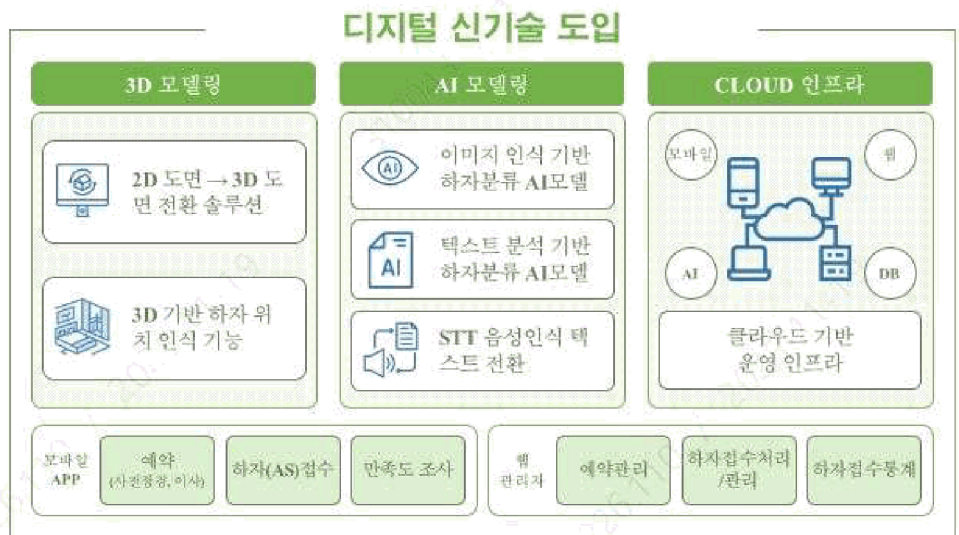
- 이미지만으로는 유형을 분류할 수 없는 소음, 점검, 탈부착불량, 작동불량, 점등불량, 마감불량, 역류 등의 사용자들이 하자 요청 시 어려움이 있음
 - 사용자들이 글이나 말로 편리하게 서술하고 이를 기반으로 어떠한 하자 유형인지를 자동으로 분류할 수 있는 인공지능 기술 필요
 - 해당 유형들을 학습할 수 있는 데이터 확보 및 분류 알고리즘 개발 필요
- LH 하자유지보수 제공되지 못한 서비스 : 하자보수 관련 분석을 통하여 하자보수 시기를 예측하고 미리 서비스할 수 있는 체계를 갖추고 있지 못함

2. LH의 하자유지보수 업무에 적용된 디지털 신기술

1) LH 하자보수 통합관리 솔루션

■ LH 하자보수 업무에 도입된 디지털 신기술

- LH는 ‘23.11 ~ ’25.03(17개월) 기간 동안 “LH 공분·공임 모바일 하자보수 통합 관리솔루션 개발” 용역을 통하여 하자보수 통합관리솔루션 개발을 진행함
- 공사는 하자보수 업무에 크게 세가지 디지털 신기술인 3D 모델링, AI 모델링, 클라우드 인프라 기술을 도입하고 있음
 - 3D 기반으로 사용자가 쉽게 하자의 위치를 인식할 수 있도록 3D 환경을 제공하고 있으며 2D 도면을 3D로 전환할 수 있도록 하고 있음
 - 인공지능 모델을 활용하여 학습을 통해 사용자가 업로드한 하자 이미지를 자동으로 어떤 유형인지 분류하는 기능을 제공하고, 자동 분류의 보완으로 텍스트 중심의 내용을 분석하여 하자 유형을 분류하는 기능을 추가하고 있음
 - 특히, 클라우드 기술을 활용하여 효율적인 자원 운영을 도모하고 있음
 - 또한, 하자보수 스케줄관리를 효과적으로 하기 위해 자동 스케줄링 인공지능 기술 도입
 - 일위대기를 연계한 하자보수 내역서 자동 생성 부분에 인공지능 기술 도입



[그림 3-6] 하자유지보수 업무에 도입된 디지털 신기술

■ 3D 공간 에디터를 활용한 3D 공간생성 및 하자정보 연결

- 단지정보, 준공도면, 부위자재 등의 정보를 3D 에디터를 통하여 3D 공간을 생성하고 사용자는 3D 공간 상에서 하자유형을 위치나 상세정보를 획득하여 쉽고 편리하게 하자를 신고할 수 있음
 - 준공도면 데이터(CAD, PDF, 이미지)들을 수집하고 주택정보(단지, 동호, 세대타입 등)를 매핑한 후 공간별 3D 객체 생성
 - 공간별 부위자재 생성(PL창호, 문, 싱크대 등)
 - 모바일 3D 뷰어 적용하고 공간선택 기능(공간>위치>부위)을 제공함



[그림 3-7] 3D 공간 생성 과정(출처:내부자료)

- 3D 공간을 제공함으로써 직관적인 하자 위치를 표시하여 하자의 정확한 위치와 범위를 정확하게 파악 가능함

- 3D 모델은 실제 공간과 유사하게 구현되어 2D 평면도에서 표현할 수 없는 청장 등을 3차원 자료로 표시 가능



[그림 3-8] 공간, 위치, 부위를 3D 모델상에서 확인하여 선택(출처:LH 내부자료)

■ 하자유형 자동 분류 및 스케줄링, 내역서 자동화를 위한 인공지능 도입

- 그림에서처럼 하자처리 업무에서 인공지능 모델을 활용하여 하자유형 자동 분류, 보수 일정 관련 스케줄링 생성, 보수공사 완료 후 내역서 자동산정 등의 기능을 제공하고 있음
- 인공지능의 분류모델 중 다양한 객체와 실시간 객체 탐지에 유용한 YOLO(You Only Look Once) 계열의 YOLOv7¹³⁾ 모델을 선정함
- 등록된 이미지로 하자 유형 분류가 어려울 경우 그림에서처럼 텍스트 분류모델을 병행하여 하자유형 분류의 신뢰성을 높이려고 함
 - 하자 이미지와 함께 등록된 하자관련 내용의 텍스트를 분석하여 하자유형 분류를 보완할 수 있도록 함

13) 이미지를 그리드로 분할하고, 각 그리드 셀에서 객체의 경계상자(bounding box)와 클래스를 예측하는 방식

-
- The flowchart is organized into four main columns representing different system components:
- 주민 (Resident):**
 - 하차발견 (Problem Discovery)
 - 사진 촬영 (Photo Taking)
 - 이미지 기반 하자예측 (Image-based Defect Prediction)
 - 텍스트 입력 (Text Input)
 - 텍스트 기반 하자예측 (Text-based Defect Prediction)
 - 하자단원 등록 (Defect Unit Registration)
 - 관리소 (Management Office):**
 - 하자접수 내역조회 (Defect Report History Check)
 - 하자예안 (Defect Proposal)
 - 이결여부 (Decision on Proposal)
 - 차체처리 (Vehicle Handling)
 - 보고서 작성 (Report Writing)
 - LH 지역본부 (LH Regional Head Office):**
 - 하자접수 내역조회 (Defect Report History Check)
 - 보수업체초회 (Initial Business Meeting)
 - 보수지시 (Business Assignment)
 - 보수업체 (Business):**
 - 보수지시 내역조회 (Business Assignment History Check)
 - 보수가능 (Business Feasible)
 - 하자유형 및 규모판단 (Defect Type and Scale Judgment)
 - 경화자 방문 일정 제언 (Recommendation for Hardening Visit Schedule)
 - 경화자 방문 (Hardening Visit)
 - 경화자 방문 일정 제언 (Recommendation for Hardening Visit Schedule)
 - 경화자 방문 (Hardening Visit)
 - 보수원 사전촬영 (Pre-visit by Repairman)
 - 보수소요일/인력수시배정 (Assignment of Repair Time/Personnel)
 - 가능일정 조회 (Check Available Schedule)
 - 보수방문일정 선택 (Select Repair Visit Schedule)
 - 작업시작/작업완료 (Start/End of Work)
 - 보수공사완료 (Completion of Repair Work)
 - 내역지 작성 (업비트기입) (Write History (Input to Upbit))
 - 보수 내역 조회 (Check Repair History)
- The flowchart uses various shapes to represent different types of steps: rectangles for processes, diamonds for decisions, and cylinders for data storage. Arrows indicate the flow of the process. A red box highlights the Resident and Business sections, and a yellow box highlights the Business section. A green box highlights the Management Office section. A blue box highlights the Local Government section.

AS유형 판별 프로세스

```

graph TD
    A[이미지 식별 가능] --> B[사진촬영]
    B --> C[이미지 모델 판별]
    C --> D{예}
    D -- 아니요 --> E[점검사항 입력]
    E --> F[텍스트 모델 판별]
    F --> G{판별여부}
    G -- 불가 --> H[AS유형 직접선택]
    G -- 정상 --> I[점검사항 입력]
    I --> J[AS유형결과 표시]
    
```

AS유형 판별 결과 화면

이미지 판별 결과

이미지 판별결과와 '예' 선택 시 AS유형 '흠집' 자동 적용

텍스트 판별 결과

이미지 판별 불가 시 입력 텍스트 분석 후 '흠집' 자동 적용

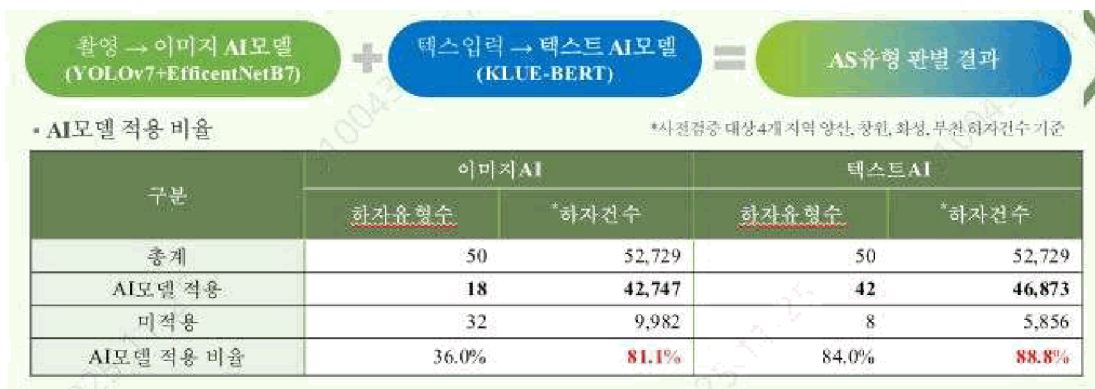
AS유형 직접 적용

이미지 및 텍스트 판별 결과가 다른 경우 직접 선택

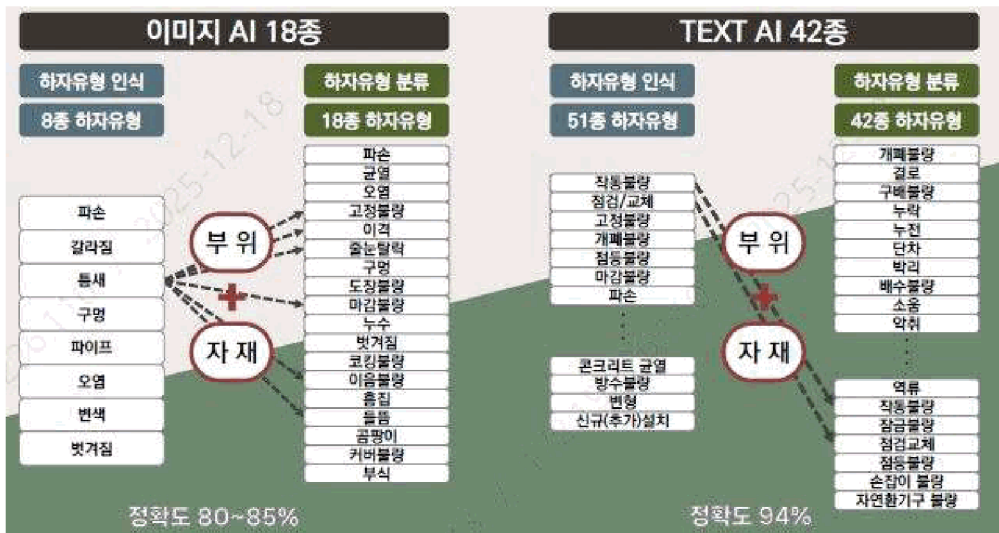
- 텍스트를 분석하기 위해서 딥러닝 모델 중 한국 자연어 처리를 위해 학습된 언어

모델 중 KLUE-BERT 모델을 선정함

- 언어모델의 경우 어떤 데이터를 가지고 학습하느냐에 따라서 특정 분야의 성능 차이가 있어서 하자 민원의 데이터들과 유사한 “청원” 데이터들로 구축된 KLUE-BERT 모델이 적합할 것으로 보여 선정됨
 - 데이터의 일관성을 높이고 분석 정확도를 위해 단어의 표준화 작업 수행 (예: 화재 경보기(화재경보기, 경보, 싸이렌))
 - 50종 제외 나머지 데이터의 양이 없는 관계로 학습 불균형 초래를 해결하기 위해 50종의 하자유형으로 모델을 학습시킴
- AI 모델을 시험 적용한 결과는 그림에서처럼 4개지역(양산, 창원, 화성, 부천)을 중심으로 하자신고된 건수에 대해 50가지 유형에 대한 결과를 나타내고 있음
- [그림 3-11]은 이미지 AI 모델 적용은 50가지 하자유형 중 18가지 하자유형에 대해 하자건수와 81.1%의 적용율을 텍스트 AI 모델 적용은 42종의 하자유형에 대해 88.8%의 적용율을 나타내고 있음
 - [그림 3-12]에서는 이미지 분류 및 텍스트 분류 결과를 나타내고 있는데 이미지 분류 정확도는 80~85%, 텍스트 분류 결과는 94%의 정확도를 보이고 있음



[그림 3-11] 하자유형 이미지 및 텍스트 자동 분류 테스트 적용 (출처: LH내부자료)



[그림 3-12] 하자유형 자동분류 정확도 결과(출처:LH 내부자료)

■ 인공지능을 활용한 하자 보수 일정 스케줄링 자동화¹⁴⁾

○ 인공지능 모델을 통한 하자 보수 일정 스케줄링 자동화 기술 적용

- 하자처리 정보를 기반으로 하자처리 일정을 자동화함
- 입주민에게 하자유지보수업체에서 산정한 소요일/인력수 등을 자동 제시 하고 선택할 수 있도록 함
- 신뢰성 및 정확성을 보장하기 위해서는 보수지시일, 보수완료일자, 하자내용, 작업자, 보수투입일자, 보수기간, 투입인력수, 보수가능일자 등의 데이터베이스 확보가 요구됨
- 현재는 투입인력 수, 업체 작업 일정 등에 대한 데이터베이스가 없는 관계로 “하자 보수 가능일자” 도출이 어려운 상황이지만 향후 해당 데이터 구축에 따른 인공지능 모델이 학습함으로써 기능을 구현 할 수 있음

○ 하자보수 자동 스케줄링 생성 프로그램의 프로세스는 다음과 같음

- 민원정보 접수 후 AI 유사도 기반으로 유사한 정보 추출
- 해당 보수내역을 중심으로 보수기간 및 투입인력 수 산정
- 각 보수 업체의 보수가능 일정을 추천

14) 양동석 외(2024), “LH 하자보수 통합관리솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안”, 토지주택연구원



[그림 3-13]하자보수 자동 스케줄링 생성 프로세스(출처: (2024, 양동석외))

■ 하자 보수 내역서 자동화를 위한 인공지능 기술 활용¹⁵⁾

- 하자 보수공사에 대한 내역서 작성시 인공지능 모델을 활용하여 자동으로 보고서 작성
 - 세부내역서 해당공사와 유사한 일위대가를 연동하여 자동 산정하는 기능 제공
 - 하자 처리 자재의 규격, 단위, 수량, 자재비, 노무비, 경비 등의 데이터들을 활용함
 - 하자 접수정보, 하자 처리내역, 일위대가 등을 자동으로 생성
- 현재 내역서는 수기로 기록되고 시스템 등록이 안되고 있기 때문에 향후 관련 데이터들의 DB 구축이 요구됨
 - 일위대기 세부내역서는 지역본부별로 상이한 형태이기 때문에 데이터 취합을 위한 구조화가 요구됨(입력 및 출력 표준화 양식 구성 필요)
 - 보수업체의 작업일정 및 보수시작/종료일자, 투입인력 수 등 DB화가 요구됨

15) 양동석외(2024), “LH 하자보수 통합관리솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안”, 토지주택연구원

서울 북부권 세부내역서													
○ 조사명 : 서울 북부권 환경공정 유지보수공사(일반)													
종별	단위	구분	단위명	종목	구분명	입찰번호				입찰금액		차입	
						개 투 번호				총액	금액	잔액	
						가	나	다	라			가	나
1	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
2	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
3	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
4	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
5	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
6	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
7	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
8	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
9	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
10	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
11	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
12	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
13	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
14	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
15	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
16	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
17	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
18	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
19	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
20	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
21	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
22	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
23	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
24	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
25	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
26	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800	입찰번호	220919-21-00621			입찰금	100	100	0
27	북부권	환경공정	구리시청(구리시청소)	200	800								

[그림3-14] 보수공사 세부 내역서의 예 (출처: LH 내부자료)

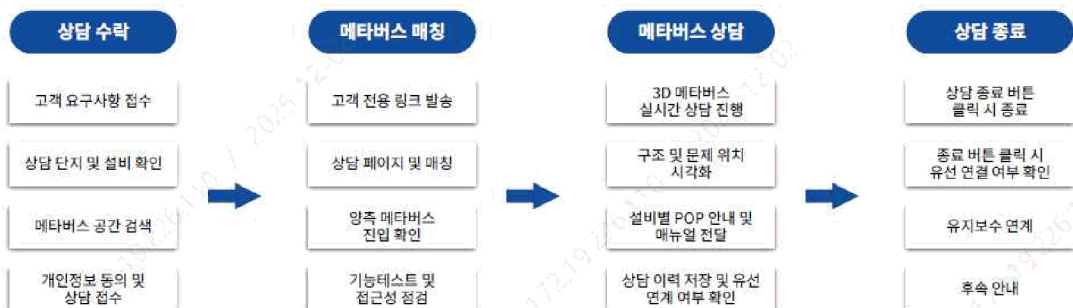
하자내용 정보		과거 세부내역서 조회																																											
하자내용: 육실타일 균열	<table border="1"> <thead> <tr> <th>공종</th> <th>단지</th> <th>동</th> <th>호</th> <th>접수내용</th> <th>명칭</th> <th>규격</th> <th>단위</th> <th>수량</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>일반</td> <td>A단지</td> <td>A동</td> <td>A호</td> <td>타일균열</td> <td>(보수)씰링재충진</td> <td>(제거+충진), 실리콘계내공망이성, 삼각10×10</td> <td>m</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>일반</td> <td>B단지</td> <td>B동</td> <td>B호</td> <td>타일균열</td> <td>(보수)비닐보양</td> <td>(PE필름 0.06MM 1겹)</td> <td>m2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> </tbody> </table>									공종	단지	동	호	접수내용	명칭	규격	단위	수량	일반	A단지	A동	A호	타일균열	(보수)씰링재충진	(제거+충진), 실리콘계내공망이성, 삼각10×10	m	1	일반	B단지	B동	B호	타일균열	(보수)비닐보양	(PE필름 0.06MM 1겹)	m2	3	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
공종	단지	동	호	접수내용	명칭	규격	단위	수량																																					
일반	A단지	A동	A호	타일균열	(보수)씰링재충진	(제거+충진), 실리콘계내공망이성, 삼각10×10	m	1																																					
일반	B단지	B동	B호	타일균열	(보수)비닐보양	(PE필름 0.06MM 1겹)	m2	3																																					
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮																																					

[그림3-15] 공사 내역서 자동생성에 요구되는 자료(출처: LH 내부자료)

2) 디지털 신기술 기반의 LH 유지보수 상담 플랫폼

■ LH 차세대 유지보수 상담 플랫폼 구축에 도입된 디지털 신기술

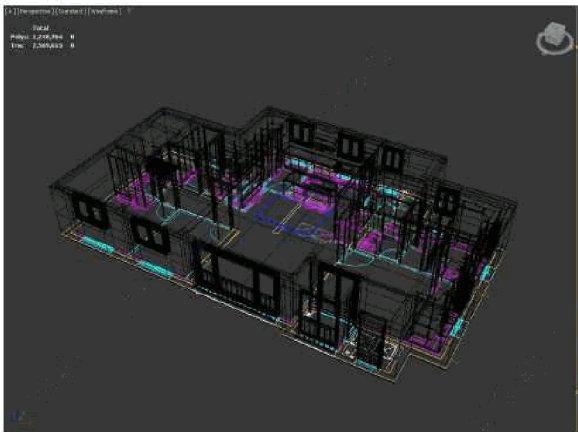
- LH 주거복계획처에서는 “미래기술을 활용한 유지보수 서비스 플랫폼 구축 용역(‘25.7 ~ ’26.2)”을 수행 중임
- 주거시스템의 복잡화로 인해 하자유지보수 상담 시 업무의 효율화 및 신속 정확성을 높이기 위해 메타버스 기술 및 비전 AI 디지털 신기술 적용
 - 주거시스템의 시설물 증가(월패드, 층간소음탐지기, 스마트 스위치, 동체 감지기 등)로 인한 복잡성으로 상담 난이도 증가
 - 유지보수 접수 건수가 '22년 74만건에서 '23년 100만건으로 약 35.7% 상승
 - 고객이 구두로 설명하고 상담원이 전달하는 방식은 휴먼 에러 발생 가능성이 높음
 - 메타버스 환경을 제공하여 고객과 상담사가 동일한 3D 공간을 공유하며 의사소통을 함으로써 하자 위치를 직관적으로 확인 가능
 - 고객이 제출한 하자 이미지에 대한 비전 AI 기술을 활용하여 신속 정확하게 분류
- 메타버스 상담은 크게 상담 수락, 메타버스 매칭, 메타버스 상담, 상담 종료 4단계로 구성되며 요청 접수부터 실시간 상담, 사후 조치까지 일관된 절차로 운영됨
 - 상담사가 고객주소, 단지, 시설물 유형 등 정보를 메타버스 검색 전용 홈페이지에서 선택하면, 적합한 메타버스 공간목록이 자동으로 검색됨
 - 생성된 공간은 자동으로 고유 URL로 변환되어 실시간으로 고객에게 전달되고 클릭시 웹 기반 메타버스에 바로 접속
 - 접속한 고객과 상담사의 세션은 동일 코드 기반으로 자동 매칭되어 메타버스 내에서 동일 공간으로 연결됨



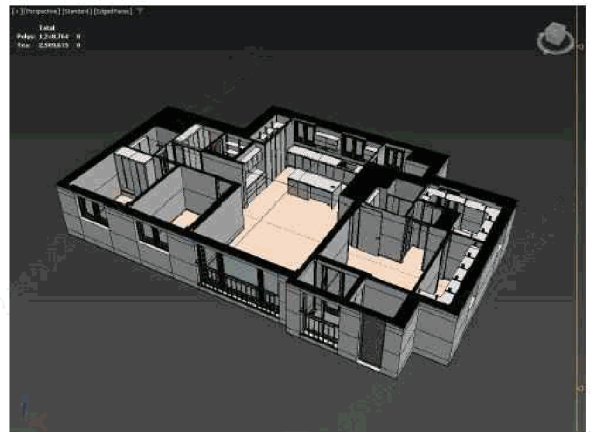
[그림3-16] 하자유지보수 메타버스 상담 프로세스(출처: LH 내부자료)

○ 메타버스 구현을 위한 3D 콘텐츠는 실제 공간 도면 기반의 정밀한 모델링이 요구되어짐

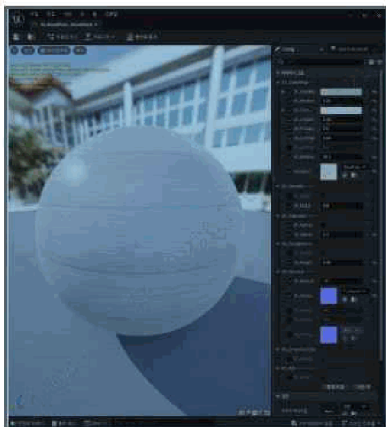
- 도면 기반의 구조적 정확성을 확보한 뒤, 실측기반의 골조를 생성하여 신뢰도 높은 환경을 구축함
- 실내 공간의 자재 질감 및 마감 상태를 현실감 있게 재질 텍스처링 작업 등 고객과 상담사간 정보 인식 격차 해소를 위한 기능 제공
- 실내공간과 유사한 조명, 재질, 구조 표현을 적용한 상담용 가상 환경 구축



정확한 제작을 위한 도면 바탕 작업



건축골조 완성



자체 재질 템플릿 활용



모델링 파일 임포트



재질 및 텍스처링 적용

[그림3-17] 메타버스 환경 구축의 예 (참고: 내부자료)

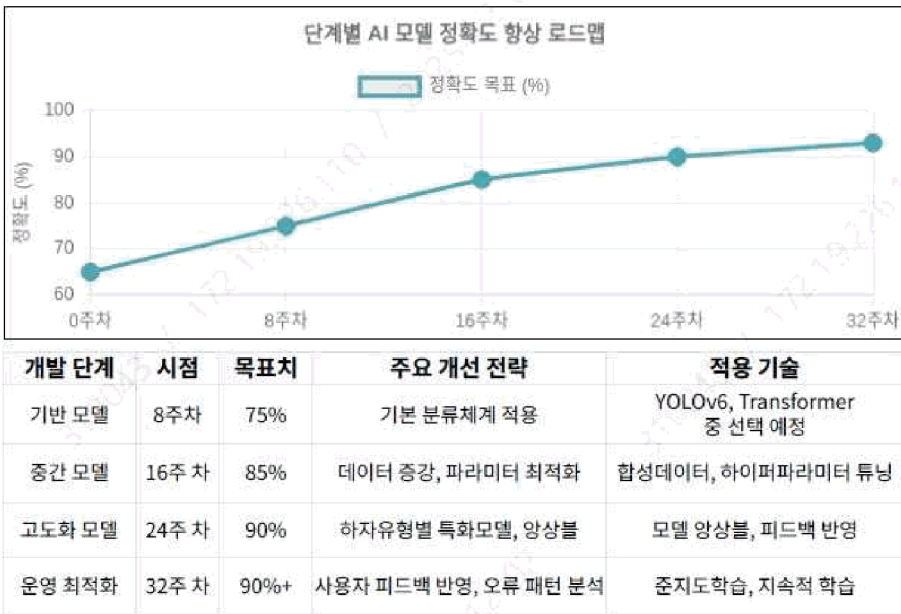
○ 메타버스 화면 구성은 고객과 상담원 모두 직관적이고 쉬운 인터페이스를 제공할 수 있어야함

- 고객은 자유 탐색과 콘텐츠 확인이 가능하고 상담원은 화면 제어와 안내 중심의 상담을 진행할 수 있음
- 메타버스의 콘텐츠는 웹 및 모바일 환경에서 별도의 설치 없이 일관된 사용자 경험(UX) 및 사용자 인터페이스(UI)를 제공함



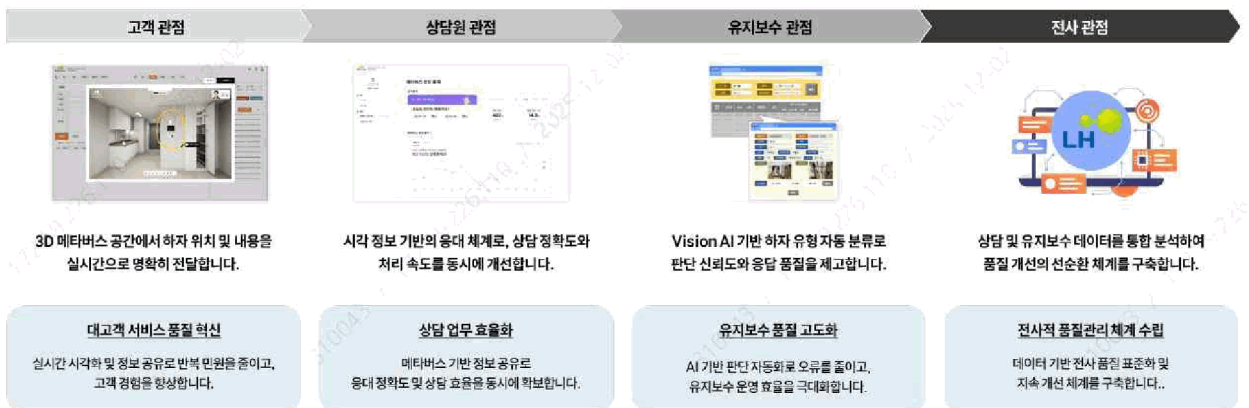
[그림3-18] 메타버스 환경의 사용자 인터페이스(출처: LH 내부자료)

- 하자 이미지에 대한 유형 자동 분류를 위해 기존 모델을 개선한 LH 하자보수 특화 AI 시스템을 개발 예정임
 - 기 보유 사전인식 모델을 기반으로 프로젝트 수행기간동안 고성능 비전 AI 모델 개발을 목표로 함
 - 하자유형별 특화 모델과 통합 모델 병행 개발 예정
 - 최종 개발기간 완료 후 정확도 목표를 90% 이상으로 설정함



[그림3-19] 비전 AI 디지털 신기술 적용 개발 목표 설정(출처: LH 내부자료)

- 메타버스와 비전 AI 디지털 신기술 기반의 상담 플랫폼 개발은 고객응대부터 유지보수까지 전과정을 데이터 기반으로 고도화 함
 - 실시간 시각화 및 정보 공유로 반복 민원을 줄이고 고객 경험을 향상 시킴
 - 응대 정확도 및 상담 만족도 향상시킴
 - 유지보수 운영 효율을 극대화
 - 데이터 기반의 전사 품질 표준화 및 지속 개선 체계를 구축



[그림3-20] 상담 과정에서 데이터 신기술 활용 시 기대 효과

제4장 LH의 하자유지보수 디지털 신기술 통합 방향

1. LH 하자유지보수 디지털 신기술 통합 기본 방향

■ 통합 기본 방향 수립

- 초기 통합 단계에서 목표 KPI(하자건수, 유지비, 업무 처리 시간 등)를 효과적으로 달성할 수 있도록 방향 설정
- 인공지능 모델의 학습 데이터 표준화 및 데이터베이스 구축
- BIM, 디지털 트윈 등 향후 연계성을 위한 통합 방향 수립
- 하자유지보수 관련 시스템들 통합 및 연계 방안 도출
- 데이터 거버넌스(접근 권한, 보안, 개인정보 보호 등) 및 입주자 동의 체계 확보
- 데이터 품질 및 인공지능 분석에 따른 결과의 신뢰도 확보 필요
- 사용자의 디지털 수용성을 감안한 사용자 인터페이스 개발
- 초·중·장기별(단계별 추진 전략) 통합 방향 수립
- 개인정보, 영상데이터 관련 규제 준수(CCTV, 실내 센서 등)

■ 발전 방향 로드맵

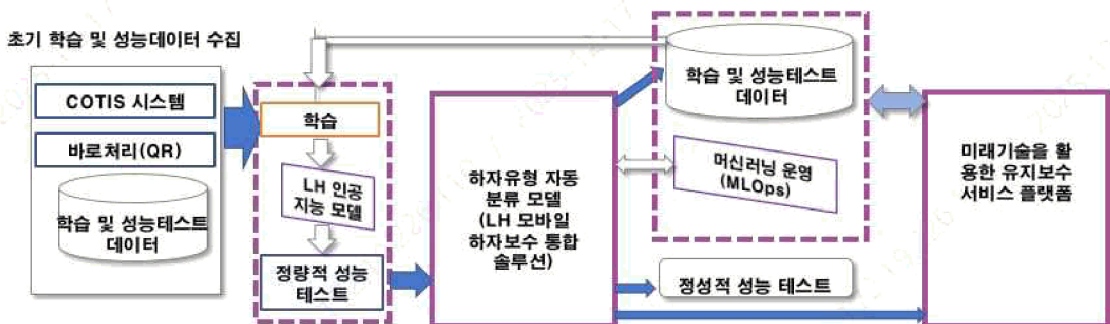
- (단기) 입주자 하자접수 자동화 및 하자유형 자동분류, 단지별 3D 또는 메타버스 축적 등의 시스템 활용을 통한 민원 처리시간 단축
- (중기) 공용부 IoT 센서 구축, 대시보드를 통한 상태 모니터링 등을 통한 고장 누수 등 조기 대응
- (장기) BIM 기반 디지털 트윈 구축을 통하여 유지보수 예측 및 장기수선충당금 최적화와 에너지 효율 극대 등 고도의 서비스를 통한 사용자 만족도 향상

2. LH 하자유지보수 디지털 신기술 통합 방향

1) 하자유지보수 관련 인공지능 모델의 통합

■ 하자보수 통합솔루션에서 개발된 모델의 활용

- LH는 하자보수 통합솔루션에서 하자유형 자동 분류를 위해 개발된 인공지능 모델에 대해 시범운영 및 성능평가를 통하여 실효성을 검증하고 이를 유지보수 상담 플랫폼의 하자유형 분류에 활용
- 성능평가 체계를 갖추어 설정된 성능지표를 달성 할 경우, 이 모델을 통합하여 양 시스템에 적용하는 방향으로 함
- 인공지능의 실용성을 검토하기 위해서는 성능지표를 기반으로 학습된 인공지능 모델의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있어야 함
- 특히, 새로운 모델 변경이나 변경된 학습데이터를 추가하여 재학습함으로써 개선된 모델을 개발하는 단계가 요구됨
 - 하자유형 분류에 있어서 학습데이터의 구성이 중요한데 초기 데이터는 COTIS 및 바로처리 시스템에 등록되어 있는 데이터 중 분류가 명확한 데이터들을 활용
 - 학습데이터의 경우, 시스템 운영 과정에서 학습데이터와 성능테스트 데이터를 구분하여 축적하고 이를 다시 이용하여 재학습하는 과정을 통하여 모델을 성능을 향상시킬 수 있어야 함
 - 초기 모델의 성능평가는 정량적 테스트 위주로 수행하고 향후 시스템 운영에 따른 정성적 평가를 함으로써 실효성 및 효과를 파악할 수 있어야 함



[그림 4-1] 인공지능 모델의 통합

- 인공지능 모델의 지속적인 성능 개선을 위해서는 확보된 데이터로 재학습을 수행하고 성능평가를 한 후 배포하는 자동체계(MLOps¹⁶⁾)를 갖출 수 있어야 함
- 상담서비스 플랫폼에서 활용하고자 하는 하자유형 자동분류 인공지능 모델은 새롭게 개발하기 보다는 하자보수 통합솔루션에서 개발된 모델을 개선하여 활용하는 것이 효과적이라 판단됨
 - 두 시스템에서 활용하는 인공지능 모델은 통일시켜 운영하는 것이 향후, 재학습을 통한 모델 성능개선 등에 효과적임
 - LH 하자보수 유형의 경우 분류체계를 개선하여도 다양한 하자유형에 대해 정확도만으로는 성능체크가 어렵고 수준 높은 재현율을 확보할 수 있어야 함

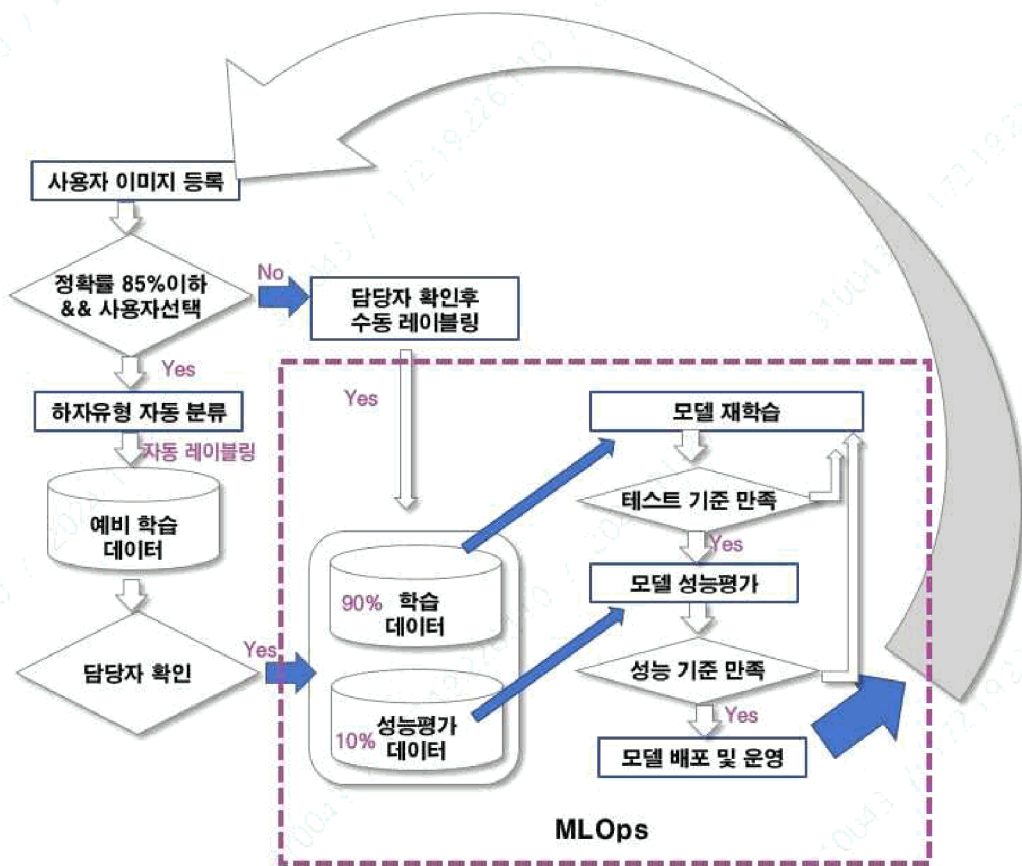
■ LH 하자유형 분류 인공지능 모델 활용을 위한 성능평가 체계 구축

- 하자유형 분류의 성능평가를 위해서 체계적 접근이 요구 되어지고 테스트 결과 정확성 지표만으로는 실용성 및 신뢰성 평가가 어려움
- 하자유형간 빈도수가 낮거나 복합 하자유형의 경우 성능평가에 어려움이 발생
- 선행연구¹⁷⁾에서 제시한 정량적 성능지표 뿐만 아니라 정성적 성능지표에도 부합할 수 있도록 인공지능 모델을 학습시키고 개선하여야 함
 - 하자유형 클래스별 85% 이상의 정밀도를 나타내고 재현율의, 경우 90%이상의 성능을 제공할 수 있어야만 실효성을 확보할 수 있다고 판단됨
 - 성능 확보를 위해서는 시스템 운영 후에도 표준화된 분류체계 및 충분한 학습데이터를 지속적으로 축적할 수 있어야 함
 - 사용자 설문조사를 통한 정성적 성능 평가(편의성, 신속성, 경제성, 안전성, 신뢰성 등)점수를 기준으로 5점 척도를 기준으로 3.8 이상 나타나면 실용성이 있다고 판단됨
 - 설문대상자는 민원 당사자인 주민(편의성, 신속성)과 업무 담당자(경제성, 안정성, 신뢰성)로 구분하여 실시함
 - 관련 설문조사는 자동으로 수집이 될 수 있도록 시스템에 기능 제공이 요구됨

16) Machine Learning Operating System : 데이터를 수집하고 분석하는 단계와 모델을 학습하고 배포하는 단계까지 전체 과정 곧 AI 생애 주기를 총괄하는 시스템을 의미함

17)양동석(2024), "LH 하자보수 통합관리 솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안", 토지주택연구원 보고서

- 하자보수시스템 운영시 사용자가 등록한 하자 이미지에 대해서 정확률이 85%이
하이면서 사용자에게 의해 선택되지 못한 이미지일 경우 담당자가 이에 대해 확인
한 후 레이블링을 한 이미지의 90%는 학습데이터로 축적되고, 10%는 성능평가
테스트로 축적함
- 반대로, 정확률 85%이상이면 사용자에게 그 유형을 선택하였을 경우 하자유형
은 자동으로 레이블링이 되고 담당자 확인 후 같은 방식으로 학습데이터와 성능
평가테스트 데이터로 DB화 됨
- 앞에서 제시된 실용성 성능지표가 달성될 때 까지 6개월 단위로 인공지능 모델의
재학습을 진행하고 1년의 운영 및 성능평가를 통하여 분류모델의 개선이 이루어
지지 않을 경우 새로운 학습모델 및 알고리즘 적용을 검토해야 함



[그림 4-2] LH 하자보수 인공지능 학습 및 성능평가 운영 체계(출처: (양동석외(2024))

■ 설계 및 시공 단계와 연계하여 상호 보완 적용이 요구됨

- 반복 하자 자재에 대해 시공이나 설계단계에서 검토할 수 있음
 - 3D 도면 등록 시 관련 부재에 대한 정보도 등록을 하고 그에 따른 하자 이력 정보를 연계하여 문제 있는 부재의 경우 설계 단계에서 차단할 수 있어야 함
 - 분양자료(주택전시관 또는 안내책자)와 시공 결과물에 대한 정보제공으로 하자 분쟁의 잠재적 요인을 사전 방지
- 반복되는 하자 발생 부위에 대한 이미지 제공으로 실시간 시공시 품질을 모니터링할 수 있으며 사전 예방 조치가 가능할 수 있도록 하는 서비스 구현 필요
- 시공 자체의 문제점(외국인 기술자의 숙련도 부족 등)을 사전에 미리 방지할 수 있도록 관련 교육을 시행할 수 있는 AI 가이드 라인 생성 서비스 마련 필요

■ 하자 유지보수관련 AI 활용 정확성 및 신뢰성 고도화 방안¹⁸⁾

- 공종별, 부위자재별, 공간별 분류모델 활용
 - 다양한 하자유형에 대해 공종별로 또는 부위자재별로 구분하여 하자유형을 축소한 후 그에 대한 분류를 할 수 있는 인공지능모델로 학습을 진행한 후 각 모델들을 병합하여 운영하는 방안 검토 필요
 - 표준화한 하자유형 분류체계 지속적인 수립 필요
- 고품질 학습데이터 구축을 재학습 및 성능 평가 데이터 구축
 - 하자유형은 다양하고 복잡할 뿐만 아니라 새로 개발된 공법이나 재료들로 인해 새로운 유형의 하자가 발생됨에 따라 개발된 모델의 재학습이 요구됨
 - 정확한 하자유형 분류 및 이미지를 DB화 하여 고품질의 학습 데이터 구축 필요
 - 학습 데이터와 별개로 반드시 성능평가 데이터는 별도로 DB화 하여 운영
- 텍스트 분류모델의 경우 공간, 부위자재 등 사용자가 선택했던 정보를 함께 학습 시킴으로써 정확도 및 신뢰성 확보 필요
- 인공지능 모델의 경우 실제 학습된 내용은 인간이 이해하기 어렵고, 오류가 발견되었을 때 그것의 수정이 용이하지 않음에 따라 신뢰도 평가를 주기적으로 수행할 필요가 있음

18) ((양동석, 2024)

- 상담시스템에서 사용자와의 대화 내용을 DB화하여 향후 AI 모델의 학습데이터로 활용 필요

2) 3D 모델링 및 메타버스 통합 방향

■ 3D 모델링 유저인터페이스(UI)의 장점 및 단점

- LH 하자보수 솔루션에서는 3D 모델링을 통하여 사용자가 쉽게 하자의 위치 및 유형을 파악할 수 있는 기능을 제공하고 있음
- 실제 건물에 대한 설비를 정밀한 3D 모델(BIM, CAD, Digital Twin)으로 표현하고 각 객체단위(벽, 배관, 설비) 별로 하자정보 및 이력, 도면, 사진 등을 연결하여 3D 모델링으로 활용함
 - 하자 위치 및 원인 파악을 신속 정확하게 할 수 있음
 - 정확한 좌표와 부재 단위로 바로 확인 가능(예: 10층 서쪽 안방 내벽 균열)
 - 2D 도면과 대비하여 도면확인 오류나 재작업 횟수 감소
- 데이터 중심의 하자유지보수에 최적의 환경 제공
 - 설비별 시공사, 보증기간, 하자발생 이력, 수리내역 등에 대한 정보를 해당 객체를 클릭함으로써 모두 조회 가능함
 - 하자유지보수관련 단지별, 주택평형별, 지역별 데이터 축적 가능
- 하자유지보수 분석 및 예측에 유리함
 - 동일 부재의 반복하자의 경우 즉시 경고 가능
 - 특정 자재 및 공법에 대한 문제 분석에 용이
 - 하자유지보수 비용의 분석
 - 인공지능의 하자유지보수에 필요한 학습데이터 및 테스트 데이터 제공에 유리함
- 모바일 및 태블릿 등을 활용한 현장 활용성이 높음
 - 실제 벽에 3D 배관 겹쳐서 보고 문제점 파악
 - 매립 설비에 대한 확인이 가능
- 3D 모델링 기술의 한계점
 - 비전문 사용자(입주민, 일반 관리자)들의 사용의 어려움 및 이해도가 낮음
 - 관련 담당자들간의 커뮤니케이션이나 협업 측면에서 다소 제한적(쌍방향 소통이 어

려움)

- 2D에서 3D 모델링 변환 비용이 발생

■ 메타버스를 활용한 사용자 인터페이스의 장점 및 단점

- 메타버스 활용시 가상 주택이나 설비를 실제처럼 재현함으로써 유지보수 상담원이 문제를 직접 눈으로 보고 파악할 수 있어서 진단이 신속하게 이루어질 수 있음
 - 비전문가도 직관적으로 이해할 수 있음
 - 입주민과 관리자 및 시공사 간 공통 이해의 공간이 제공됨
- 디지털 트윈 및 실시간 센서 데이터를 통하여 고장 가능성을 예측하고 사전 보수함으로써 비용 절감 및 하자 리스크를 감소
- 작업자나 점검자에게 가상 공간에서 실제와 유사한 시나리오를 체험하게 하여 안전의식 강화 지원
 - 현장 방문 전 가상으로 점검하거나 시뮬레이션하면 출동비용, 시간, 자원을 절감할 수 있음
 - 복잡한 설비 점검 절차를 쉽게 시뮬레이션 할 수 있음
 - 고위험 작업에 대한 사전 훈련이 가능함(원격 유지보수 교육에 효과적임)
- 메타버스에서는 지리적 한계 없이 여러 이해관계자가 동시에 접근 가능하게 함으로써 원격유지보수 지원이나 설계, 시공 등의 검토가 가능
 - 하자발생 위치에서 관리소, 시공사, 발주처 등의 담당자 등이 동시에 접속하여 토론이 가능함
 - 민원대응 및 설명에 효과적(시각적 설득력 높음)
- 공사의 대규모 주택관리기관이나 건설사에서의 메타버스를 활용한 가상상담시스템, 예측유지보수, 원격 점검 등을 통해 하자유지보수 서비스 품질 효율을 크게 개선할 수 있음
- 또한 이러한 메타버스가 AI, IoT, 빅데이터와 융합함으로써 하자유지보수가 단순한 수리 작업뿐만 아니라 사전 예방, 학습, 시뮬레이션이 가능한 통합 프로세스로 발전할 수 있음
- 단점으로는 고품질 VR/AR 장비, 센서, 서버 등 초기 구축 비용이 크고, 전국의 다양한 단지별 평형별 주택의 구현이 어려움

- 메타버스, 디지털 트윈, BIM 등이 융합하여야 시너지 효과를 기대할 수 있는데 아직은 기술 표준, 데이터 형식, 운영체계가 표준화되지 않음
- 유지보수 담당자, 관리자, 거주자 등 실 사용자들이 메타버스 환경에 익숙해지지 않아서 활용의 제약이 있음
- IoT 센서 데이터의 지연이나 대규모 사용자 동시 접속에 따른 성능저하, 메타버스 플랫폼의 실시간 처리 능력 등이 문제가 될 수 있음
- 특히, 정밀 설계나 수치 분석 등에 데이터를 활용하기에는 부적합

[표 4-1] 3D 모델링 및 메타버스 신기술 적용 시 특징

하자유지보수 적용 기술	3D 모델링	메타버스
목적	정확한 유지보수	이해, 협업, 경험
사용자	기술자, 관리자	입주민, 의사결정자
정밀도	매우 높음	중간
협업	제한적임	매우 우수함
데이터 관리	핵심 강점	보조적 수단
교육 및 소통	약함	매우 강함

■ 3D 모델 및 메타버스 신기술의 통합 방향

- 두 기술 모두 장단점이 있으며, 해당 기술을 구현하는데 비용이 발생하는 게 분명하지만, 향후 두 기술 중 어느 하나를 선택하는 것보다 계층적으로 통합하는 방향이 효율적이라 판단됨
- 통합을 위해서는 3D 모델은 모든 하자보수 데이터에 대하여 객체 ID 기준으로 저장될 수 있어야 하며, 해당 3D 객체는 메타버스 환경에서 “공간적 경험”으로 표현될 수 있어야 함
 - 구조적 통합 아키텍처로 BIM/ 3D Model -> 하자유지보수 DB -> 메타버스 UI 레이어의 형태로 구축이 되어야 함
 - 현장 기술자의 경우 3D 모델에서 해당 객체를 클릭 할 경우 보수이력, 수리 매뉴얼 등을 확인하고 AR로 실물과 매칭(보이지 않은 설비에 대해서도)
 - 관리자 및 입주민의 경우 모발 기기를 통해 메타버스 환경에서 아바타로 이동하여

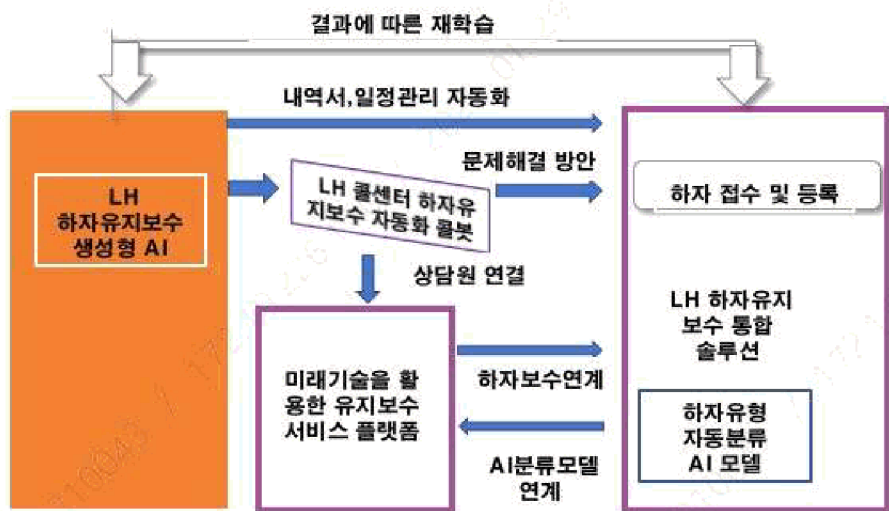
하자 위치 확인하고 그에 대한 하자 내용을 음성이나 메모로 등록 가능

- 메타버스 공간에서 하자를 재현하고 수리 시뮬레이션을 확인할 수 있으며 사고 예방 교육을 수행할 수 있음
- 통합을 위해서는 단계적 도입이 요구되면 1단계로 BIM/3D 기반 하자보수 관리 시스템이 구축될 수 있어야 함
- 2단계로 주요 하자유지보수 (주택유형별) 관련 메타버스 뷰로 시각화 할 수 있어야 함
- 3단계로 이를 활용한 원격 협업체제를 갖추고 AI 예측 유지보수 등의 기능으로 확장 할 수 있어야 함

3) 생성형 AI를 통한 상담 업무 및 하자유지보수 업무 자동화 통합 방향

- 상담은 콜센터와 앱 민원 시스템을 통해 이루어지고 하자유지보수는 별도의 시스템으로 이원화되어 있어서 정보의 단절이 발생할 수 있음
 - 상담한 내용과 실제 하자유형 불일치 발생
 - 같은 문제에 대해 반복적으로 접수가 됨
 - 상담 숙련자에 대해 의존적 판단에 기대
- 생성형 AI를 통해 사람이 말한 문제를 시스템이 바로 하자유지보수 업무로 이해하고 실행할 수 있음(자동화)
- 현재 상담업무 초기 단계에서 생성형 AI를 통해 자동으로 상담 업무 및 하자유지보수 관련 업무(스케줄 생성, 결과보고서 작성 등)를 수행할 수 있도록 통합하여야 함
- 업무 자동화를 위한 생성형 AI의 핵심 역할은 첫째 자연어, 음성, 이미지로 접수된 하자를 이해하고
 - 둘째, 하자유형, 긴급도, 책임 주체에 대한 자동 분류 수행
 - 셋째, 작업지시서, 안내문, 보고서 등을 자동으로 생성
 - 넷째, 처리 결과를 반영해 지속적으로 학습을 통한 개선
- 자동화 시나리오 : 콜봇을 통하여 사용자가 상담 단계에서 텍스트로 입력하거나, 음성의 경우 STT를 통해 텍스트로 변환하고 관련 사진/영상 업로드한 내용을 LLM 생성형 AI와 소통 함으로써 하자유형 및 위치, 긴급도 등 판단

- 콜봇으로 위치, 하자유형, 우선순위, 권장 조치 등에 대한 내용을 제시하고 그에 따른 접수 여부 확인
- 사용자 응답에 따라 유지보수 전환 자동화하여 하자유지보수 통합솔루션의 접수 단계로 변경(초기에 입력했던 데이터들을 자동으로 시스템에 반영되고 이를 확인하는 절차 수행)
- 만약, 생성형 AI가 제시한 내용이 맞지 않을 경우 상담원과 1:1 연결수행
- 하자유지보수 솔루션에서 일정 관리 및 내역서 자동화 기능은 LH 하자유지보수 생성형 AI를 통해 업무 담당자가 자동으로 일정이나 보고를 수행할 수 있음
- 상담 플랫폼에서 하자유형을 자동으로 분류하는 Vision AI 모델은 통합솔루션에서 재학습되어 성능 개선을 수행한 모델을 연계하여 사용함



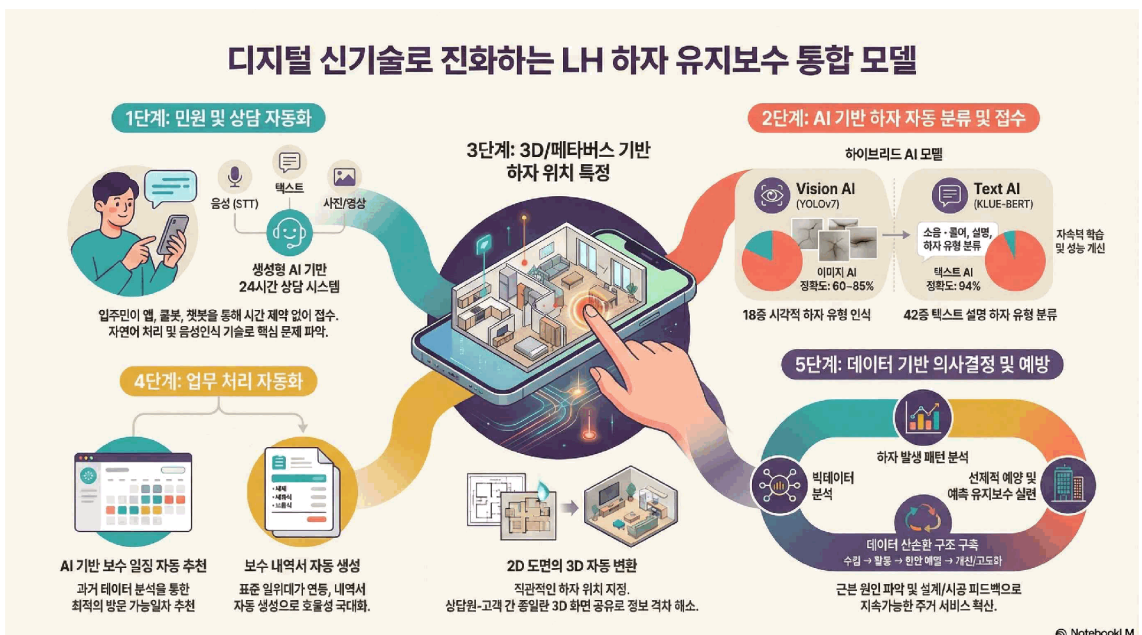
[그림 4-3] 생성형 AI 기반의 LH 하자보수상담 및 업무 처리 자동화

4) 디지털 신기술 기반의 LH 하자 유지보수 통합 모델 수립 방향

- 1단계로 상담 플랫폼을 통한 민원 및 상담 자동화
 - 입주민이 앱, 콜봇, 챗봇을 통해 상담원 연결 없이 상담을 접수 할 수 있음
 - 생성형 AI 기반으로 신속 정확한 접수 및 간단한 문제 해결
 - 언제 어디서든 24시간 상담 시스템 운영
- 2단계로 AI 기반 하자 자동 분류 모델의 통합
 - 하자통합 솔루션에서 개발된 자동분류 AI 모델의 재학습을 통한 고도화된 AI 모델

을 상담 플랫폼에서 연계하여 재 활용

- 성능 평가 체계를 갖추어 지속적인 학습을 통한 성능 개선
- 향후 생성형 AI와의 연계를 통해 분류 성능 향상 기대
- 3단계로 3D 모델 및 메타버스 기반으로 하자 위치를 신속 정확하게 인식
 - 상담원과 고객과의 쌍방향 소통 및 고객의 경험 축적 가능
 - 향후 메타버스 환경에서 다양한 생활 기반 서비스 제공 가능
- 4단계로 생성형 AI 기반의 업무 자동화(보수일정, 내역서 작성 등) 추진
 - 생성형 AI 기반으로 고객과 유지보수 업체 쌍방 소통을 통한 일정 자동 조율
 - 업무 담당자들의 보고서 등을 생성형 AI에서 자동으로 제공
- 5단계로 빅데이터 분석 및 생성형 AI를 통한 의사결정 지원 및 하자보수 예방을 위한 의사결정 지원 시스템 구축으로 고도화된 LH 하자 유지보수 통합

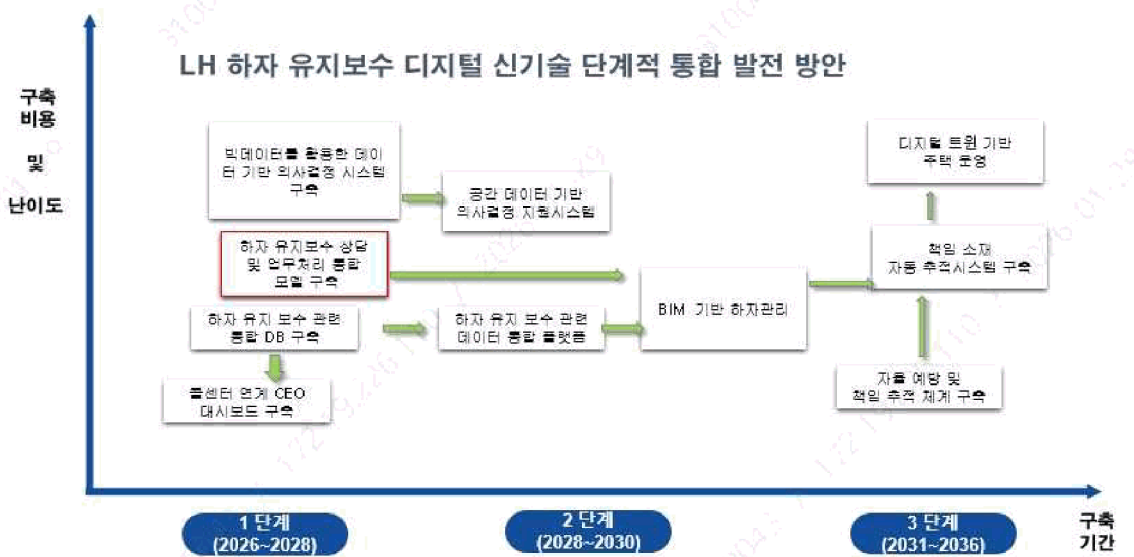


[그림 4-4] LH 하자 유지보수 통합 모델 (출처: NotebookLM을 통해 작성)

3. LH 하자유지보수 디지털 신기술 통합 발전 방안

■ LH 하자유지보수 관련 디지털 신기술 통합 발전 방향 수립

- 디지털 신기술의 발전 속도가 빠르고 새로운 기술이 나타나는 관계로 단계별 통합 발전 방향 수립이 요구됨
- 하자유지보수 관련 다양한 서비스들을 수용할 수 있도록 방향 제시
- 하자유지보수의 업무 생산성 제고 및 대국민 서비스 고도화 지향



[그림 4-5] LH 하자유지보수 디지털 신기술 단계적 통합 발전 방안

■ 빅데이터를 활용한 데이터 기반 의사결정 지원(단기: 1~3년)

- 수집>분석>예측> 의사결정>피드백으로 하자보수 데이터 운영체계를 구축함으로써 하자보수 관련 빅데이터의 축적에 따른 분석을 통해 사전 서비스 수행 및 데이터 기반 의사결정을 지원
 - 반복되는 하자나 유지보수에 대해 선제적으로 사전 예방이 가능함
 - 유지보수 비용 및 시간을 최소화할 수 있음
 - 고객의 만족도 향상 및 현장에서의 기술적 객관성 및 일관성 확보가 용이함

- 정책, 설계, 시공 개선으로의 피드백이 신속하게 이루어질 수 있음

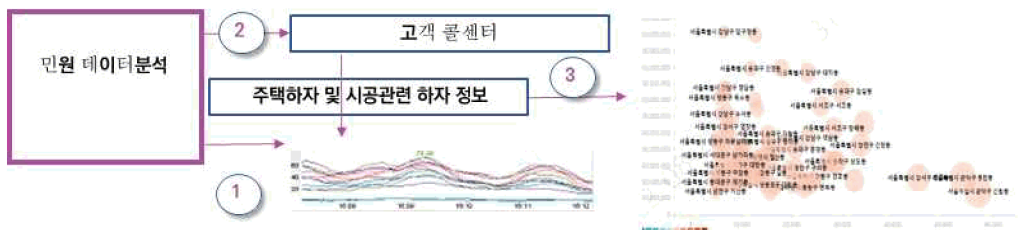
데이터 기반 의사결정

현안의 체계적 해결



[그림 4-6] 빅데이터 기반의 하자유지보수 의사결정 지원

- 하자유지보수 관련 핵심 데이터들로는 하자 발생 데이터, 유지보수 이력 데이터, 건설관련(설계,시공) 연계 데이터, 사용자 데이터들을 구축하여야 함
 - 하자 발생 데이터 : 하자유형(누수, 균열, 마감불량 등), 위치정보(동층호, 공간단위), 부위 정보(자재정보), 발생시점 및 준공 후 경과 기간, 사진 및 음성, 영상 데이터, 긴급도(심각도) 등
 - 유지보수 이력 데이터: 접수>진단>조치>완료에 대한 전 과정에 대한 정보, 처리기간 및 인력 투입시간, 사용자재 및 공법, 재하자 발생 여부 등
 - 건설(설계, 시공) 연계 데이터: 공종별 시공 방법, 자재 정보, 준공 도면, BIM 데이터
 - 사용자(입주민) 데이터 : 민원 내용 및 빈도, 만족도 평가, 계절 및 날씨 연관성 등
- LH 콜센터와 연계하여 주택 및 시공하자 관련 하자 통계 내용들을 활용한 대시보드 적용 및 CEO 의사결정 지원(최근 5년간 하자유형 시계열 분석)
 - 하자 데이터를 민원이 아닌 자산으로 인식하고 활용할 수 있어야 함
 - ① 고객 콜센터의 최근 유형별 접수 민원을 그래프로 표현
 - ② 고객 콜 센터 주요 내용 표시
 - ③ 주택 및 시공 관련 하자 정보 → 기간 및 유형별로 그래프로 표시 → 관련부서 CEO 지시사항 등에 활용



[그림 4-7] 하자유지보수 솔루션 및 상담시스템 데이터 기반의 의사결정 지원(참고문헌: 양동석(2024))

■ 지능형 하자유지보수 추진 (중기 : 3~5년)

○ 하자유지보수 관련 데이터 통합 플랫폼 구축

- 단일 데이터 허브 구축(하자유지보수 솔루션, BIM/3D 모델, 상담 플랫폼)
- 상담기록(콜센터, 챗봇)
- IoT 센서(누수, 균열, 온습도 등) 정보
- 하자유지보수 관련 시스템들의 데이터들 연계 및 통합 분석이 가능하도록 구축

○ 공간 데이터기반 의사결정 지원 시스템 구축

- 2D 도면, 3D BIM, GIS가 통합된 시스템 구축으로 공간상의 하자보수에 대한 정보를 직관적으로 판단할 수 있도록 지원
- 주택의 생애주기 관리를 혁신적으로 개선
- 현장에서 태블릿을 통해 위치를 찍으면, 그 지점의 GIS좌표, BIM 부재정보, 2D 도면 정보가 나타날 수 있음
- 정확한 원인 파악, BIM을 통한 선제적 교체계획 등 유지관리 비용을 절감할 수 있으며 민원발생 위치에 따른 밀집지역이나 반복 발생 구간을 집중관리 할 수 있음

[표4-2] 2D , 3D BIM, GIS 통합 및 역할

구분	주요 역할	유지보수에서의 활용
2D 도면(CAD 등)	평면적 구조 및 치수 확인	현장 점검시 도면 확인, 인허가 서류 및 평면 배치도 활용
3D BIM	부재별 속성 정보(재질, 설치일 등) 직관적 사용자 인터페이스 제공	배관,설비의 위치 추적 및 부품교체 주기관리, 간섭체크 등
GIS	지리적 위치 및 주변 환경 정보	건물 외부 배관(상하수도) 관리, 민원발생위치 파악, 자산분표 확인 등

○ BIM 기반 하자 관리를 정착

- 설비 및 부재별 하자 이력을 분석하고 결과 활용
- 보증기간 자동 관리를 통한 효율적인 보수비용 절감
- 균열, 누수 등 자동 진단 기능을 통한 신속한 하자 보수 처리
- 긴급도 자동 산정을 통하여 고객 만족도 향상

○ 입주민 참여형 디지털 사용자 인터페이스 업그레이드

- 입주민이 전문적인 지식 없이도(예: 하자유형 선택) 쉽게 하자 신고

- 3D 모델에서 공간터치 만으로 해당 부위의 하자유지보수 신청 가능
- 카메라로 하자 부위 비추면 실제 크기와 위치 정보를 데이터와 결합하여 정확하게 기록
- 진행단계 시각화(접수>승인>일정>방문및처리>완료)를 통해 직관적으로 확인 가능
- 단순한 신고 접수를 넘어 입주민과 관리 주체의 양방향 소통 및 피드백(만족도 평가 등)이 가능
- 유지관리 이력 제공 및 하자과 연동된 에너지 사용량 필터교체 주기 등 개인화된 관리 팁 제공

■ 자율 예방 및 책임 추적 체계 구축(장기 : 5~10년)

○ 하자 발생 자체를 최소화

- 하자 이력 기반 설계의 표준화(하자 유발 설계 패턴 사전 차단)
- 하자 발생 데이터 분석 및 구조, 공법, 자재 별로 검토(데이터 기반 설계 체크리스트 도입)
- BIM 기반 사전 검증(구조·설비·마감 간 간섭 사전제거, 방수·배수·단열 취약구간 자동 탐지, 유지관리 관점 설계 검토)
- 시공 단계 품질 편차 제거를 위해 AI 기반 시공, AR로 정확한 시공, 숙련도 차이에 따른 품질 격차 최소화
- 자재 성능 이력관리(현장 성능 중심 평가) 및 신기술, 신공법 사전 검증을 통한 확산
- 준공 직후 하자 집중관리를 통한 발생 최소화 및 입주자 사용 교육을 통한 오사용 하자 예방

○ 책임 소재 자동 추적 시스템 구축

- 하자가 발생했을 때 데이터를 역추적하고 책임 주체 후보 리스트를 자동으로 추출하고 그에 따른 객관적 근거를 제시하는 시스템 구축
- 하자 발생 데이터 분석 및 구조, 공법, 자재 별로 검토(데이터 기반 설계 체크 리스트 도입)
- BIM 객체를 활용하여 하자 발생 위치 클릭 시 관련 책임 정보 즉시 조회 가능
- 하자 유형별 책임 패턴 학습을 통한 AI 기반 책임 후보 자동 분류
- 다중 책임 구조 자동 판단 기능(예: 설계,시공 복합 원인 등)
- 블록 체인을 통한 시공, 검측 이력 위변조 방지(분쟁시 신뢰도 확보)

- 생성형 AI를 통한 객관적 근거 중심의 보고서 작성(법무, 보험, 감리 등 문서)
- 디지털 트윈 기반 주택 운영
 - 디지털 트윈 기반 주택 운영은 현실의 주택을 디지털 가상 공간에서 보고, 판단하고, 시뮬레이션 한 뒤 실제 운영에 반영하는 체계를 의미
 - 설계/시공/유지보수 전주기 데이터를 연계하고 실시간 센서 데이터 등을 연결하여 운영/예측/최적화 함
 - 현실주택(Physical Twin): 건축구조체, 설비(급배수, 전기 등), 마감 자재
 - 디지털 모델(Virtual Twin) : BIM 기반 3D 모델링, 공간,설비, 자재를 객체화, 책임/보증/수명 정보 등을 포함하여 구축
 - 데이터 연결(Connection) : IoT 센서(누수, 온습도, 전력), 운영데이터(하차, 점검, 민원), 환경 데이터(기후, 계절)
 - 현실의 변화가 디지털에 즉시 반영되고 데이터 분석을 통해 하자발생 예측, 설비고장 진단, 책임 소재 추론, 시나리오 시뮬레이션 등을 수행할 수 있음
 - 단지, 동, 세대별 에너지 흐름 분석 및 절감 시나리오 사전 검증 가능
 - 향후 탄소 관리 시스템과 연계 가능

[표 4-3] 디지털 트윈 기반 주택의 특징

구분	스마트 홈	BIM	디지털 트윈 기반 주택
목적	편의성	설계 효율화	운영 및 의사결정
데이터	실시간 일부	정적	실시간 및 이력
범위	세대	프로젝트	단지 및 생애 주기
기능	제한적	없음	AI 기반

- 예측 유지 보수(Predictive Maintenance) 고도화
 - IoT 센서 및 인공지능을 활용한 고장전 알림
 - IoT 기반 상시 모니터링(누수, 습도, 균열 센서 등을 통한 이상 징후 점검)을 통한 사전 조치(선제적 유지 보수)
 - 이력 기반 고장 예측
 - 위험도(Risk = 발생확률 X 영향도) 기반 우선순위 자동 산정
 - 정상 상태 학습 후 미세 이상 탐지 인공지능 모델 개발
 - 갑작스러운 고장 방지 및 유지관리 비용 절감
- 하자 판정 AI 개발 및 분쟁 조정 디지털화

- 하자 판정 AI 모델은 판정을 내리는 게 아니라 판정을 보조하는 역할 (Evidence-based Assistant)을 수행함
- 하자 여부 판단 보조, 원인 책임 가능성 분석, 유사판례 나 사례 제시, 분쟁 조정 합의안 시뮬레이션 등을 수행
- 영상이미지 분석 및 법 기준에 따른 판정
- 설계, 시공, 자재 기여도 산정 및 복합원인 확률을 제시하여 원인 책임 추론
- 디지털 분쟁 조정 플랫폼을 통하여 온라인 조정공간 제공, 증거 자동 정리, 합의안 시뮬레이션을 통한 합의 유도 및 합의 결과 자동 문서화
- 하지만, 최종 판단은 인간이 수행

제5장 결론

1. 본 연구의 성과

■ 디지털 신기술 정의

- 디지털 신기술은 디지털 데이터를 활용하여 기존 방식의 업무를 혁신하고, 생산성을 높이는 기술을 의미
 - 디지털 신기술을 통하여 기업의 새로운 가치 창출 및 시간 및 비용을 효율화
- 디지털 신기술은 다양한 형태로 발전 중이며, 여러 신기술들이 서로 융합하면서 더욱 강력한 혁신을 추진하고 있음
- 본 연구에서는 이러한 다양한 디지털 신기술 중에서 하자 및 유지보수에 활용되어지고 있는 디지털 신기술 중심(인공지능, 생성형 AI, 메타버스, AI 챗봇 등)으로 논의

■ 하자보수관련 디지털 신기술 국내외 적용 사례

- 최근 디지털 신기술 기반의 하자유지보수 상담 및 처리 서비스 관련을 주제로한 문헌들을 조사하고 시사점을 도출함
- BIM 기반 AI 연계 하자 예방 플랫폼을 구축하여 설계 및 시공 단계에서의 하자 발생율을 낮추는 선제적 관리 체계 운영 사례
- One Sydney Harbour는 호주 시드니에 위치한 70층 높이의 타워에 디지털 트윈 기술을 적용하여 에너지 절감 및 인터랙티브한 방식으로 위험관리, 비용초과방지 등의 서비스를 제공하는 사례
- 하자관련 고객불만에 대한 텍스트 분석을 통해 문제의 유형과 빈도를 신속하고 효율적으로 대응한 사례
- 싱가포르 및 네델란드 The Edge의 도시 수준의 디지털 트윈을 구축하여 도시계획, 재난대응, 생태관리 등에 활용하는 사례
- 증강현실을 활용하여 시설물 유지보수를 하는 일본 코노이케구미의 터널 MR 사례

- 데이터 활용으로 의사결정력을 높이는 롯데백화점의 BI Agent 사례
- 이 밖에도, 포스코이앤씨의 드론과 AI 융합기술을 활용한 군열관리 솔루션 (POS-VISION) 사례, 효성 중공업의 예측 유지보수사례, AI컨텍센터, 대우건설의 바로답, 메타버스 기술을 활용한 삼성물산의 헤스티아 사례 등을 조사

■ LH 하자유지보수 디지털 신기술 적용 검토

- LH의 하자보수 업무에 디지털 신기술인 3D 모델링, AI 모델링, 클라우드 인프라 기술을 도입하고 있음
 - 3D 기반으로 사용자가 쉽게 하자의 위치를 인식할 수 있도록 3D 환경을 제공하고 있으며 2D 도면을 3D로 전환할 수 있도록 하고 있음
 - 인공지능 모델을 활용하여 학습을 통해 사용자가 업로드한 하자 이미지를 자동으로 어떤 유형인지 분류하는 기능을 제공하고, 자동분류의 보완으로 텍스트 중심의 내용을 분석하여 하자유형을 분류하는 기능을 추가하고 있음
 - 특히, 클라우드 기술을 활용하여 효율적인 자원 운영을 도모하고 있음
 - 또한, 하자보수 스케줄관리를 효과적으로 하기 위해 자동 스케줄링 인공지능 기술 도입
 - 일위대기를 연계한 하자보수 내역서 자동 생성 부분에 인공지능 기술 도입
- LH는 주거시스템의 복잡화로 인해 하자유지보수 상담 시 업무의 효율화 및 신속 정확성을 높이기 위해 메타버스 기술 및 비전 AI 디지털 신기술 적용
 - 메타버스 환경을 제공하여 고객과 상담사가 동일한 3D 공간을 공유하며 의사소통을 함으로써 하자 위치를 직관적으로 확인 가능
 - 고객이 제출한 하자 이미지에 대한 비전 AI 기술을 활용하여 신속 정확하게 분류

■ LH 하자유지보수 디지털 신기술 통합 방향 수립

- LH 하자보수 통합솔루션에 적용된 인공지능모델의 시범 운영 및 성능평가를 통해 실효성을 검증하고 이를 상담플랫폼의 하자유형 분류에 활용
 - 두 시스템에서 활용하는 인공지능 모델은 통일시켜 운영하는 것이 향후, 재학습을 통한 모델 성능개선 등에 효과적임
 - 성능 확보를 위해서는 시스템 운영 후에도 표준화된 분류체계 및 충분한 학습데이터를 지속적으로 축적할 수 있어야 함

- 설계 및 시공 단계와 연계하여 상호 보완 적용이 요구되고 인공지능 모델의 활용 정확성 및 신뢰성 고도화를 위한 방안을 제시함
- LH의 하자유지보수 관련 3D 및 메타버스 신기술의 활용은 어느 한 기술로 통합하기 보다는 두 기술의 장점을 극대화할 수 있도록 계층적으로 통합하는 방향을 제시
- 통합을 위해서는 3D 모델은 모든 하자보수 데이터에 대하여 객체 ID 기준으로 저장될 수 있어야 하며, 해당 3D 객체는 메타버스 환경에서 “공간적 경험”으로 표현될 수 있어야 함
- 생성형 AI를 통해 상담 업무 자동화 및 하자유지보수 업무 자동화 통합 방향을 제시함

■ 디지털 신기술 기반의 LH 하자유지보수 발전 방안 제시

- 빅데이터 기반의 하자유지보수 의사결정 지원 체계 구축
 - 수집>분석>예측>의사결정>피드백으로 하자보수 데이터 운영체계를 구축함으로써 하자보수 관련 빅데이터의 축적에 따른 분석을 통해 사전 서비스 수행 및 데이터 기반 의사결정을 지원
- 지능형 하자유지보수 추진
 - 하자유지보수 관련 데이터 통합 플랫폼, 공간데이터 기반 의사결정 지원시스템, BIM 기반 하자관리, 입주민 참여형 디지털 사용자 인터페이스 등을 구축
- 자율 예방 및 책임 추적 체계 구축
 - 하자 발생 자체를 최소화하는 방안 제시
 - 책임 소재 자동 추적 시스템 구축
 - 디지털 트윈 기반 주택 운영
 - 예측 유지 보수 고도화
 - 하자 판정 인공지능 개발 및 분쟁 조정 디지털화

2. 연구의 한계 및 제언

- 디지털 신기술은 사회, 산업, 문화, 경제 등 전분야에 혁신적으로 도입되어지고 있으며 하자유지 보수 분야에도 적극 활용되어지고 있는 실정임
- 본 연구는 LH 하자유지보수 분야에 도입된 디지털 신기술들을 검토하고 더욱 높은 생산성 및 효율성을 높이기 위해 적용된 디지털 신기술에 대한 통합 방향을 제시하였으며, 향후 디지털 신기술 기반의 하자유지보수 통합 발전 방안을 제시하였으나 기술의 빠른 발전 추세 및 구체적인 비용효과의 검증이 추후 요구됨
- 제안된 통합 방향 및 발전 방안 등은 운영 중인 하자보수 통합솔루션 및 상담 플랫폼에 적용될 것으로 기대됨

참고문헌 Reference

- 고가온 외(2024), “AI 시대 메타버스 기술과 표준화 전략”, 한국학술정보(주), 2024.1.
- 강지연(2024), “텍스트마이닝을 활용한 공동주택 단위세대 시설물의 유지관리 요소 분석”, Journal of the Korean Housing Association, Vol.35 No. 1, 2024
- 고상희 외(2024), “RAG 기반 LLM을 적용한 공지사항 챗봇 시스템 개발”, 2024 한국정보기술학회 추계 종합학술대회 논문집
- 권오균 외(2024), “AI 챗봇 시스템 주요 기술 동향 분석을 통한 민원 처리시스템 개선”, 인터넷전자상거래연구, 제24권 제2호, 2024. 8.
- 김광수와2(2021), “지반정보 변화객체 탐자-추출 시스템 개발”, 한국측량학회, 한국측량학회지, 39(6), p515-523, 2021.12.
- 김동명 외(2022), “인공지능과 딥러닝의 기초”, 소음-진동, 제32권 제2호
- 김문구 외(2024), “메타버스 시장 활성화를 위한 핵심요인 분석과 전략방향 연구”, 2024년 한국방송미디어공학회 하계학술대회, 2024.
- 김별(2022), “공동주택 하자 자동분류 및 특성 분석을 위한 HCLA 하자 관리모델”, 한양대학교 대학원 학위논문, 2022.
- 김영일(2023), “딥러닝 기반 드론 및 모바일 이미지 수집을 통한 콘크리트 균열 검출성능 비교 분석”, 한양대학교 대학원 학위논문, 2023. 8.
- 김익중(2023), “알고리즘으로 배우는 인공지능, 머신러닝, 딥러닝”, 미리어드 스페이스, 2023. 8
- 김진혁외1(2012), “수영장 청소 로봇 개발 및 청소성능지표”, 한국로봇학회, 로봇학회논문지, 7(4), p.243-251, 2012.12
- 김현정 외(2023), “인공지능을 위한 머신러닝과 딥러닝 with 파이썬”, (주)도서출판 길벗, 2023
- 김효정 외(2025), “생성 AI 발전에 따른 메타버스 창작 생태계 변화 분석 및 활성화 방안연구: 델파이 분석을 중심으로”, 디지털콘텐츠학회논문지, Vol 26 No. 1, 2025 1.
- 나유미(2025), “AR 증강현실 및 VR 가상현실 그리고 메타버스 디자인”, 지식과 감성,

2025.4.

딜로이트AI연구소(2023), “인공지능(AI) 활용서: 6대 산업별 활용사례”, Deloitte Insight, 2023. 8

리카이푸, 천치우판(2023), “AI 2041”, 한빛비즈, 2023. 1

매그너스 에크만(2023), “딥러닝 초보자를 위한 엔비디아 가이드북”, 에이콘, 2023

박민아 외(2024), “메타버스 구성요소 및 차별적 경험 특성에 관한 사용자 관점에서의 연구”, Proceedings of HCI korea 2024

박병섭(2023), “인공지능과 딥러닝 개발환경 구축 및 응용”, 복두출판사, 2023.8

박성주 외(2024), “검색증강생성(RAG) 기반 사용자 감정 분석 아바타 AI 챗봇 구축 및 활용에 관한 연구”, 멀티미디어 학회 논문지, 제27권 제12호, 2024.

박수현 외(2024), “LH 단지조성공사를 위한 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼 구축 및 실증”, 토지주택연구, Land and Housing Review 2024. Vol 15, No 4

방준성 외(2025), “생성형 AI를 활용한 메타버스 콘텐츠 개발 동향”, 방송과미디어, 제 30권 제1호, 2025.1.

박향아외3(2021), “머신러닝을 활용한 디지털 트윈 기반 ESS 최적 운영 기술 개발”, 대한전기학회, 대한전기학회학술대회논문집, p766-767, 2021.7.

서재창(2024), “ AI와 융합한 메타버스 다양한 영역에서 활용되다”, 전자기술, 2004.8.

성수정 외(2024), “메타버스 모델하우스 플랫폼의 서비스 특성이 사용자 만족도 및 재이용의도에 미치는 영향”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol 40, No 11, 2024. 11.

스마트건설뉴스(2025), “GS 건설, ‘하자 예방도 AI’...아파트 품질관리 박차”, 2025.10.22.일자 뉴스

신현규 외(2023), “인공지능을 활용한 공동주택 외관 상태평가 방법”, 2023년 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 제43권 제1호, 2023.4.

양동석 외(2024), “LH 하자보수 통합관리 솔루션에 적용된 AI 성능평가 방안”, LHRI 연구보고서, 2024.

연합뉴스 기사, 강원 분만 취약지 산모 전용주택 ‘안심스테이’ 첫 삽, 2020.11.20.

오마이건설뉴스, 롯데건설, 3차원 레이저 스캐너 도입...현장 정밀사공 ‘UP’

- 오인섭(2018), “교통 빅 데이터를 활용한 고속도로 성능평가 방법론 개발”, 아주대학교, 학위논문(박사), 2018.
- 오희주 외(2024), “교육 분야에서 메타버스 사용에 대한 사용자 수용 이해”, 2024 한국 소프트웨어융합학술대회 논문집, 2024.
- 유지석(2021), “Transformer 기반 공공임대 주거하자 공사유형 예측 연구”, 성균관대학교 대학원 학위논문, 2021
- 유채영외(2024), “360 이미지 캡처 기반 메타버스 환경 구축을 통한 건축물 유지관리 기초연구”, 2024년 대한건축학회 추계학술발표대회, 제44권 제2호, 2024.10.
- 이상훈 외(2024), “스마트 AI 기술을 활용한 주택유지보수 공사 통합관리 솔루션 연구”, LHRI 연구보고서, 2024.
- 이원진(2022), “인공지능 딥러닝의 역사와 현황, 그리고 미래 방향”, 대한치과의사협회지, 제 60권 제5호, p298~314
- 이은성 외(2024), “메타버스 기반 상담 에이전트와 사용자의 자기 노출에 대한 제언”, Proceedings of HCI Korea 2024, 2024.
- 이인회 외(2024), “RAG 및 생성형 AI를 활용한 실시간 질의응답 챗봇과 e-Book 플랫폼”, 2024년 한국미디어공학회 추계학술대회 대학생 논문
- 장진희(2025), “메타버스 기반 문화유산 전시에서 관람자의 신체 경험이 디지털공감과 사회적연결감에 미치는 영향”, 한국과학예술융합학회 Vol 43(2), 2025. 3.
- 전한라(2023), “CNN 기반 공동주택 도배하자 검출 딥러닝 이미지 분류모델 구축에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문, 2023. 2.
- 조윤진 외(2025), “메타버스 서비스 이용의도 : Z세대를 중심으로”, 비즈니스융복합연구 제10권 제1호, 2025. 2.
- 천안국(2023), “인공지능 파이썬으로 머신러닝과 딥러닝”, INFINITYBOOKS, 2023
- 최재진(2022), “실사와 BIM 기반 컴퓨터 이미지의 딥러닝 객체인식 성능 비교 연구”, 연세대학교 대학원 학위논문(석사), 2022
- 한국금융신문 기사, “AI야, 프로젝트 분석해줘” 대우건설, 계약문서 분석시스템 ‘바로답 AI’ 개발
- 한국과학기술정보통신부 외(2022), “인공지능 학습용 데이터 품질관리 가이드라인

- v2.0”, 진한엠앤비, 2022.5.
- 한국산업지능화협회 PLM 기술위원회(2025), “디지털 트윈 가이드”, 이앤지미디어, 2025.4.
- 한양대학교법학연구소(2023), “인공지능과 법”, 2023. 2
- Amodei, D., et al.(2016), “Deep Speech 2:End-to-End Speech Recognition in English and Mandarin,” International Conference on Machine Learning(ICML)
- Ardila, D. et al.(2019), “End-to-end Lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. Nature medicine, 25(6), 954-961, 2019.
- BBS 기사, 대우건설, AI 기반 계약문서 분석시스템 ‘바로답 AI’ 개발,
- CNB뉴스 기사, 대우건설, ‘바로답 AI’ • 공개·방대한 계약문서 실시간 분석, 2024.11.01.
- Devlin, J., et al.(2019), “BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, NAACL-HLT, 2019.
- Kevin P. Murphy(2022), “Machine Learning: An Introduction”, Massachusetts institute of Technology, 2022.
- VasWani, A., et al.(2017), “Attention is all you need”, Advances in neural information systems(NeurlPS), 2017.