

디지털 트윈 기반 재난안전 및 에너지 서비스 가상화

Technical Report [1부-6권]

스마트시티
혁신성장동력 프로젝트

[1-3세부과제]
주관연구기관-서울시립대학교

과제명	디지털트윈을 이용한 스마트시티 서비스 가상화 기술 개발	연구기간	'18.10 ~ '22.03 (3년 6개월)
		예산	총 42.7억원(정출금: 32억원)

▶ 개념도 (서비스 시나리오)



지능형 디지털 트윈 기반 기술 개발

(실증도시, 시범도시 등 스마트시티 사업 적용)



KPI (성과지표)	도시모델링의 객체화 정확도 (대구)	LOD 2.5	도시모델링의 객체화 정확도 (시흥)	LOD 3.5	인공지능 시뮬레이션 건수	3건
------------	---------------------	---------	---------------------	---------	---------------	----

▶ 과제 개요

- (배경) 4차 산업혁명이 도래함에 따라 스마트시티에 관한 관심이 커지면서 지형지물, 사람과 사물의 위치 등 공간인자와 의사결정에 필수적인 공간정보의 중요성이 매우 커짐. 실시간으로 공간정보를 활용할 수 있는 디지털 트윈은 4차 산업혁명을 이끄는 융합기술로 주목받고 있음
- (목적) 기존 도시 운영관리시스템의 한계 극복을 위한 실세계 반영 디지털 트윈 기반기술 개발
 - 스마트시티 주요 서비스를 리빙랩을 통하여 시민 체감형/맞춤형으로 제공 가능한 지능형 디지털 트윈 개발
- (주요 연구내용) 도시정책 의사결정을 위한 공간정보, 센싱 데이터 기반 인공지능 학습/추론 결과의 활용이 가능한 A기반 실증도시 지능형 디지털 트윈
 - 시간적, 공간적, 디바이스 제약 없이 접근 가능한 디지털 트윈, PC/모바일 Web을 통한 클라우드 기반 디지털 트윈 서비스
 - 디지털 트윈에서 활용하는 BIM-GIS 표준 기반 3차원 객체 데이터 및 Use Case별 각종 데이터와 데이터 처리 프로세스 표준안 에너지 셰어링 서비스 등 기반 마련

▶ 기술적 차별성

- BIM-GIS 데이터를 연계, 시각화 및 실시간 데이터 분석 등의 방법을 개발하였으며, Web 서비스 시, 대용량 BIM 데이터 사용에 의한 부하를 막기 위한 형상정보 포맷을 제시함
- BIM-GIS 연계 기반 디지털 트윈은 대용량 모델 로드 시 OGC 표준 3D 타일링 기법 일부를 적용하여 맵타일링 기능을 개발하고 동적로딩을 적용하여 네트워크 부하를 감소함
- 클라우드 기반 개발 아키텍처 구성으로 안정적인 서비스 지원이 가능하고 기존 상용프로그램 대비 범용성 및 확장성 확보가 우수한 디지털 트윈 기술을 개발함

▶ 기대효과

- 디지털 트윈 기반기술을 활용하여 실증도시의 Use Case뿐만 아니라 교통, 환경, 에너지, 시설물 관리 등 스마트시티 모든 도메인에 적용할 수 있음
- AI 학습예측, 시설물정보 기반 시뮬레이션 등 도시 빅데이터 분석 및 도시정책의사결정 지원이 가능함
- 국가공간정보포털에서 제공하는 공간정보와 BIM-GIS 연계방안을 활용함으로써, LOD 0~4 수준의 도시 디지털 트윈 모델을 구축하여 시범도시 및 타 지자체 등에 적용 가능함

▶ 참여기관

[주관] [공동]



▶ 실증경과 및 결과

① 시흥 에너지 서비스

- 에너지 유즈케이스 데이터 및 서비스 개발 시나리오를 활용하여, 에너지 서비스를 디지털트윈에서 가상화하였으며, 실제 대상지에 적용하여 활용성을 검증
- 실증도시인 시흥시에서 데이터의 원활한 활용이 가능할 것으로 예상되는 2개의 복합용도 건물(시흥 에코센터, 서울대학교 시흥캠퍼스 교육협력동)을 선정

② 대구 재난·안전 서비스

- 재난·안전 유즈케이스 데이터 및 서비스 개발 시나리오를 활용하여, 재난·안전 서비스를 디지털 트윈에서 가상화하였으며, 실제 대상지에 적용하여 사용성 검증
- 실증도시인 대구시의 서구 비산동의 일부 낙후지역(인동촌)을 테스트베드로 지정하여 연구개발 중으로, 동일한 지역으로 선정

▶ 실증 대상지



시흥시 정왕동

- 서울대학교
- 시흥캠퍼스교육협력동
- 시흥에코센터 초록배곧

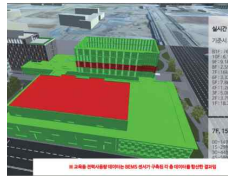
대구시 서구

- 인동촌
- 도시재생지원센터

단위서비스 및 요소기술

에너지 모니터링 서비스

- BEMS의 실시간 전력사용량 데이터를 활용한 건물별, 층별, 존별 전력사용량 모니터링



에너지 시 예측 서비스

- AI 학습/추론을 통하여 시간/일 단위의 건물별, 층별, 존별 전력사용량 및 쾌적도 예측



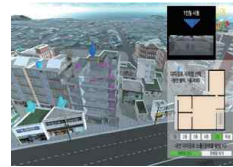
에너지 시뮬레이션 서비스

- 시설물의 BIM 데이터 및 기상 데이터를 활용한 에너지 시뮬레이션 기반 전력사용량 예측



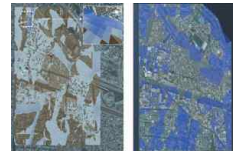
화재 서비스

- 화재 센싱 데이터 실시간 연동 및 시각화, 재실자 대상 화재 대피 장소까지의 최단 대피경로 표출



홍수 서비스

- 수치해석 기반 2D 침수예측 데이터 및 시뮬레이션 기반 3D 침수예측 데이터 시각화



폭염 서비스

- 폭염 고위험 지역의 우선순위 선정을 통한 살수차 최적경로 도출, 히트맵 시각화 및 폭염 대피경로 안내



▶ 실증을 통한 시사점

- 본 과제의 디지털 트윈은 데이터 허브와의 연계가 필수이지만 데이터 허브 구축이 지연된 관계로 2-2 세부과제의 IoT 데이터 플랫폼 및 3-2 세부과제의 에너지 플랫폼과 실시간으로 연계 및 수집하는 방향으로 변경하였음
- 따라서 향후 데이터 허브 구축 완료시 디지털 트윈과 연계를 위한 “데이터 허브와의 기술적 연계방안”을 제시하였음

▶ 타 지자체 확산방안

- 본 기술은 국가공간정보포털에서 제공하는 공간정보를 기반 데이터로 활용함으로써, LOD 2.5 수준의 도시 디지털 트윈 모델 구축은 국내 대부분의 지역에 적용할 수 있음
- 또한 BIM-GIS 데이터를 연계하여 디지털 트윈을 개발 하였으므로, GIS 기반의 서비스뿐만 아니라 스마트시티의 모든 서비스를 구현 가능하여 타 지자체 확산에 용이함



연구책임자

- 서울시립대학교
- 현창택 교수
- cthyun@uos.ac.kr

• 목차 •

제1장

개요

- 1. 배경 및 목적..... 532
- 2. 스마트시티에서의 디지털 트윈 필요성 ... 533
- 3. 스마트시티에서의 디지털 트윈 필요성 ... 535

제2장

연구 개발 성과

- 1. 연구개발과제 성과로드맵 538
- 2. 연구개발과제 최종성과물 540

제3장

실증 경과

- 1. 연구개발과제의 지자체 실증..... 560
- 2. 실증대상 및 서비스..... 561

제4장

확산 방안

- 1. 실증도시 확산/운영방안 571
- 2. 타 지자체 확산/운영방안 575

제5장

Lesson Learned

- 1. 문제해결 사례 578
- 2. 기술적 한계 580

• 🔍 용어 정리 •

용어	정의
BEMS	건물에너지관리시스템, 건축물의 쾌적한 실내환경 유지와 효율적인 에너지 관리를 위하여 에너지 사용내역을 모니터링하여 최적화된 건축물 에너지 관리 방안을 제공하는 계획·제어·관리·운영 등이 통합된 시스템(Building Energy Management System)
BIM	시설물의 생애주기 동안 발생하는 모든 정보를 3차원 모델 기반으로 통합하여 건설 정보와 절차를 표준화된 방식으로 상호 연계하고 디지털 협업이 가능하도록 하는 디지털 전환 체계(Building Information Modeling)
CityGML	인터넷 환경에서 3차원 공간정보를 표현하고 저장·공유할 수 있는 XML 기반 언어이자 데이터 구조(City Geography Markup Language)
CPS	디지털 트윈의 상위단계 개념으로 가상과 현실의 연동을 위한 인프라 구축에 관한 체계(Cyber-Physical System)
FEMS	공장 에너지 관리시스템, 공장 내 설비의 에너지 측정에서 모니터링, 분석, 계획 그리고 제어를 통해 공장 내에 공급, 소비되는 에너지를 최적화시켜주는 시스템 (Factory Energy Management System)
GIS	지리 정보 체계, 생활에 필요한 지리정보(위치자료와 속성자료)를 데이터로 변환하여 효율적으로 활용하기 위한 정보시스템(Geographic Information System)
HEMS	가정 에너지 관리시스템, 전기, 가스 등의 에너지 사용에 대한 모니터링, 제어 및 최적화를 위한 에너지 관리 서비스를 제공하는 시스템(Home Energy Management System)
IFC	소프트웨어 간에 BIM 모델의 상호운용 및 호환을 위하여 개발한 국제 표준(ISO 16739)기반의 데이터 포맷(Industry Foundation Classes)
LOD	3차원 GIS데이터를 효율적이고 빠른 속도로 가시화하기 위해, 사용자 시점에서부터 거리에 따라 지형, 영상, 3차원 객체의 정밀도와 해상도를 단계적으로 표현하는 기술(Level Of Detail)
OGC	개방형 공간정보 컨소시엄, 지리 공간정보 데이터의 호환성과 기술 표준을 연구하고 제정하는 비영리 민간 참여 국제기구(Open Geospatial Consortium)
디지털 트윈	3D 디지털 모델을 기반으로 현실세계의 물리적인 객체를 정해진 주기 및 정확도로 동기화되는 가상세계에 디지털로 복제하여 가상공간의 다양한 환경이나 조건에서 시뮬레이션 및 분석을 통해 최적의 결과를 도출하여 다시 현실에 적용하여 동기화하는 기술(Digital Twin)
리빙랩	생활 공간 속의 실험실이라는 뜻으로 시민들의 참여로 사회문제를 해결하는 개방형 실험실

· 그림 목차 ·

〈그림 1-1〉 디지털 쌍둥이 도시 형상도 (ETRI, 2020).....	533
〈그림 1-2〉 기관별 최종성과물 도출 및 통합, 연계 과정	535
〈그림 2-1〉 스마트시티 사업에서 개발기술의 위치 및 참여기관의 역할.....	539
〈그림 2-2〉 기관별 개발기술 연계 개념도	540
〈그림 2-3〉 IFC 데이터의 형상/속성 정보 분리 과정	542
〈그림 2-4〉 클라우드 기반 디지털 트윈 시스템에서의 디지털 트윈 S/W의 위치	543
〈그림 2-5〉 BIM-GIS 기반 디지털 트윈 S/W의 시스템 아키텍처(주요부분 설명)	544
〈그림 2-6〉 상관관계 분석모듈 프로세스	545
〈그림 2-7〉 인공지능 학습모델관리 S/W 개발 시스템 개념도	547
〈그림 2-8〉 인공지능 학습모델관리 프로세스 흐름과 DB 구성	548
〈그림 2-9〉 인공지능, 빅데이터 처리 프로세스	549
〈그림 2-10〉 인공지능 학습모델관리 S/W 실행화면	550
〈그림 2-11〉 클라우드 기반 디지털 트윈 서비스 아키텍처	551
〈그림 2-12〉 PC 웹 화면설계	552
〈그림 2-13〉 모바일 웹 화면설계 (세로 길이 80).....	553
〈그림 2-14〉 클라우드 환경에서의 구성.....	554
〈그림 2-15〉 Statemachine 사용 예제	554
〈그림 2-16〉 Monitoring S/W web UI	555
〈그림 2-17〉 Hot-patching S/W 성능 평가 결과	556
〈그림 2-18〉 데이터 및 프로세스 표준화 방안	556
〈그림 2-19〉 데이터 표준형태 Type	557
〈그림 2-20〉 유즈케이스 데이터 분석 프레임워크 표준화 과정	558
〈그림 2-21〉 기초 데이터 및 유즈케이스 데이터 표준화	558
〈그림 3-1〉 기술개발과 실증장애요인 및 극복방안	560
〈그림 3-2〉 세부과제 연구내용 구성	562
〈그림 3-3〉 화재 감지 여부 실시간 시각화	562
〈그림 3-4〉 재실자 최단대피경로 시각화	563

〈그림 3-5〉 2D 수치해석 결과 3차원 시각화	563
〈그림 3-6〉 3D 물리 시뮬레이션 기반 침수 예측.....	564
〈그림 3-7〉 폭염저감장치 실시간 상태정보 시각화.....	564
〈그림 3-8〉 살수차 최적경로 도출	565
〈그림 3-9〉 실시간 기온에 따른 폭염 피해 위험지역 시각화.....	565
〈그림 3-10〉 세부과제 개발 서비스	567
〈그림 3-11〉 실시간 전력사용량 모니터링	567
〈그림 3-12〉 전력사용량 패턴 시각화.....	568
〈그림 3-13〉 실시간 태양광 발전량 모니터링	568
〈그림 3-14〉 지열시스템 모니터링	569
〈그림 3-15〉 통계 기반 예측 서비스	569
〈그림 3-16〉 건물정보 기반 예측 서비스	570
〈그림 3-17〉 AI 기반 예측 서비스	570
〈그림 4-1〉 하드웨어 권장 사양	572
〈그림 4-2〉 시흥에코센터 DT 설치 방안	574
〈그림 4-3〉 디지털 트윈 기반 전통시장 화재 모니터링 구현 화면	575
〈그림 4-4〉 디지털 트윈 기반 에너지 사용량 시각화	576
〈그림 4-5〉 디지털 트윈 기반 시설물 통합관리시스템	576
〈그림 4-6〉 반경 내 CCTV 감지.....	577
〈그림 5-1〉 Unity와 QGIS 간 좌표정보 입력 시 출력 비교	579
〈그림 5-2〉 Unity에서 통합기준점을 원점으로 하는 좌표계 구현 시, 오차범위 계산	579
〈그림 5-3〉 디지털 트윈 프레임워크 2.0	581

1 | 배경 및 목적

1-1 배경

D 디지털 트윈과 스마트시티 디지털 트윈의 개념

● 디지털 트윈

- 디지털 트윈의 개념은 자산/시스템의 동적인 디지털 표현으로 현실 공간의 특정 대상(물리적 자산, 프로세스)을 디지털로 복제하여 가상공간의 다양한 환경이나 조건에서 시뮬레이션 및 분석하고 최적의 결과를 도출하여 다시 현실에 적용함으로써 동기화하는 기술이다.

● 스마트시티 디지털 트윈

- 스마트시티 디지털 트윈은 가상환경 내 도시의 3차원 객체모델 구축 및 도시 내 센서 인프라를 통해 수집된 센싱 데이터를 연동하여 실시간으로 도시정보를 활용할 수 있는 동적모델을 의미한다.
- 동적모델 기반의 활용을 포함한 큰 범위의 스마트시티 디지털 트윈 기능은 아래와 같이 정의된다.
- 동적모델의 시뮬레이션을 통한 분석 및 예측 결과를 도출하여, 도시정책 결정권자의 의사결정에 활용할 수 있는 도메인별 서비스 기능을 한다.
- 의사결정을 통한 해결방안을 동적모델에 반영하였을 때, 실제 물리적 세계에도 동일하게 반영할 수 있는 CPS 기반 원격제어 기능을 한다.



〈그림 1-1〉 디지털 쌍둥이 도시 형상도 (ETRI, 2020)

2 | 스마트시티에서의 디지털 트윈 필요성

● 스마트시티 기술들 간의 융합과 핵심 공통플랫폼으로서의 역할

- 디지털 트윈은 다양한 신기술들을 산업이나 도시 현장에 적용하여 생산성, 안전성, 경제성을 향상하고자 하는 목적에 부합한 융합기술로 주목받고 있으며, 스마트시티의 각종 서비스들을 시민들이 체감적으로 느끼고 리빙랩과 DR(Demand Response)의 양방향적 상호작용을 통해 지속가능하고 맞춤형/실감형 서비스 제공을 가능하게 한다.

● 효율적인 도시 운영 의사결정 지원도구로서의 구현

- 디지털 트윈의 활용을 통해 다양한 도시/사회 문제와 관련된 데이터를 수집하고 축적하여 여러 현상을 가상도시 모델로 분석 및 시뮬레이션하여, 스마트 교통, 스마트 에너지, 스마트 치안 등 영역의 기술과 연계 운용되어 도시 상황을 직관적으로 분석·예측하고 신속한 대응을 가능하게 한다.

2-1 목적

● 기존 도시 운영관리시스템 및 디지털 트윈 S/W의 한계

- 2차원 건물 도면 기반의 시스템은 광범위한 지역의 정보가 점이나 구획으로 표시되어 효과적인 정보 가시화가 제한되며, 단순 모니터링 도구로 활용되는 CCTV는 효율적인 도시 운용·관리 시스템으로서는 미흡하다.
- 클라우드 기반 디지털 트윈 플랫폼들(Dassault Systèmes, Bentley Systems 등)은 확장성이 부족하고, 오픈소스를 활용한 3D GIS 기반 디지털 트윈 S/W들은 수치해석 수준의 시뮬레이션 수행 능력이나 BIM 정보 활용 등에는 미흡하다.

● 3차원 객체 기반 디지털 트윈 기술을 활용한 한계점 개선

- BIM(Building Information Modeling)-GIS(Geographic Information System) 데이터 기반 디지털 트윈화된 물리 자산의 3D 객체모델을 활용하여 기존 시스템의 한계점을 개선할 수 있다.
- 실내, 실외의 모든 공간을 가상공간에 객체화하여 도시 내 다양한 센싱정보를 실시간 위치기반으로 제공한다.
- 인공지능 학습·추론 기술을 활용, 다양한 도시문제에 대한 솔루션 제시 및 도시정책 의사결정 지원에 활용한다.

● 연구의 비전 및 목표

- 실증도시, 시범도시와 같은 스마트시티 사업을 위한 범용적 디지털 트윈을 구현할 수 있는 기반기술 개발을 비전으로, 그림 2와 같이 참여기관별 성과물을 도출, 통합, 연계하여 실증도시의 유즈케이스(2-2 세부과제 재난·안전 서비스, 3-2 세부과제 에너지 서비스) 구현을 통한 실효성 검증을 목표로 한다.
- 개발연구의 세부 최종목표는 아래와 같다.
- 도시정책 의사결정을 위한 데이터 분석 및 활용 가능한 지능형 디지털 트윈 S/W를 개발한다.
- 클라우드 기반 Web 서비스를 통한 불특정 다수의 사용자에게 디지털 트윈 서비스를 제공한다.

- 스마트시티 디지털 트윈을 위한 데이터 유형 및 처리 표준안을 도출한다.

3 | 특징 및 기대효과

3-1 기관별 최종성과물의 주요 기능과 특징



〈그림 1-2〉 기관별 최종성과물 도출 및 통합, 연계 과정

● 서울시립대학교: 실증도시 지능형 디지털 트윈 S/W

- 디지털 트윈 시스템에서 활용하는 데이터 저장소와 관리방안 및 각 모듈의 연계를 위한 통신방안이 수립된 서버 개발, 서버로부터 받은 데이터를 서비스 시나리오에 따라 사용자에게 제공하기 위한 시뮬레이션 및 시각화 엔진 등이 포함된 디지털 트윈 S/W 개발, 그리고 다양한 데이터를 기반으로 상관관계 분석 및 에너지 시뮬레이션 수행을 통한 예측 기능을 개발했다.
- 주요 기능 및 특징으로 범용 User Interface, 상관관계 분석 및 데이터 표출, 유즈케이스 시뮬레이션 및 데이터 표출, 지형지물 형상 및 속성정보 표출 등이 있다.

● **KT: 디지털 트윈 데이터 표준안**

- 본 연구의 각 성과물 개발 과정에서 정의한 데이터와 새롭게 제시한 방법에 따른 데이터 및 처리 프로세스를 표준화시켜 정리하였으며, 주요 기능 및 특징으로 구조 데이터 표준안, 기초 데이터 표준안, 유즈케이스 데이터 표준안, 데이터 처리 프로세스 표준안 등이 있다.

● **크로스넷: 클라우드 기반 서비스 프로토타입**

- 클라우드 기반 디지털 트윈 서비스를 위한 아키텍처 및 통합연구 성과물의 가상화 방법 제시 및 사용자 유형별 UI를 설계하고 구현하였으며, 주요 기능 및 특징으로 클라우드 기반 서비스 아키텍처, 웹 기반 서비스 제공, 모바일 기반 서비스 제공 등이 있다.

● **티쓰리큐: 인공지능 학습모델관리 S/W**

- 빅데이터 처리 및 학습·추론 개발관리가 가능한 A.I.모델 통합플랫폼 개발로 디지털 트윈 S/W의 연계와 A.I.기반 디지털 트윈 서비스 제공 가능성을 검증하였으며, 주요 기능 및 특징은 관리자 기능, 추론모델 조회/이상 판정 API조회, 학습모델 설계/실행/배포, 데이터 정제 및 관리 등이 있다.

● **한양대학교: 시스템 안정화 S/W**

- 디지털 트윈 서비스 중 실시간으로 오류탐지를 실행하고 시스템 중단 없이 이전 상태로 되돌리는 hot-patching S/W를 개발하였으며, 주요 기능 및 특징으로 함수 호출 패턴 감지 모니터링 S/W, 모니터링 결과 확인 대시보드, 무중단 서비스 hot-patching 기법 등이 있다.

3-2 기대효과

스마트시티 디지털 트윈의 기대효과

● **미래지향적 스마트시티의 실현**

- 도시 상황을 실시간으로 반영하는 디지털 트윈 기술이 도입되어 자동화되고 지능화된 효율적인 도시를 운영·관리할 수 있다.
- 시뮬레이션을 활용한 도시의 미래계획 설계와 A.I. 기술을 활용한 영향평가를 통해, 지속 가능한 도시운영의 최적안을 도출하여 비용을 절감할 수 있다.
- 시민의 접근성을 높이고, 도시정책 의사결정에 대한 참여율을 높임으로써, 시민 체감형/참여형 리빙랩 구현을 위한 필수 도구로써 활용될 수 있다.

연구의 기대효과

기술적·경제적으로 향상된 디지털 트윈 S/W

- BIM-GIS 데이터를 활용한 도시 관점에서의 경량화된 3차원 공간데이터 표준 수립이 가능하며, 오픈소스 개발도구 사용을 통한 경제적 효과를 기대할 수 있다.

리빙랩 기반 체감형 시민 참여를 통한 스마트시티 활성화

- PC/모바일 Web 형태로 운영함으로써 불특정 다수의 시민에게 혜택과 참여를 제공할 수 있는 서비스가 가능하다.

효과적인 도시 운영 및 정책 의사결정 지원기술로서의 활용

- 도시 공간정보 및 센서 데이터를 활용한 상관관계 분석 및 AI 학습/추론, 시설물 정보 기반 시뮬레이션 등 디지털 트윈을 활용한 도시 빅데이터 분석 및 도시정책 의사결정 지원을 가능하게 한다.

디지털 트윈 S/W 및 AI S/W의 제품화/사업화

- 도시 디지털 트윈에 특화된 3D 객체모델과 인공지능 관련 기술 및 표준안에 대한 특허 출원 등을 통해 디지털 트윈 기술의 고도화로 지식 재산을 확보할 수 있다.

스마트시티를 추진 중인 시범도시 및 타 지자체를 대상으로 적용

- BIM-GIS 데이터를 연계하여 디지털 트윈을 개발함으로써, 스마트시티의 모든 서비스를 구현 가능하여 시범도시 및 타 지자체 확산이 가능하다.

1 | 연구개발과제 성과로드맵

1-1 통합성과 목표

● 도시정책 의사결정을 위한 데이터 활용이 가능한 지능형 디지털 트윈 S/W 개발

- 본 과제에서 제시하는 지능형 디지털 트윈 S/W는 3차원 객체모델 기반 시스템으로서, 대상의 형상정보와 상태정보를 모두 지니고 있는 객체모델로 구현하여 물리 시뮬레이션을 포함한 분석 서비스 제공 및 데이터 통합관리가 가능하다.
- 현재 가장 대중적인 IFC(Industry Foundation Classes)-CityGML(City Geography Markup Language) 통합 데이터 기반의 도시 모델 구축 방법으로는 방대한 정보의 양으로 인해 도시 스케일의 3차원 모델 구축이 불가능하였으나, 본 과제에서는 이를 경량화하여 활용하는 방법을 개발하고 최종성과물에 적용하였다.
- 또한, 지능형 디지털 트윈 S/W는 도시 지형지물의 공간정보 표출 외에 공간정보와 센서 데이터를 포함한 유즈케이스별 데이터 항목 간 상관관계 분석이 가능하며, 인공지능 학습모델관리 S/W와의 실시간 연동을 통해 인공지능 학습·추론 데이터의 활용이 가능하여 실시간 도시정보 변화의 직관적 인지뿐 아니라 예측을 통해 도시정책의 의사결정 지원이 가능하다.

● 클라우드 기반 디지털 트윈 서비스를 통한 불특정 다수의 사용자에게 서비스 제공

- 본 과제에서는 스마트시티 데이터 기반 디지털 트윈 서비스 기술을 위한 데이터 플랫폼과의 실시간 연동기술, 클라우드 기반 Web 서비스 적용을 위한 지능형 디지털

트윈 S/W의 가상화 및 이를 위한 클라우드 환경 구성 방안을 제시했다.

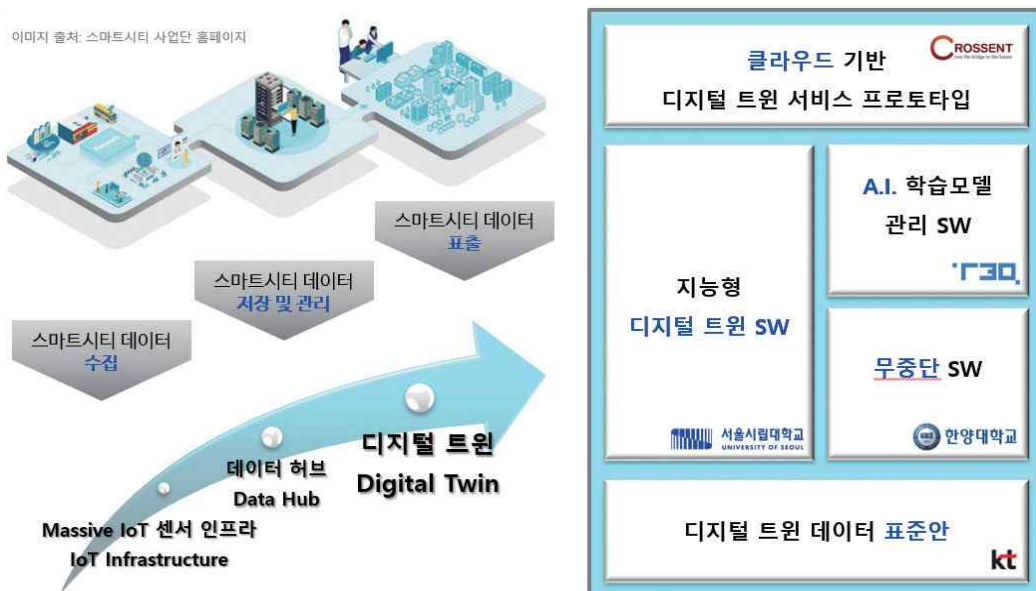
- PC/모바일 Web 등 다양한 형태의 서비스 제공을 통해 장소의 제약이 없고 불특정 다수의 사용자 편의를 도모하기 위한 서비스를 개발하였으며, 클라우드 환경에서의 실시간 오류탐지 모니터링 및 Hot-patching 기술을 이용하여 서비스의 안정화를 도모하였다.

● 스마트시티 디지털 트윈을 위한 데이터 유형 및 처리 표준안 도출

- BIM-GIS 기반 스마트시티 디지털 트윈 구축기술의 표준화를 위한 데이터 분류 및 표준화 방안을 정의하였다.
- 스마트시티의 다양한 유즈케이스 기반 데이터 유형 및 처리 프로세스를 표준화하였다.

1-2 기관별 개발기술 연계 개념도

- <그림 3>은 '스마트시티 혁신성장동력프로젝트' 사업에서 본 연구 개발기술의 위치 및 참여기관의 역할을 나타낸다.

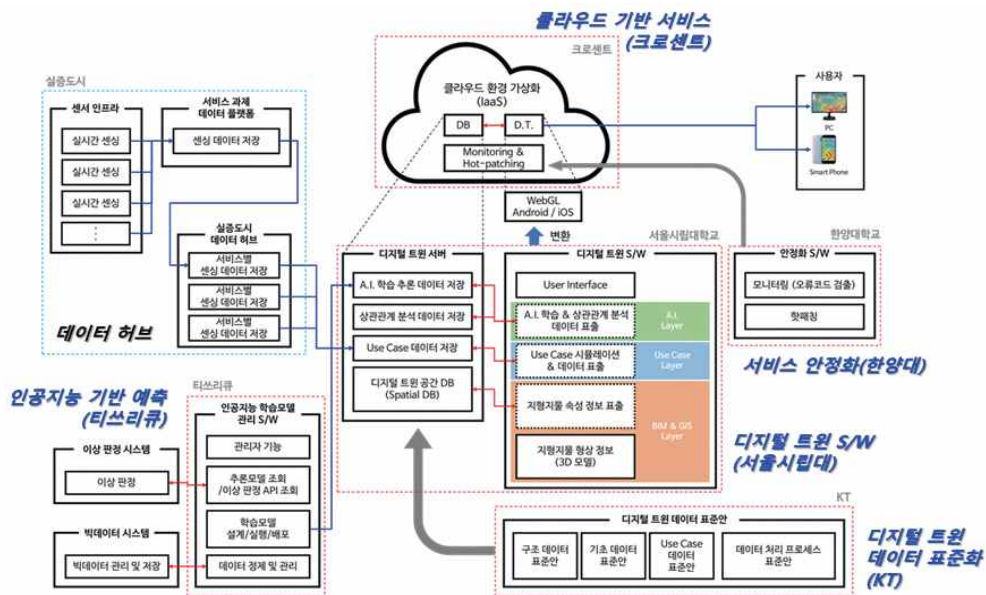


<그림 2-1> 스마트시티 사업에서 개발기술의 위치 및 참여기관의 역할

● 기관별 개발기술 연계 개념도

– <그림 2-2>는 본 연구의 통합성과물의 구성요소를 도식화한 개념적 다이어그램이며, 전체를 6개의 대단위 요소기술로 구분하고 개발 주체(참여기관)를 명시했다.

- 각 대단위 요소기술은 하위기능을 개념화하고 짧은 텍스트로 요약한, 수 개의 네모 박스들로 구성되어 있으며, 각 네모박스는 상호 연관 관계를 화살표로 표시하였다.
- 파란색 화살표는 대단위 기술 간 데이터 흐름을 나타낸 것이고, 붉은색은 대단위 기술 내에서 하위기능 간 데이터 흐름을 나타냈다.



<그림 2-2> 기관별 개발기술 연계 개념도

2 | 연구개발과제 최종성과물

2-1 실증도시 지능형 디지털 트윈 S/W

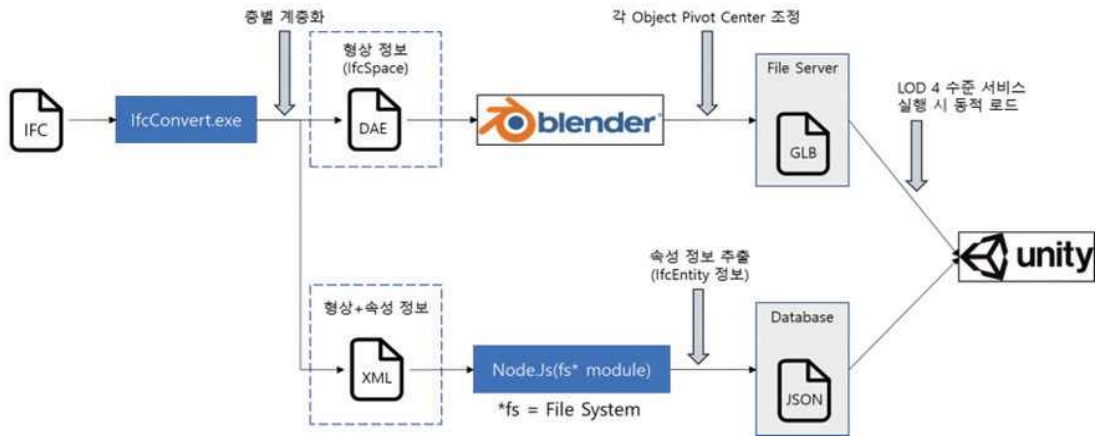
● 디지털 트윈 S/W 개발 배경

– 디지털 트윈은 현실에서의 도시공간을 디지털로 복제하여 가상공간에서의 시뮬레이션 및 분석과정을 통해 도시문제 해결을 지원할 수 있는 시스템으로서, 스마트시티를 위한 디지털 트윈을 구축하기 위해서는 공간 개념이 필수적으로 요구되며, 현실 세계 도시 구성요소의 공간정보를 기반으로 구축되어야 한다.

- 최근 전 세계적으로 도시 공간정보를 활용하여 서비스별 LOD(Level of Detail)에 따라 디지털 트윈을 구축하여 스마트시티의 각종 서비스를 제공하고자 다양한 시도가 이루어지고 있으나, 대부분 LOD 3 이하의 공간정보를 기반으로 하고 있어 범용적으로 서비스를 제공하기에는 한계가 있다.
- 또한 BIM 표준(IFC, Industry Foundation Classes) 기반 정보 활용이나 Web 3D engine 을 이용한 시각화 등은 정보모델 특성상 구조가 복잡하고 파라메트릭한 정보를 다량 포함하고 있으므로, 크기가 너무 방대하여 도시 단위의 디지털 트윈 구축은 어려운 실정이다.
- 최근 한국건설기술연구원은 GML(Geography Markup Language) 및 IFC(Industry Foundation Classes)와 같은 기존 국제표준을 기반으로 BIM에서 GIS 정보 매핑 및 매핑 메커니즘에 대한 개념적 프레임워크를 제공하였으나, BIM과 GIS 두 이기종 모델 간의 스키마 통합 또는 매핑은 매우 복잡하고 모호한 문제가 있어, 아직까지는 물리적 스키마 통합이 아닌 개념적 매핑인 초기 단계이다.
- 이에 장기적인 관점에서 볼 때 LoS(Level of Service)에 따른 세부적인 디지털 트윈의 LOD를 설정하고, 이를 고려한 전체 스키마 통합이 아닌 서비스에 따른 전략적 통합 연구가 필요하다.
- 따라서 본 과제에서는 디지털 트윈의 필수 데이터인 BIM-GIS 데이터를 통합하여 활용하기 위해 디지털 트윈 구축 관련 문헌과 현황을 조사 및 분석하여 현시점에서 BIM-GIS의 현실적인 통합방안을 제시하였다.

● BIM-GIS 표준 데이터 활용 디지털 트윈 모델 구축방안 도출

- 본 연구에서 서울시립대학교는 IFC, CityGML 기반 디지털 트윈을 개발하기 위해 IFC 데이터의 DB화를 거쳐 필요한 entity를 선택적으로 활용하는 방법을 사용하여 최종성과물인 실증도시 지능형 디지털 트윈 S/W를 개발하였다.
- 서울시립대학교의 최종성과물인 실증도시 지능형 디지털 트윈 S/W에서 IFC 데이터를 구현하기 위해서는 IFC 데이터 전체를 사용하는 것이 아닌, 객체의 형상정보와 속성정보를 분리하여 부분별로 활용하는 방법이 필요하다.
- 또한 Unity로 개발된 서울시립대학교의 실증도시 디지털 트윈 S/W 프로토타입은 IFC 데이터를 객체별로 분리하여 저장하는 방법과 이를 Unity로 import하는 방법이 필요하다.



〈그림 2-3〉 IFC 데이터의 형상/속성 정보 분리 과정

- 따라서 IFC Openshell의 IFC Converter를 활용하여 IFC 파일의 형상정보와 속성정보를 따로 추출하였다. 형상정보는 IFC 파일을 GLB 포맷으로 변환 후 서버에 저장하고, 속성정보는 IFC 파일을 XML 포맷으로 변환 후 속성정보만 추출하여 디지털 트윈 DB에 JSON 포맷으로 적재함으로써 Unity에서 실시간으로 로드할 수 있게 개발하였다(그림 5)

● BIM-GIS 기반 디지털 트윈 S/W 개발

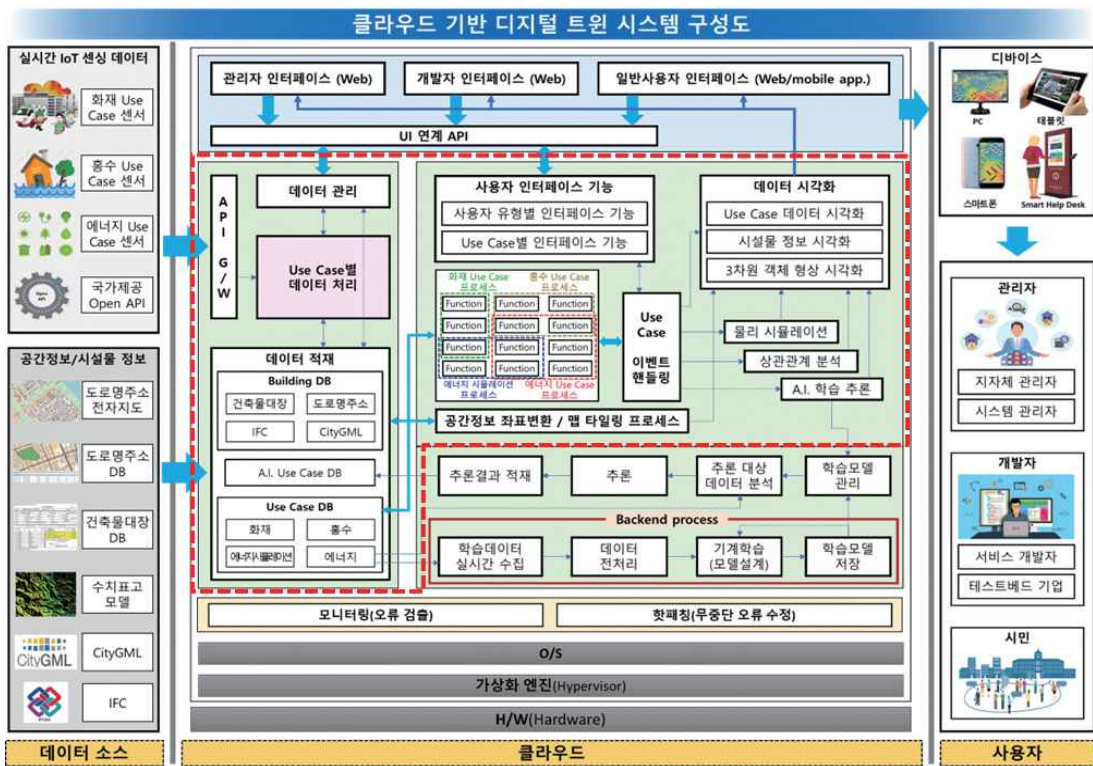
- BIM-GIS 연계방안을 적용하여 도시 스케일에서부터 건물 실내 스케일의 공간정보 기반 서비스를 제공할 수 있는 디지털 트윈 S/W를 개발하였으며, 이를 통해 데이터 갱신 및 유지보수 등 데이터 관리, 다른 플랫폼 및 S/W와의 연계 등 디지털 트윈 데이터를 다루기 위한 실질적인 도구를 개발하였다.
- 아래 ①~④는 도시 디지털 트윈 모델 구축 방법과 서비스 개발 및 제공을 위한 개발환경과 서비스 환경 방법까지 분류한 개발유형 현황을 정리한 것이며, 본 과제에서는 ①, ②, ④번의 디지털 트윈 모델 구축 방법을 적용하여 게임엔진을 기반으로 디지털 트윈 S/W를 개발하였다.
 - ① 국가제공 공간정보 활용: 시설물의 Footprint의 polyline으로부터 층수와 1개 층의 높이(임의지정, 본 과제에서는 3m)를 곱한 높이만큼 돌출시키므로 시설물의 외형과 높이를 동일하게 구현하는 것은 어렵기 때문에 이러한 방법은 LOD 2 수준의 디테일이 필요한 유즈케이스에 적용한다.
 - ② 직접측량자료 활용: 시설물 외부의 형상이 정확히 필요한 LOD 3 수준의 유즈케

이에는 항공측량 모델을 사용하거나, ④번의 LOD 4 수준의 모델 데이터의 내부 객체를 삭제하여 경량화하여 사용한다.

- ③ CityGML 데이터 활용: CityGML 포맷에 LOD 4 수준으로 개발된 국내 도시 대상 데이터가 부족하여 본 과제에서는 실증하지 않았다. 하지만, 본 연구에서 개발 도구로 활용하는 Unity에서 해외 도시 대상 CityGML 데이터 시각화를 테스트하여 성공하였으며, 향후 추가 연구 진행 시 CityGML 데이터 활용도 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.
- ④ IFC-CityGML 연계 방식: 본 과제에서는 CityGML의 속성정보는 국가공간정보를 대체 활용하고 IFC 포맷 데이터와 연계하여 LOD 4 수준의 유즈케이스에 적용하였다.

● 통합성과물에서의 위치

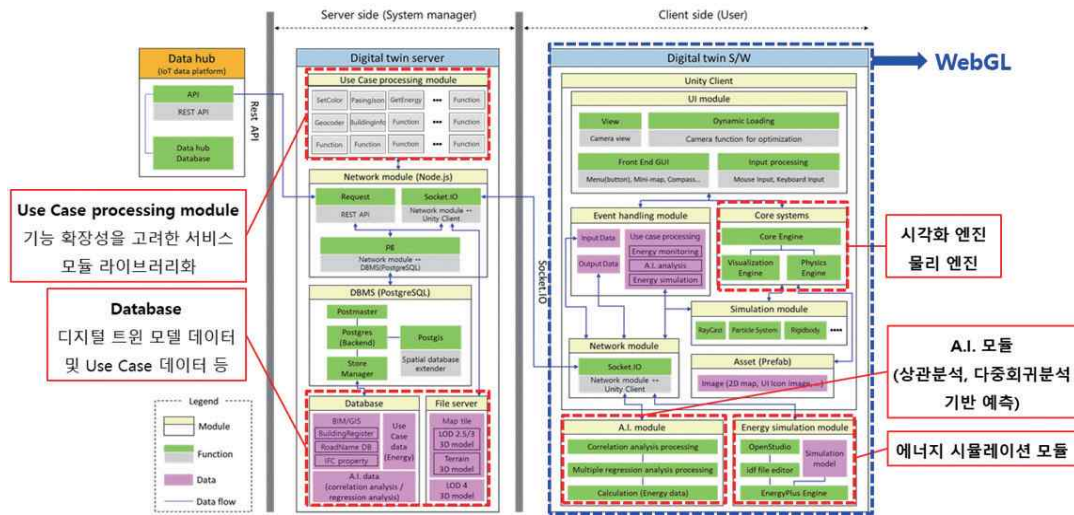
- 디지털 트윈 S/W의 물리적인 범위는 클라우드 기반 디지털 트윈 시스템의 중심부에 위치한다. 디지털 트윈 S/W는 활용할 데이터를 적재 및 관리하며 인공지능 모듈과 연결되어 있고, 서비스 시나리오에 맞게 데이터를 처리하고 시각화하여 Web 인터페이스로 송신하는 역할을 한다.



〈그림 2-4〉 클라우드 기반 디지털 트윈 시스템에서의 디지털 트윈 S/W의 위치

● 시스템 아키텍처

- <그림 2-5>은 BIM-GIS 기반 디지털 트윈 S/W의 구성요소 중 주요 부분들을 별도로 표시하여 명칭 및 역할을 작성한 것이며, BIM-GIS 기반 디지털 트윈 S/W는 디지털 트윈 서버(그림 7)의 좌측과 디지털 트윈 S/W(그림 2-5)의 우측로 크게 2개의 부분으로 나뉜다.



<그림 2-5> BIM-GIS 기반 디지털 트윈 S/W의 시스템 아키텍처(주요부분 설명)

2-2 디지털 트윈 기반 실증도시 상관관계 분석모듈

● 상관관계 분석기술 개요

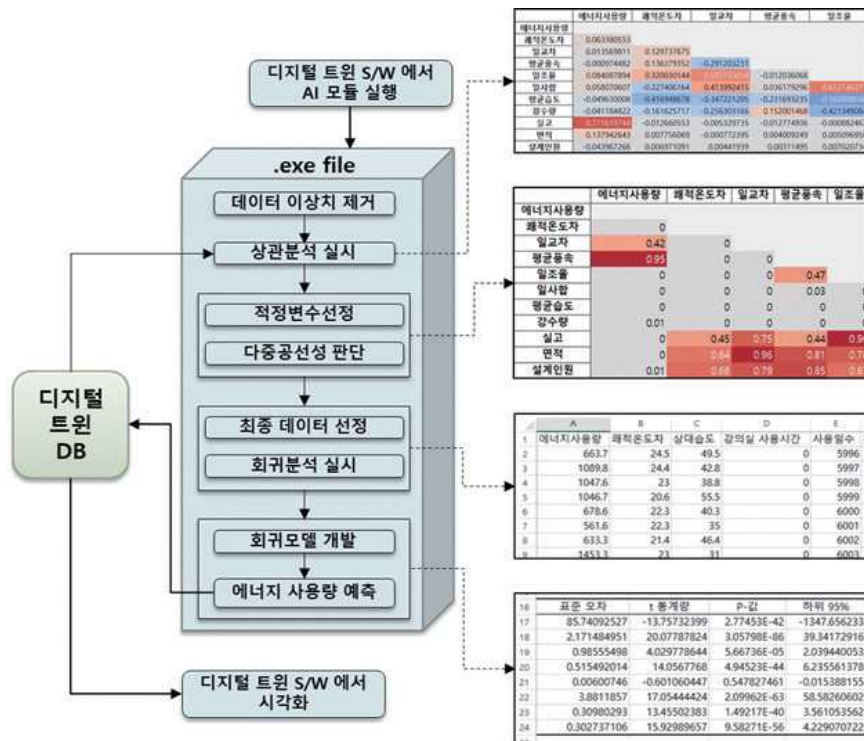
- 디지털 트윈 기반 상관관계 분석모듈은 현실세계에서 데이터허브 또는 디지털 트윈 S/W로 수집되는 각종 데이터를 분석하여 서비스 시나리오별 데이터 항목 간 상관관계를 도출함으로써 서비스 목적에 따른 주요 영향요인들을 선정하는 역할을 수행한다.
- 상관분석은 두 개의 변량에 대해 서로 상관되는 인자 항목들 간의 관련 여부와 그 관련성이 어느 정도인지를 수치적으로 표현하는 방법론으로서, 서로 상관관계가 있는 두 변량의 결부 관계를 찾아내어 하나의 변량 데이터로 상대 변량을 예측하는 통계적 분석이다.
- 상관분석을 통해 도출된 상관계수를 토대로 결과(y)에 미치는 영향요인(x)들의 가

중치를 계산할 수 있으며, 그 가중치를 활용하여 다중회귀분석, CBR(Case Based Reasoning) 등과 같은 기법으로 영향요인들의 값에 따른 결과를 예측할 수 있다.

- 따라서 상관분석 알고리즘을 이용한 대구시 서비스과제 2-2(화재, 홍수), 2-3(시설물관리), 3-2(빌딩/공장/도시 에너지 관리) 시나리오 기반 데이터의 상관관계 분석결과로 화재 확산량 및 위험지역 예측, 침수지역 및 구조 가능 지역 예측, 유지보수 시기 및 비용 예측, 에너지 사용량 및 전기요금 예측 등 다양한 분야에 활용이 가능하다.

● 상관관계 분석모듈 작동 프로세스<그림 2-6>

- 디지털 트윈 S/W에서 상관관계 분석모듈을 실행하면 실행파일이 구동된다.
- 백분위수 방법을 기반으로 각 존별 데이터의 이상치 제거를 실시한다. 이상치가 제거된 데이터를 활용하여 상관분석을 실시하고, 엑셀 시트에 결과가 표출된다.
- 회귀분석을 위해 유의확률(P-value)과 다중공선성 분석을 통하여 서로의 상관관계를 파악 후 적정변수를 선정한다. 선정된 변수들을 기반으로 회귀분석을 실시하여 회귀모형을 개발하고, 이를 활용하여 에너지 사용량을 예측한다.



<그림 2-6> 상관관계 분석모듈 프로세스

● 상관관계 분석모듈 개발

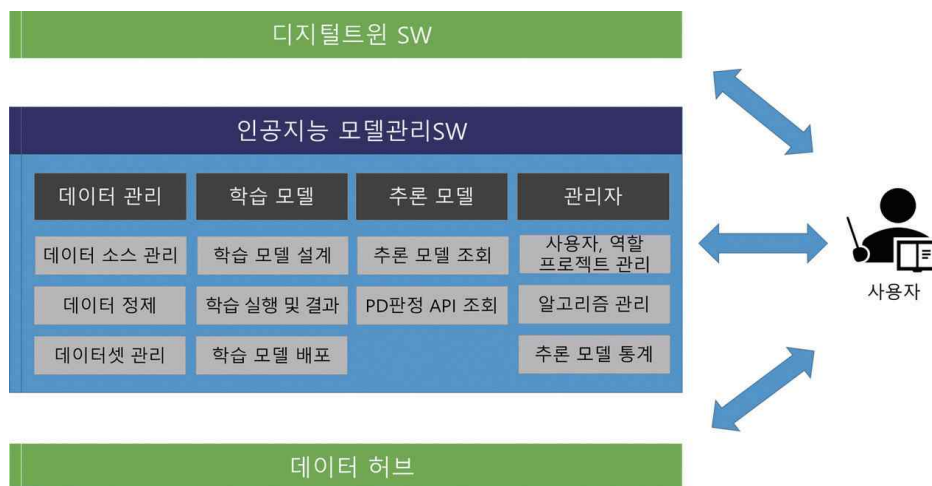
- 본 과제에서는 상관관계 분석모듈 개발을 위해 컴퓨터 프로그래밍 언어인 파이썬(Python)을 사용하며, 파이썬 표준 라이브러리를 참고하여 자동화를 위한 실행파일을 개발하였다.
 - 데이터 분석 라이브러리로서, **Pandas**를 사용하였으며, 분석결과를 플롯으로 시각화하기 위한 라이브러리로서, **matplotlib**를 사용하였다.
 - 이외에 벡터, 행렬 등 수치 연산을 수행하는 선형대수 라이브러리와 과학 및 수학 문제 연산을 위해 사용되는 라이브러리 등을 위해 다수의 라이브러리를 사용하였다.
 - 유즈케이스 데이터는 에너지 관리 서비스 필요성에 대한 배경과 원활한 시뮬레이션 진행을 위해 고려되어야 하는 영향요인 항목들로 이루어져 있다.
 - 실시간 데이터 항목들은 유즈케이스 연구 수행기관에서 설치한 각종 센서에서 발생하는 데이터를 수집하였고, 기타 영향요인 항목들은 국가통계포털 또는 실증도시 지자체 통계포털, 공공 데이터 포털 등을 활용하여 수집하였다.
- 상관관계 분석모듈의 작동과정은 다음과 같다.
 - 우선, 의사결정에 영향을 미치는 데이터 이상치를 제거하기 위해 백분위 방법을 활용하여 상위 1% 이상, 하위 1% 이하에 해당하는 데이터는 이상치로 판단하고 제거한다.
 - 데이터 이상치를 제거한 후 종속변수와 독립변수들 간 상관관계를 분석하여 상관계수 및 유의확률(0.01 이하)을 확인하여 회귀모형을 만들기 위해 활용될 변수를 도출한다.
 - 서로 간 상관계수가 높을 경우, 다중공선성에 의거하여 회귀분석에서 오류가 발생할 수 있기 때문에 서로 간 상관계수가 0.7 이상인 변수는 에너지 사용량과의 상관계수를 비교하여 상관계수가 높은 변수를 선정한다.
 - **Pandas** 라이브러리 내장 함수 `corr()`를 통해 입력 데이터의 상관관계 테이블을 생성한다.
 - 유의확률(P-value) 계산을 위해 수치형 데이터를 가져와 모든 변수를 탐색해가며 유의확률을 계산한다(소수점 2자리 반올림).
 - 상관관계 분석 결과를 `.xlsx sheet`에 표출 시, 값의 높낮이에 따라 채도를 변경하여 적용하였으며, 분석 결과를 통해 도출된 적정변수를 기반으로 회귀분석을 실시한다.
 - 회귀분석은 단계별 선택법을 통해 선택된 독립 변수를 활용하여 분석을 진행한다.

- 실행 방법(OS : Windows)은 명령 프롬프트(CMD) 또는 PowerShell에서 실행파일 (Main.exe)이 있는 경로로 이동하여, 다음을 입력하여 실행한다.
 - Main.exe -i {입력 파일 경로} -o {저장 경로} 또는 main.exe --input {입력 파일 경로} --output {저장 경로}를 입력한다.
 - 입력파일 경로 설정은 필수이며 저장 경로를 설정하지 않을 경우, 실행파일 경로에 결과파일이 생성된다.

2-3 디지털 트윈 S/W 탑재용 인공지능 학습모델관리 S/W

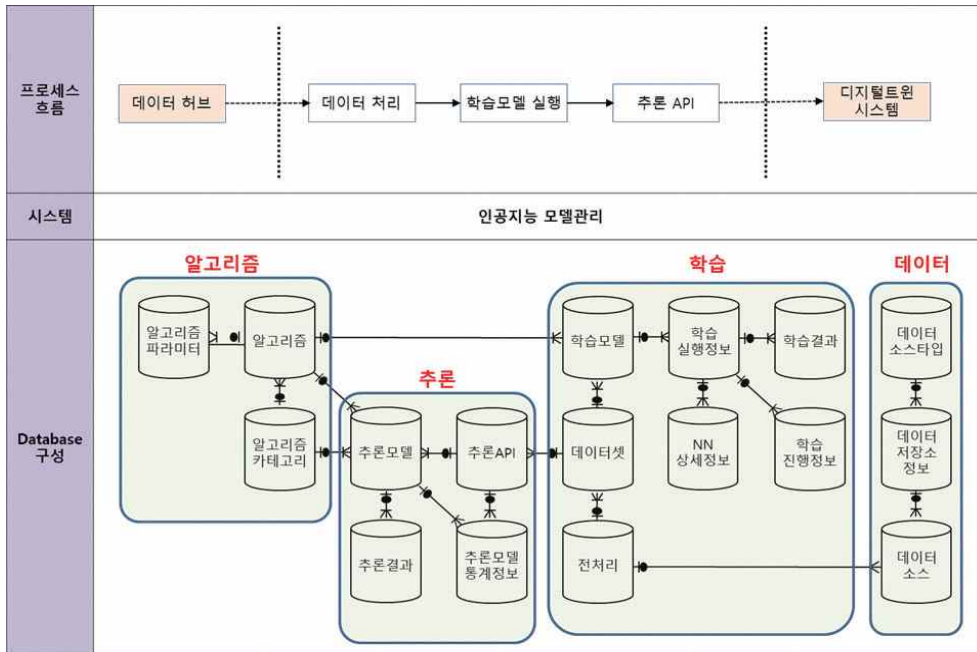
● 인공지능 학습모델관리 S/W 시스템

- <그림 2-7>에는 인공지능 모델관리 S/W의 4개의 서브 모듈과 각 서브 모듈별 상세 기능이 도식화되어 있으며, 데이터 흐름 순서는 다음과 같다.
 - 데이터허브로부터 수집-전송된 데이터를 데이터 관리를 통하여 라벨링, 전처리를 수행한다.
 - 그 후, 알고리즘을 설계하여 학습을 실행하고, 결과에 따라 재/추가학습을 진행하여 서비스를 위한 추론모델을 완성하여 API를 제작한다.
 - 추론 데이터를 디지털 트윈 S/W에 제공한다.



<그림 2-7> 인공지능 학습모델관리 S/W 개발 시스템 개념도

● 인공지능 학습모델관리 S/W 프로세스 흐름과 DB 구성



〈그림 2-8〉 인공지능 학습모델관리 프로세스 흐름과 DB 구성

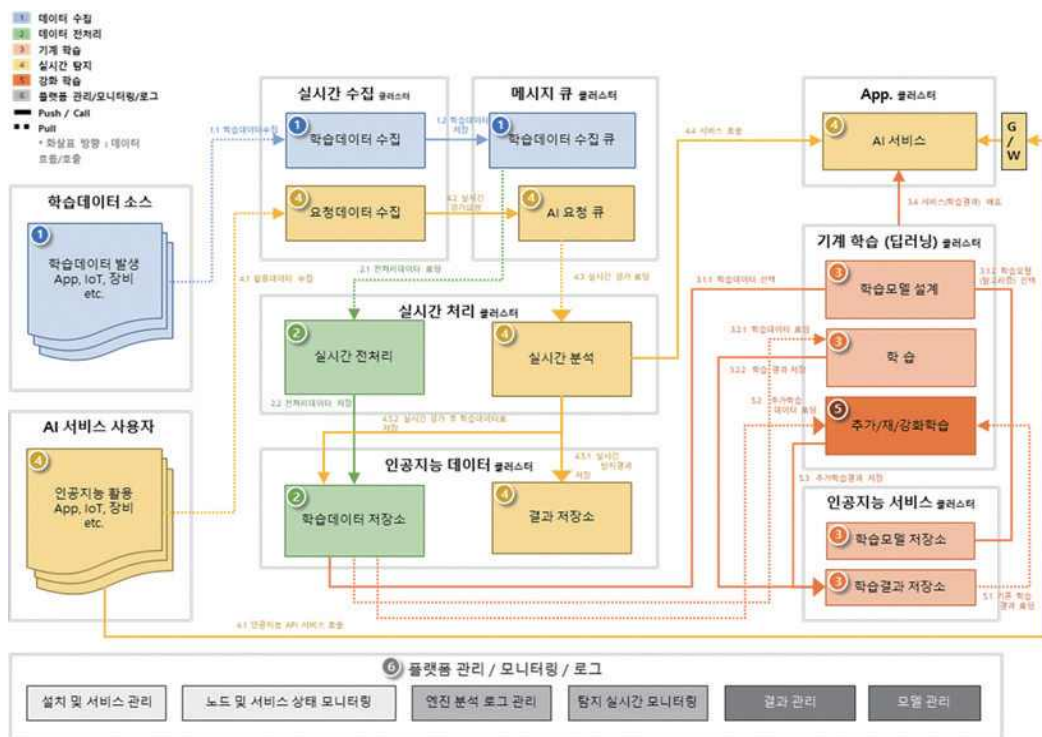
- 〈그림 10〉은 인공지능 학습모델관리 S/W의 프로세스 흐름과 DB 구성을 도식화한 것으로서, 외부시스템을 통하여 인공지능 학습모델관리 S/W로 전송된 데이터를 내부에서 처리하여 외부시스템으로 전송하는 과정에서의 3단계의 내부 프로세스를 도식화한 것이다.
- 프로세스 처리를 위한 DB 내 데이터 구성은 다음의 네 그룹으로 구분한다.
 - 알고리즘: 알고리즘 파라미터, 알고리즘, 알고리즘 카테고리 구성된다.
 - 추천: 추천 모델, 추천 API, 추천 결과, 추천 모델 통계정보로 구성된다.
 - 학습: 학습모델, 데이터 셋, 전처리, 학습 실행 정보, Neural network 상세정보, 학습 결과, 학습 진행 정보로 구성된다.
 - 데이터: 데이터 소스 타입, 데이터 저장소 정보, 데이터 소스로 구성된다.

● 디지털 트윈 S/W에서 활용될 인공지능 학습모델관리 S/W 개발

- 실증도시 지능형 디지털 트윈 S/W는 실증도시의 센싱 데이터 및 공간정보 등의 도시 데이터와 이를 기반으로 하는 서비스들의 통합관리를 통해 도시 운영·관리시스

템의 역할을 수행할 수 있으며, 이를 위해 실증도시의 3차원 공간정보 기반으로 구축한 가상공간상에 서비스 모듈들을 구동시키는 것이 목적이다.

- 디지털 트윈의 핵심기능을 크게 세 가지로 본다면 가상의 모델에서 실세계의 데이터를 모니터링하는 것과 인공지능을 활용한 예측 서비스 그리고 그 서비스를 기반으로 판단을 하고 가상의 공간에서 실세계를 제어하는 것이다.
- 티쓰리큐의 인공지능 학습모델관리 S/W는 인공지능/빅데이터 통합 플랫폼으로서 빅데이터 처리가 가능하고, 그 데이터를 기반으로 하는 실시간 추론이 가능하다. 특히, 여러 가지 서비스에 대하여 각 사용자들이 별도로 개발, 학습, 배포하는 것이 아닌, 데이터 수집, 전처리, 학습 및 평가, 튜닝과 데이터 후처리, 모델 배포 등의 인공지능 학습모델 개발 및 자원 모니터링 등의 운영/관리의 전 사이클에서의 기능을 지원하는 인공지능/빅데이터 통합 플랫폼이다.

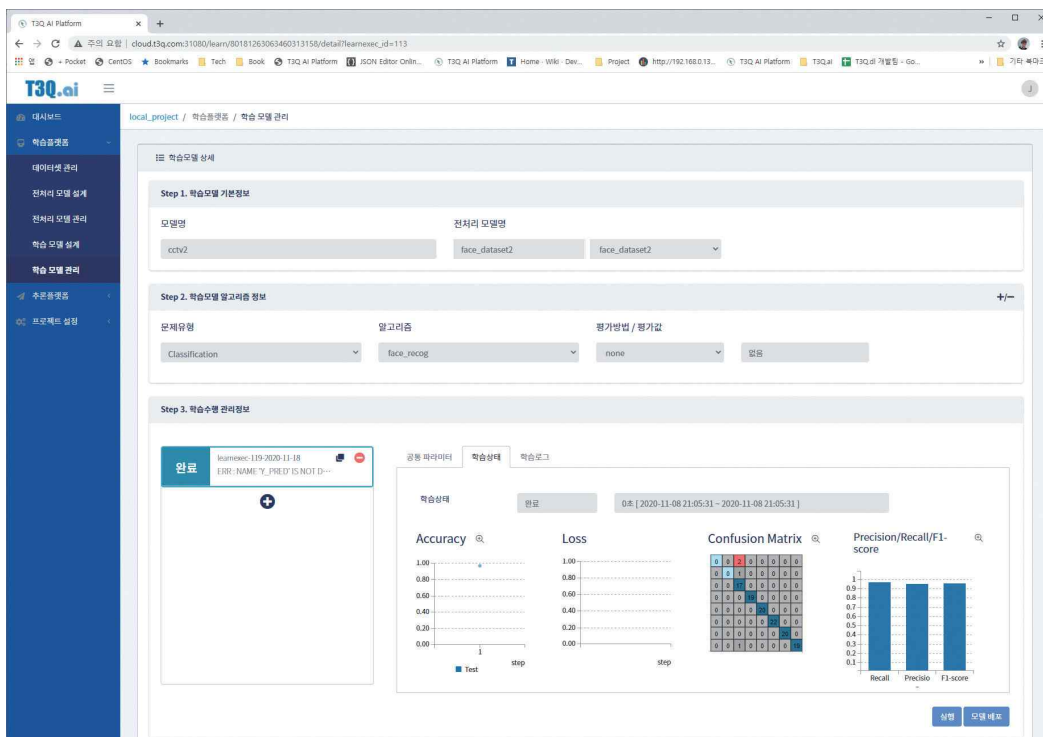


〈그림 2-9〉 인공지능, 빅데이터 처리 프로세스

- 인공지능 학습모델관리 S/W는 데이터허브로부터 전송되어 디지털 트윈 DB에 적재되는 실증도시의 센싱 데이터를 실시간으로 수집하여, 인공지능 알고리즘으로 추론/예측을 위한 모델링을 수행한 후, 추론결과를 지능형 디지털 트윈 S/W와 연계하

여 표출한다.

- 실시간 처리가 필요한 인공지능 서비스를 연계하는 타입으로 속도가 중요한 실시간 추론의 경우 디지털 트윈 S/W의 DB에 직접 접근하는 형태의 인터페이스를 사용하며, 실시간 추론을 위해 DB를 통한 직접적인 인터페이스를 사용한다.
- 인공지능 학습모델 추가·수정·보완·파라미터 변경·재학습·추가학습/추론서비스용 API 생성 및 상위시스템(디지털 트윈 s/w)에 제공하고, 하드 코딩이 아닌 코드생성 자동화, 학습모델 예측도 향상의 편의성(재학습/추가학습 기능) 확보가 가능하며 파라미터 변경의 편의성으로 학습모델 적합성에 대한 판단시간 단축이 가능하다.
- 학습 시 사용하는 파라미터는 러닝레이트(학습율), 배치사이즈(1회 학습량), Dropout, epoch(학습수행횟수), 자동저장주기, 최적화방법(옵티마이저, Loss function)등이 있다.
- 인공지능 학습모델관리 S/W 실행화면은 <그림 2-10>과 같다.

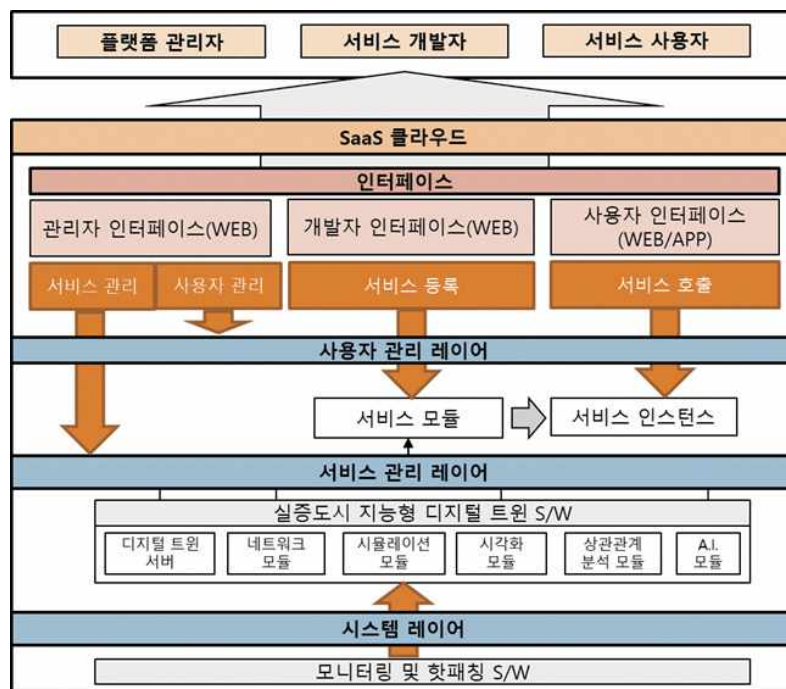


<그림 2-10> 인공지능 학습모델관리 S/W 실행화면

2-4 PC/모바일 기반 디지털 트윈 서비스 프로토타입

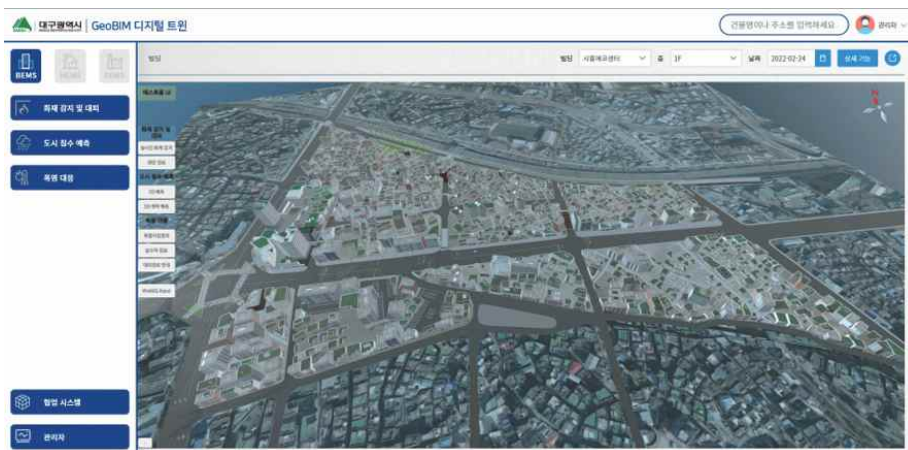
● 최종 연구성과물의 우수성

- 클라우드 기반 개발 아키텍처 구성으로 안정적인 서비스 지원을 통해 기술의 차별성과 독창성을 갖는다.
 - 컨테이너는 하이퍼바이저와 게스트 OS가 필요하지 않으므로 VM(Virtual Machine)에 비해 더 가볍고 크기가 작기 때문에 컨테이너 복제와 배포에도 용이하며, 운영체제 부팅이 필요 없으므로 서비스를 시작하는 시간도 짧다.
 - 컨테이너를 관리하는 가상환경 플랫폼인 ‘도커(Docker)’를 이용하면 Web Service, DB, NodeJS 등 실행환경 파일들을 하나의 이미지로 생성하여 서비스로 제공이 가능하다.
 - 디지털 트윈의 대용량 및 LOD 실시간성 등을 고려한 설계로 분산 파일 시스템의 고가용성, 동기화 등을 위해 오토스케일링 등 서버 용량 확대가 유연한 아키텍처로 구성하고, 대용량 데이터 저장 및 운영·관리를 고려하여 RDB 데이터는 큐브형 다차원 데이터 모델로 구성함으로써 유즈케이스 및 수집 데이터 확대에 유연하게 대응할 수 있다.



〈그림 2-11〉 클라우드 기반 디지털 트윈 서비스 아키텍처

- 클라우드 기반으로 시간적, 공간적, 디바이스에 제약이 없는 모니터링이 가능하다.
 - 실증도시 지능형 디지털 트윈 S/W를 WebGL 및 모바일 버전으로 변환 및 개발하여 클라우드 환경으로 배포하고, 특정 디바이스에 국한되지 않고 다양한 브라우저 및 모바일로 접속하여 언제 어디서나 관리자의 모니터링과 사용자의 서비스 이용이 가능하다.
- 유니티 모델을 웹 및 모바일 애플리케이션과 화면 연계를 위한 인터페이스를 개발하였다.
 - 유니티 모델을 웹으로 제공하기 위해 화면 연계에 필요한 인터페이스 개발을 통해 웹 및 모바일로 서비스 연동이 가능하다.
 - 국내 최초로 모니터링을 위한 유니티 모델을 모바일 웹으로 디지털 트윈 서비스를 구현하였다.
- 사용자 UI를 고려한 PC 웹 및 모바일 애플리케이션 화면설계로 사용자의 편의성을 고려하였다.
 - 사용자가 직관적으로 기능을 확인하고 옵션 메뉴를 선택할 수 있도록 UI를 고려한 화면설계를 실시하였다.



〈그림 2-12〉 PC 웹 화면설계



〈그림 2-13〉 모바일 웹 화면설계 (세로 길이 80)

● 디지털 트윈 협업시스템 구축

- 디지털 트윈 가상화 연구의 원활한 협업 지원 및 연구성과 공유를 위한 협업시스템을 구축하였다.
 - 담당자에게 디지털 트윈 서비스 업무 협업 요청 및 질의를 통한 협업과 소통 지원이 가능하다.
 - 자료실 제공으로 업무 자료 및 참고자료 공유가 가능하다.
 - 사용자 및 로그인 이력관리를 통한 기술적, 관리적 보호조치로 시스템의 안정성을 확보하였다.

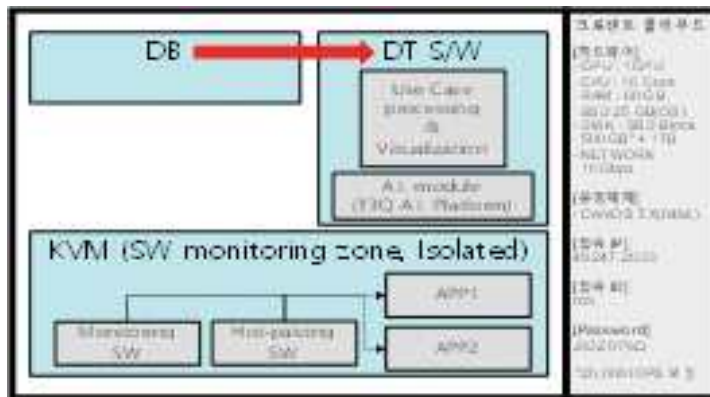
2-5 시스템 안정화 S/W

● 시스템 안정화 기술 및 관련 S/W 개요

- 기존에 존재하는 시스템 모니터링 기술은 대부분 자원 점유의 이상 징후를 탐지하는 방법으로서, 이러한 자원 사용량을 기반으로 하는 모니터링 시스템은 이상 징후 탐지에 수월하지만, 해당 문제의 존재 여부를 탐지하기는 어려우므로 함수 호출 패턴 모니터링 방법에 대한 연구를 진행하였다.
- 본 과제에서는 함수 호출 흐름을 비틀어 실행 오버헤드를 최소화하는 방법을 사용

하였고, 애플리케이션을 분석하여 오토마타를 만들어 앞서 수집한 함수 호출 리스트를 집어넣어 시스템의 이상징후 및 공격 탐지를 위한 시스템 콜 모니터링 대쉬보드를 개발하였다.

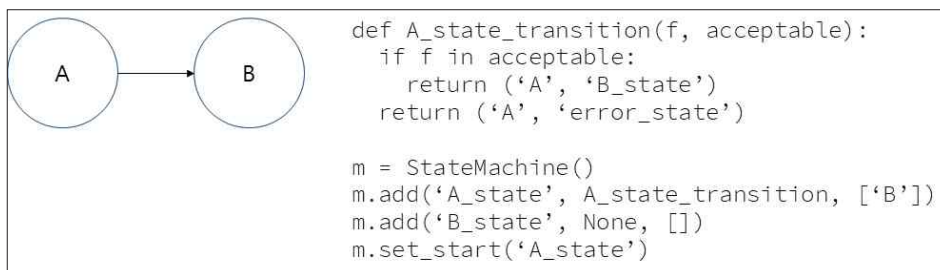
- 또한 디지털 트윈 서비스의 클라우드 시스템의 기저에서 디지털 트윈 서비스 프로세스의 중단 없이 패치를 진행하기 위한 Hot-patching 기술을 개발하였다.



〈그림 2-14〉 클라우드 환경에서의 구성

1 함수호출 모니터링 S/W 개발

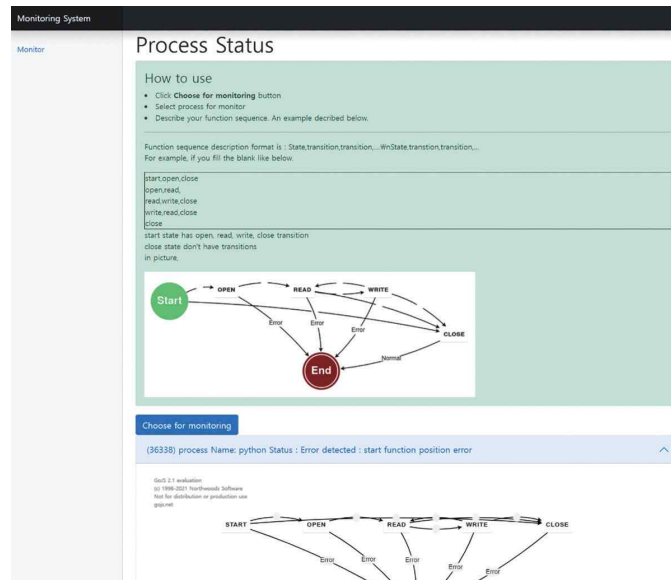
- 모니터링 S/W 이상징후 탐지 모듈
 - 이상징후 탐지는 파이썬(Python) 언어를 기반으로 작성되었으며, `statemachine`을 정의하고 정의된 상태를 벗어나면 오류로 인식하는 방법을 사용하였다.
 - 〈그림 2-15〉는 오류 검출을 위한 `statemachine`을 구현한 것으로서, 좌측 그림과 같은 `statemachine`을 정의하기 위하여 사용자는 오른쪽과 같이 state들의 transition을 정의하고, 각 상태의 transition과 acceptable state를 정의하여 사용할 수 있다.



〈그림 2-15〉 Statemachine 사용 예제

● 모니터링 S/W Web UI

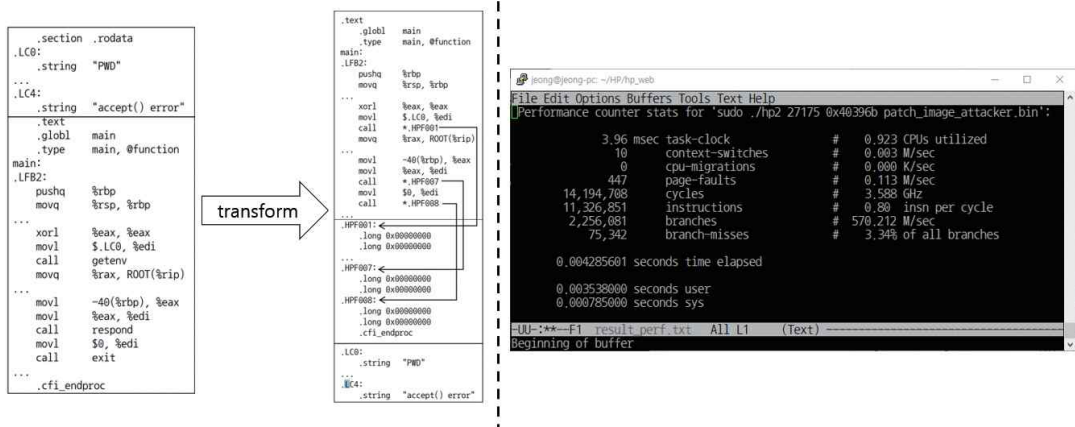
- 모니터링 S/W는 웹 기반 UI를 제공하기 위하여 `mon_app.py`가 포함되어 있으며, `mon_app.py`를 관리자 권한으로 실행할 경우 <그림 2-16>과 같은 Web UI로 제공된다.
- Choose for monitoring 버튼은 process를 선택할 수 있으며, function text를 같이 작성하여 automata를 구축할 수 있다.



<그림 2-16> Monitoring S/W web UI

▶ Hot-patching S/W 개발

- 소프트웨어는 시스템의 요구사항이나 관리자의 요청에 따라 주기적으로 업데이트가 되어야 하는데, 일반적인 업데이트 방법은 서비스를 종료한 뒤 소프트웨어 업데이트 후 새로운 소프트웨어로 서비스를 실행하는 것이다.
- 이러한 방법은 시스템의 구조를 복잡하게 만들고, 재시작 시 서비스 **downtime**을 만들어 경제적인 측면에서 불이익을 초래하기 때문에 무중단 서비스 제공을 위한 핫패칭 플랫폼을 개발하였다.
- 속도를 시뮬레이션할 수 있는 애플리케이션에 핫패칭을 적용하여 핫패칭 소프트웨어의 속도를 측정한 결과 3,588 GHz CPU환경 아래에서 14,194,708 사이클을 가짐을 알 수 있으며, 초로 환산할 경우 약 4.3ms이다.

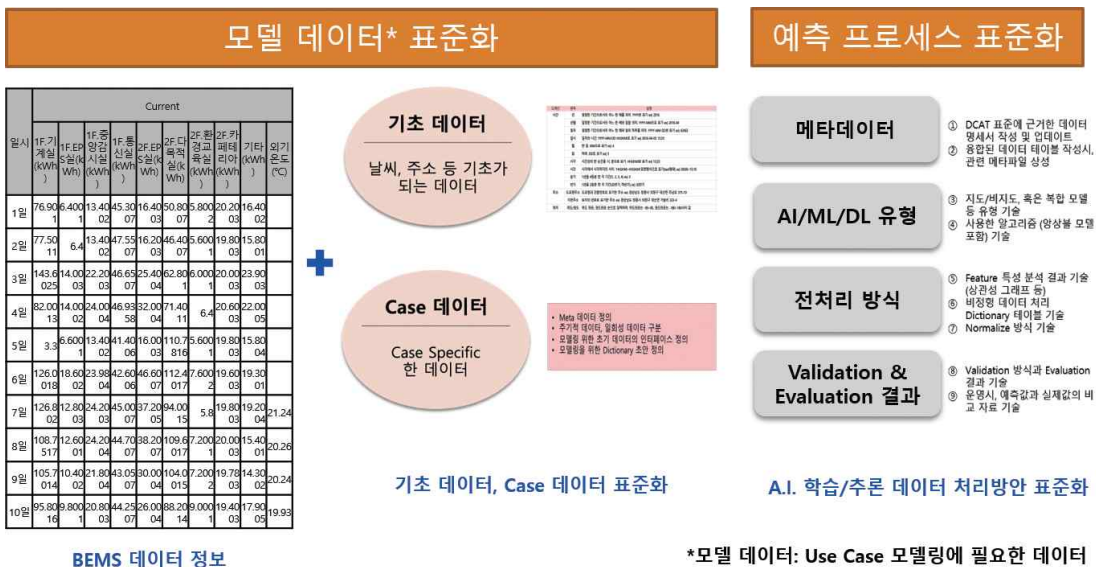


〈그림 2-17〉 Hot-patching S/W 성능 평가 결과

2-6 데이터 및 처리 프로세스 표준안

● 개요

- 디지털 트윈 데이터 표준화 요구사항을 도출하고 BIM-GIS 객체분류 설계 및 데이터 포맷을 정의하였으며, DTC(Digital Twin City) 데이터(기초 데이터, 구조 데이터, 유즈케이스 데이터) 및 데이터 처리 프로세스를 표준화하였다.

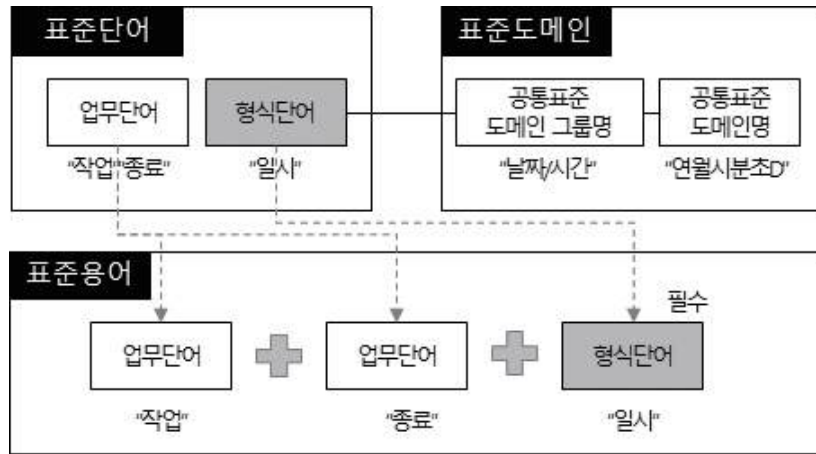


〈그림 2-18〉 데이터 및 프로세스 표준화 방안

1 기초 데이터 표준안

● 기초 데이터 표준화

- 우선 범용적으로 사용되는 데이터에 대해서 표준형태 Type에 대해 정의하고, 단어, 도메인, 용어의 표준화 방안에 대해 정의하였다.



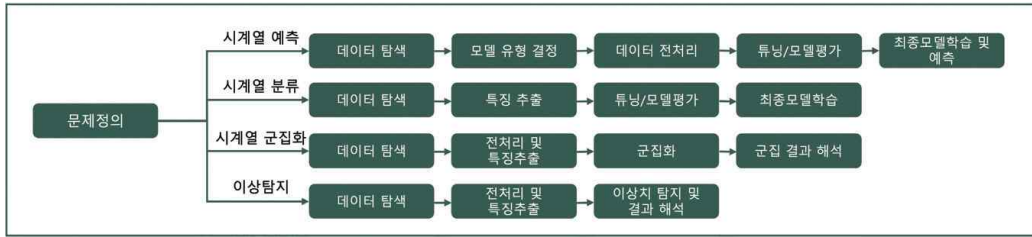
<그림 2-19> 데이터 표준형태 Type

- 이후 분야별 개방표준 데이터셋에 공통적으로 적용 가능한 항목과 공통표준단어명 표준화 기준, 단어 정의 기본지침, 단어종류에 대해 정의하였다.

1 유즈케이스 데이터 표준안

● 유즈케이스 데이터 표준화

- 유즈케이스 구현에 필요한 데이터에 대해 정의하고 데이터의 패턴 및 유형에 따라 분석 프레임워크별로 처리과정에 대해서 표준화하였다.
- 유즈케이스 데이터의 구성요인, 유즈케이스 정상 데이터 조건, 유즈케이스 데이터 변환, 유즈케이스 데이터 명세서, 유즈케이스 데이터 예측과 같은 유즈케이스 구현에 필요한 데이터에 대해 정의하였으며, 데이터의 패턴 및 유형에 따라 분석 프레임워크별로 처리과정에 대해서 표준화하였다.



〈그림 2-20〉 유즈케이스 데이터 분석 프레임워크 표준화 과정

– 또한 시계열과 관련된 데이터 탐색, 모델 유형, 데이터 전처리, 모델의 파라미터 튜닝 및 데이터 평가, 최종 예측 수행에 대한 내용을 정의하였으며, 공공 데이터 리스트 및 활용방법에 대해 기술하였다.

기초 데이터
날씨, 주소 등 기초가 되는 데이터

Case 데이터
Case Specific 한 데이터

도메인	항목	설명
시간	년	일정한 기간으로서의 어느 한 해를 의미. YYYY로 표기 ex) 2016
	년월	일정한 기간으로서의 어느 한 해와 달을 의미. YYYY-MM으로 표기 ex) 2016-04
	일자	일정한 기간으로서의 어느 한 해와 달의 하루를 의미. YYYY-MM-DD로 표기 ex) 42465
	일시	일자와 시간. YYYY-MM-DD HH24:MI로 표기 ex) 2016-04-05 13:23
	월	한 달. MM으로 표기 ex) 4
	일	하루. DD로 표기 ex) 5
	시각	시간상의 한 순간을 시, 분으로 표기. HH24:MI로 표기 ex) 13:23
	시간	시각에서 시각까지의 사이. 'HH24:MI~HH24:MI' 표현형식으로 표기(text형태) ex) 09:00~15:10
	분기	1년을 4등분 한 각 기간(1, 2, 3, 4) ex) 3
	반기	1년을 2등분 한 각 기간(상반기, 하반기) ex) 상반기
주소	도로명주소	도로명과 건물번호로 표기한 주소 ex) 경상남도 창원시 의창구 대산면 주남로 575-10
	지번주소	토지의 번호로 표기한 주소 ex) 경상남도 창원시 의창구 대산면 가솔리 323-4
위치	위도/경도	위도 좌표, 경도좌표 순으로 입력하며, 위도좌표는 -90~90, 경도좌표는 -180~180사이 값

- Meta 데이터 정의
- 주기적 데이터, 일회성 데이터 구분
- 모델링 위한 초기 데이터의 인터페이스 정의
- 모델링을 위한 Dictionary 초안 정의

〈그림 2-21〉 기초 데이터 및 유즈케이스 데이터 표준화

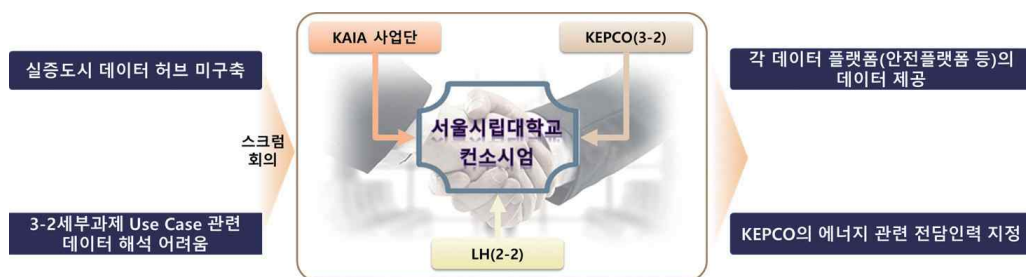
D 데이터 처리 프로세스 정의서

- 표준화된 데이터를 기반으로 실제 프로젝트 이행에 수반되는 전체 데이터의 흐름에 대한 프로세스 및 필요한 내용을 정의하였으며, 향후 고도화된 프로젝트 진행 시 업무의 생산성과 프로젝트의 확장성을 높이기 위하여 작성하였다.
- (프로젝트 정의서) 프로젝트에 대한 목적 및 시나리오를 기술하여 해당 프로젝트에 대한 목표를 작성하였다.
- (모델링 데이터 정의서) 디지털 트윈을 구현하는 방법에 필요한 디지털 트윈 모델의 개발 절차와 건물 모델 및 지형/도로 모델별 구축 방법을 작성하였다.
- (유즈케이스 데이터 정의서) 활용 데이터에 대한 필요항목, 전체 데이터의 흐름, 데이터베이스의 기존정보 및 테이블 기존정보에 대하여 표준화하여 기술하였으며, 메타데이터 표준 관리 항목에 대한 정의와 작성 지침을 작성하였다.
- (AI 학습 정의서) 인공지능 학습모델관리 S/W 개발내용을 기술하였다.
 - 시스템 구성도 : 전체 시스템의 연계 구성내역, 소프트웨어 구성, 활용 데이터 구성도에 대하여 기술하였다.
 - 인공지능 기반 시스템 개발 방법론: 딥러닝 분야, 머신러닝 분야별 데이터 스케일 및 알고리즘에 대하여 기술하였다.
 - 데이터 현황 및 분석: 데이터 현황 및 활용가능 데이터에 대한 알고리즘 적용 방안과 데이터 분석 내용에 대하여 기술하였다.
 - 모델 개발: 실제 데이터 기반의 학습 추론 방법론과 모델 프로세스 및 서비스 프로세스에 대하여 기술하였다.
 - 데이터 전처리 및 모델링: 모델의 하이퍼파라미터 및 구조에 대하여 기술하였다.
- (통계기반 예측 서비스 정의서) 선형적, 비선형적 관계여부 분석 방법, 결과를 기술하였다.
 - 다중회귀분석을 활용한 예측 방법 및 결과를 기술하였다.
- (시스템 정의서) 웹서비스 및 시스템 정보에 대하여 기술하였다.
- (디지털 트윈 시스템 구성도) 시스템 및 서비스 아키텍처에 대하여 기술하였다.
 - 유즈케이스 다이어그램과 안정화 S/W에 대한 내역을 기술하였다.

1 | 연구개발과제의 지자체 실증

● 실증방안

- 본 과제의 최종 통합성과물은 스마트시티 도시운영관리 및 의사결정을 위한 도구로서의 효용성을 입증해야 하므로, 디지털 트윈에서의 도시 서비스의 운영 가능 여부를 파악하는 것이 실증의 주요 핵심내용이다.
- 본 사업의 2, 3 핵심의 각 세부과제는 센싱 인프라를 통해 수집한 도메인별 데이터의 유즈케이스로 수 개의 서비스를 개발하며, 본 연구과제의 디지털 트윈은 이러한 서비스를 포함한 도시 상황을 가상공간 내에 실시간으로 반영할 수 있어야 하므로, 이를 가상화하고 운영이 잘 되는지 여부를 확인하는 방향으로 실증계획을 수립하였다.
- 데이터허브가 구축되지 않았었고 실증 대상 유즈케이스 데이터 해석이 어려우므로 전문기관(스마트시티 혁신성장동력사업단, LH(2-2), KEPCO(3-2) 등 참여기관들과 협력하여 각 기관에서 구축하는 IoT 센서 데이터 플랫폼의 데이터를 활용하고 에너지 관련 전담인력 지정을 통해 물리적·기술적 장애요인 극복방안을 제시하였다.



〈그림 3-1〉 기술개발과 실증장애요인 및 극복방안

- 실증도시인 시흥시 정왕동과 대구시 인동촌 지역을 대상으로 서비스하기 위해 해당 지역의 디지털 트윈 모델을 활용할 수 있도록 개발하였으며, 각 실증도시의 센서 인프라에서 측정된 센싱 데이터를 활용하는 에너지(3-2)와 재난·안전(2-2)의 도메인별 유즈케이스를 개발하여 실증도시별 효용성을 검증한다.

2 | 실증대상 및 서비스

2-1 대구시 지자체 실증

세부과제 유즈케이스 가상화

● 개요

- 2-2 세부과제 재난·안전 유즈케이스 데이터 및 서비스 개발 시나리오를 활용하여, 관련 서비스를 디지털 트윈에서 가상화하였다.
- 2-2 세부과제 개발 서비스를 그대로 디지털 트윈화한 것이 아니라, 2-2 세부과제와 실증 대상지 사용 예정자와의 협의 후, 디지털 트윈의 **Web** 서비스 특성 및 장점을 고려하여 일부 내용을 변경하여 개발하였다.
- 2-2 세부과제에서는 실증도시인 대구시의 서구 비산동의 일부 낙후지역(인동촌)을 테스트베드로 지정하여 연구개발 중이었으므로, 디지털 트윈 서비스의 실증 대상지도 동일한 지역으로 선정하였다.
- 인동촌의 센서 인프라에서 측정된 실시간 센싱 데이터와 서비스 개발 과정에서 직접 조사한 데이터, 국가 제공 **Open API** 데이터(기상 데이터, 국가공간정보 등)를 활용하여 7개의 서비스를 개발하였다.

● 2-2 세부과제 유즈케이스

- 안전서비스는 데이터 수집, 공유, 전파 3단계로 구성되어 있는데 센서를 통해 재난 정보를 수집하고 수집된 데이터는 안전플랫폼과 연계(공유)되고, 수집/분석된 정보는 도시안전 모바일 웹을 통해 시민에게 전파되며, 구호 부서 및 재난 상황실 등으로 연계하여 서비스를 제공한다.

- 2-2 세부과제는 상세 위치기반 실시간 수재해 예경보 서비스, 상세 단위 스마트 폭염 정보 제공 및 저감 서비스, 긴급구난 출동지원 서비스를 포함한다.

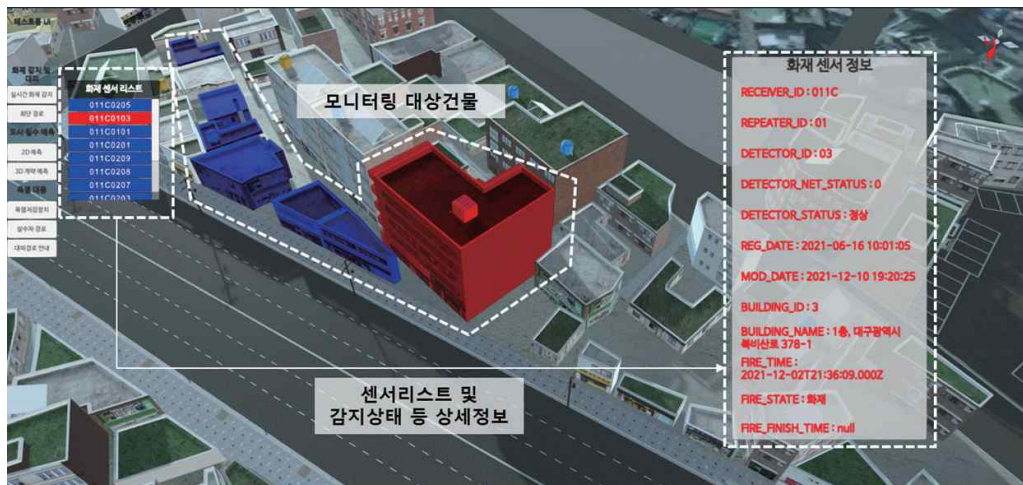


〈3-2〉 세부과제 연구내용 구성

개발 DT 서비스

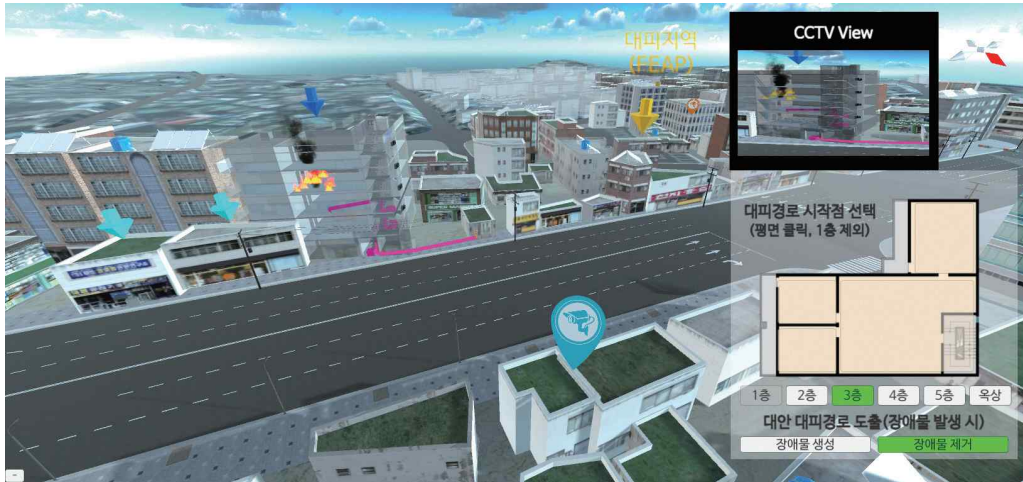
화재 최단 대피경로 도출

- 화재 센싱 데이터 실시간 연동을 통하여 실시간 화재 감지 및 화재 센서 상태정보를 수신하여 모니터링 대상 건물별로 화재 여부를 실시간으로 시각화하는 서비스를 제공하고, 화재 센서 리스트에서 화재 센서 선택 시, 센서가 설치되어있는 건물 모델로 이동 및 시각화하는 서비스를 제공한다.



〈그림 3-3〉 화재 감지 여부 실시간 시각화

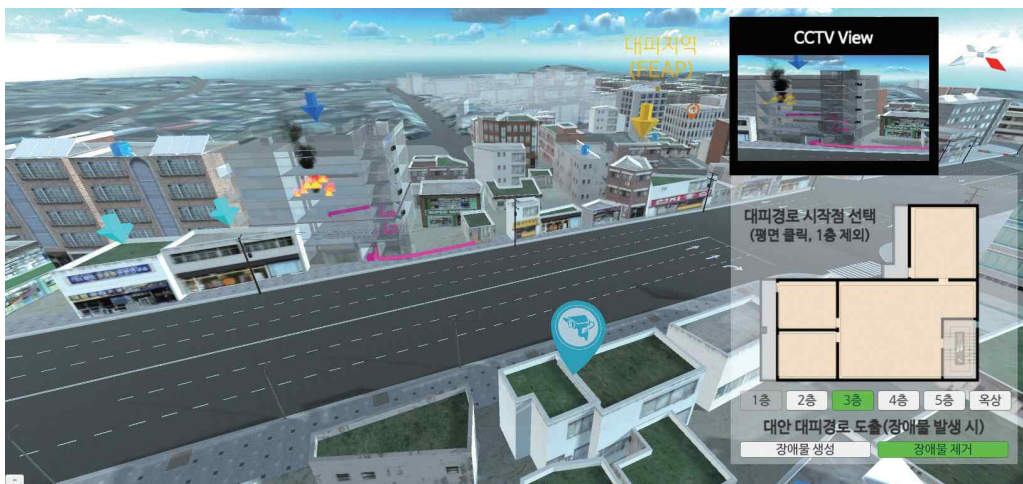
- 건물 내 화재 상황 시, 재실자의 현재 위치로부터 외부의 FEAP(Fire Emergency Assembly Point)까지의 최단 대피경로를 안내하는 서비스를 제공한다.
- 또한, 다양한 상황에서의 시뮬레이션 가능성을 제시하기 위해, 장애물의 유무 및 출구까지의 거리 요인에 의한 3가지 안을 시뮬레이션할 수 있도록 개발하였다.



〈그림 3-4〉 재실자 최단대피경로 시각화화

◆ 도시홍수 침수지역 예측 서비스

- 그리드별 침수 데이터는 지형 데이터에 의해 표고 기반으로 재구성이 가능하였고, 표고부터 침수 높이만큼을 높인 그리드별 3차원 침수모델을 구현하였다.



〈그림 3-5〉 2D 수치해석 결과 3차원 시각화

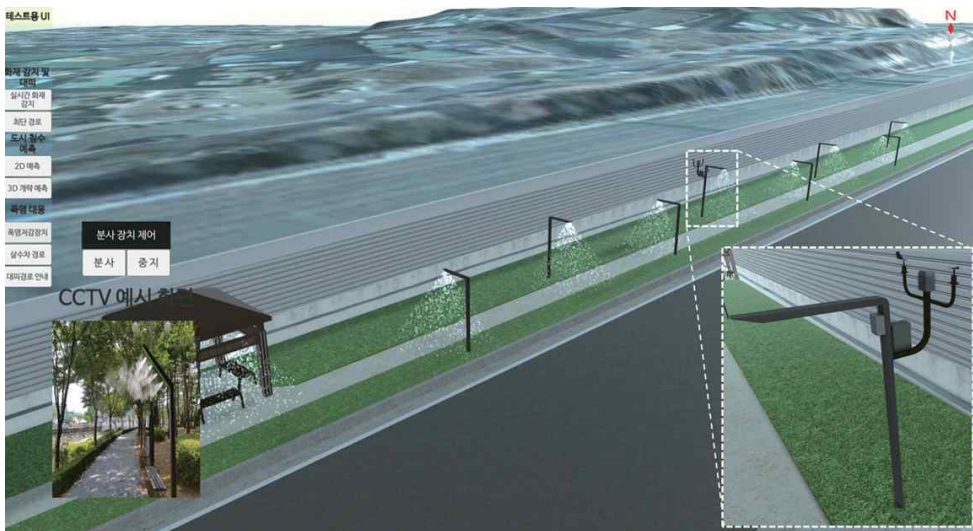
- 2-2 세부과제의 수치해석 결과 기반으로 침수 예측 데이터를 3D로 시각화하였고, 맨홀 유출에 의한 시뮬레이션으로 개략 예측을 진행하였다.



〈그림 3-6〉 3D 물리 시뮬레이션 기반 침수 예측

● 폭염 위험도에 따른 살수차 최적경로 도출 및 안전지역 시각화 서비스

- 인동촌 북부에 설치된 폭염저감장치의 상태정보를 확인하고 원격제어를 위한 서비스를 제공한다.
 - 폭염저감장치의 실시간 상태정보(작동, 중지)를 수신하여 디지털 트윈 S/W에서 현재 상태를 시각화하며, 원격제어를 위한 on/off 버튼을 구현하여 향후 개발될 원격제어 서비스에 활용할 수 있도록 하였다.



〈그림 3-7〉 폭염저감장치 실시간 상태정보 시각화

- 2-2 세부과제에서 제공한 인동촌 지역의 폭염 위험 요인(건물 노후도, 연령에 따른 건강 치명도 등 7~8가지)에 따른 취약성 종합 결과를 기반으로, 위험요인이 중첩되는 고위험 지역 간 우선순위 지정 및 살수차 최적 이동경로 표출, 실시간 기온에 따른 폭염 피해 위험지역 시각화 서비스를 개발하였다.



〈그림 3-8〉 살수차 최적경로 도출

- 폭염에 취약한 시민이 접근 시 피해가 우려되는 지역을 확인할 수 있도록 하여 피해를 예방하기 위한 실시간 기온에 따른 폭염 피해 위험지역 시각화 서비스를 개발하였다.



〈그림 3-9〉 실시간 기온에 따른 폭염 피해 위험지역 시각화

2-2 시흥시 지자체 실증

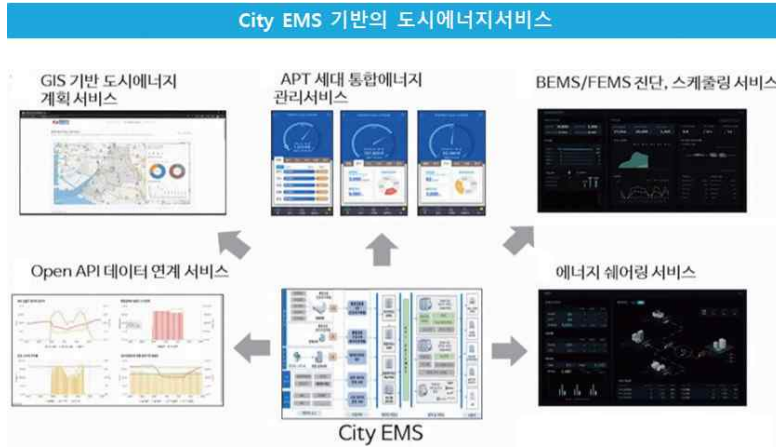
1 세부과제 유즈케이스 가상화

● 개요

- 3-2 세부과제 에너지 유즈케이스 데이터 및 서비스 개발 시나리오를 활용하여, 관련 서비스를 디지털 트윈에서 가상화하였다.
- 3-2 세부과제 개발 서비스를 그대로 디지털 트윈화한 것이 아니며, 3-2 세부과제와 실증 대상지 사용 예정자와의 협의 후, 디지털 트윈의 **Web** 서비스 특성 및 장점을 고려하여 일부 내용을 변경하여 개발하였다.
- 3-2 세부과제에서는 실증도시인 시흥시 내 일부 아파트 단지, 수 개의 오피스 건물 및 공장 건물을 대상으로 **CEMS** 실증연구를 진행 중이었므로, 정왕동 및 주변 일부 지역을 추가한 지역을 디지털 트윈 모델로 구축하되, 실제 데이터 기반 서비스 실증은 데이터 활용이 원활하게 가능할 것으로 예상되는 2개의 오피스 건물(시흥 에코센터, 서울대학교 시흥캠퍼스 교육협력동)을 3-2 세부과제로부터 추천받아, 실증 대상지로 선정하였다.
- 실증 대상 건물의 **BEMS** 센서 인프라에서 측정된 실시간 센싱 데이터와 국가 제공 **Open API** 데이터(기상 데이터, 국가공간정보 등)를 활용하여 12개의 서비스를 개발하였다.

● 3-2 세부과제 유즈케이스

- 3-2 세부과제에서는 **HEMS/BEMS/FEMS**를 기반으로 하는 **City EMS** 기반의 도시 에너지 서비스를 개발하고 있다.
- 3-2 세부과제는 대시보드나 지도 등의 **2D** 기반 정보를 전달하며, 디지털 트윈에서는 3-2 세부과제의 데이터를 활용하여 3차원 분석 및 시각화가 가능한 3차원 객체 기반 서비스를 개발하였다.



〈그림 3-10〉 3-2 세부과제 개발 서비스

개발 DT 서비스

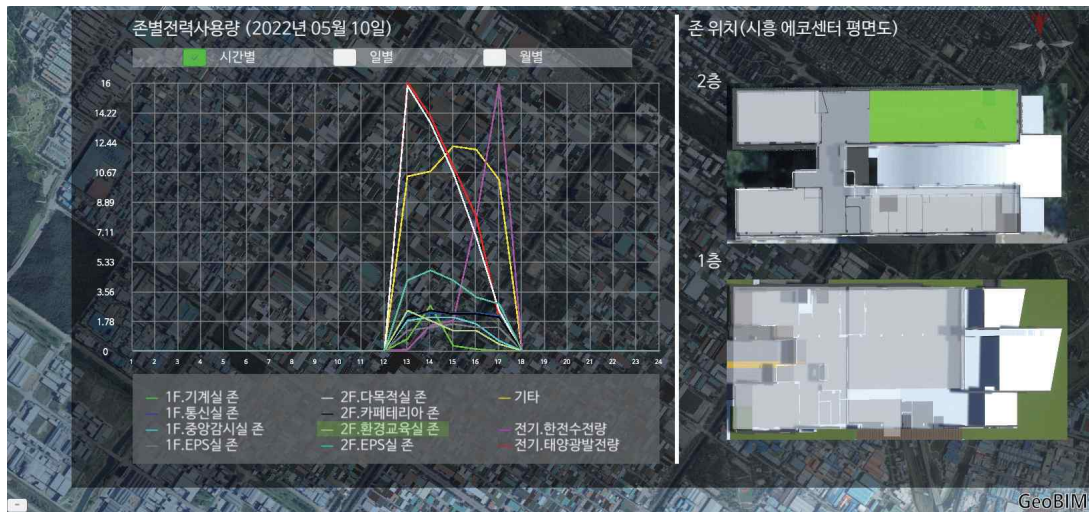
에너지 모니터링 서비스



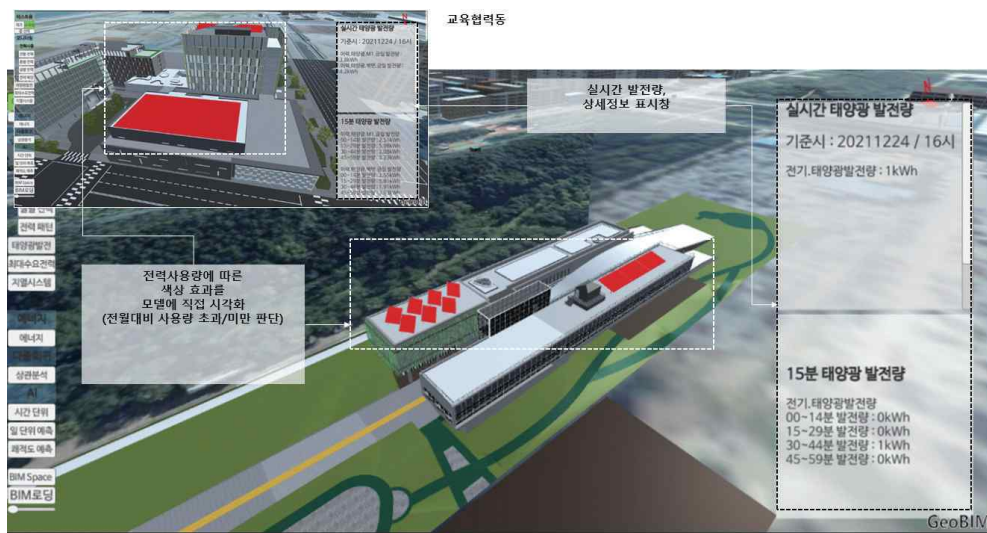
〈그림 3-11〉 실시간 전력사용량 모니터링

- 실증대상 시설물(서울대학교 시흥캠퍼스 교육협력동, 시흥 에코센터)에 대한 BIM 모델을 구축하였다.
- 실증대상 시설물의 건물별, 층별, 존별 전력사용량을 갱신 시간(15분)별로 모니터링하는 서비스를 개발하였다.
- 실증대상 시설물(서울대학교 시흥캠퍼스 교육협력동, 시흥 에코센터) BIM 모델을 기반으로 개

발전 태양광 패널 디지털 트윈 모델과 연계하고 태양광 발전량 데이터를 시각화하는 서비스를 개발하였다.

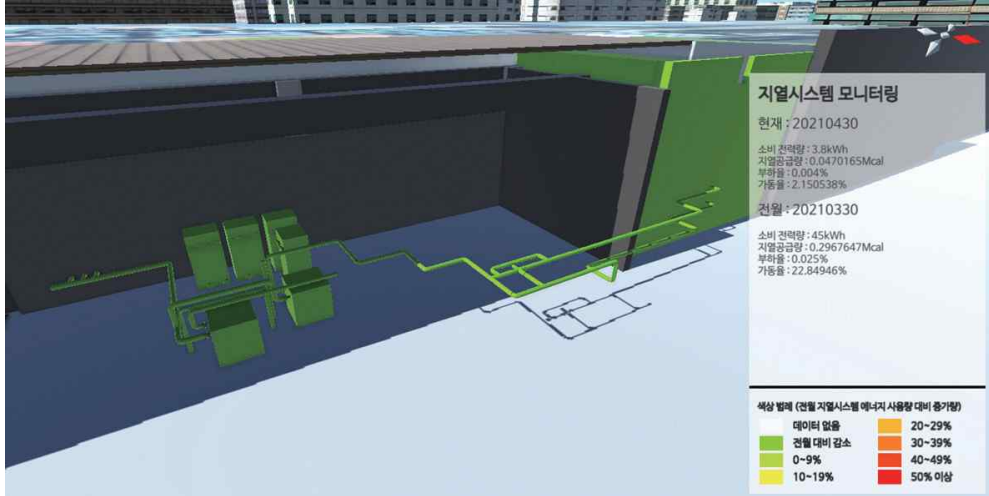


〈그림 3-12〉 전력사용량 패턴 시각화



〈그림 3-13〉 실시간 태양광 발전량 모니터링

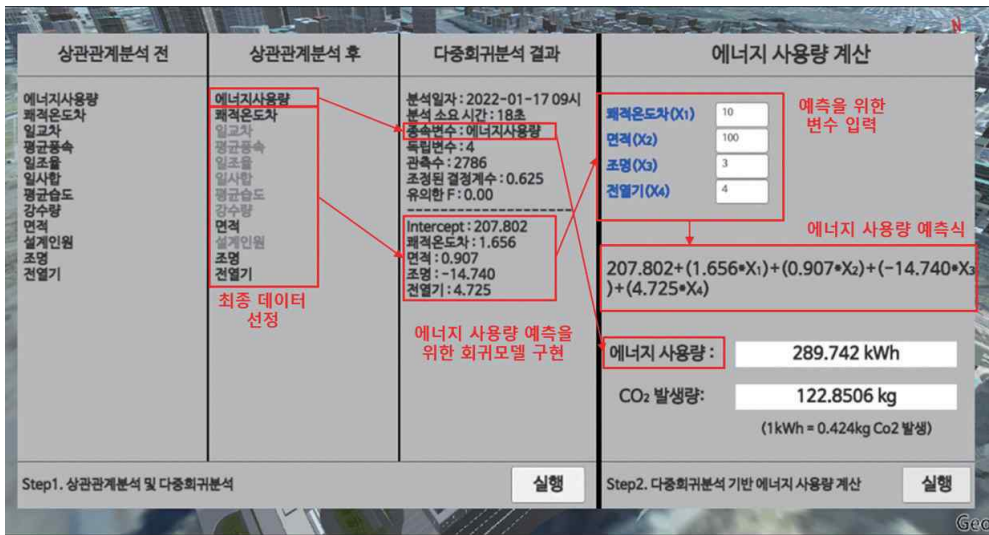
— 시흥 에코센터 BIM 모델을 기반으로 개발된 지열시스템 디지털 트윈 모델과 연계하고 데이터를 시각화하는 서비스를 개발하였다.



〈그림 3-14〉 지열시스템 모니터링

통계 기반 예측 서비스

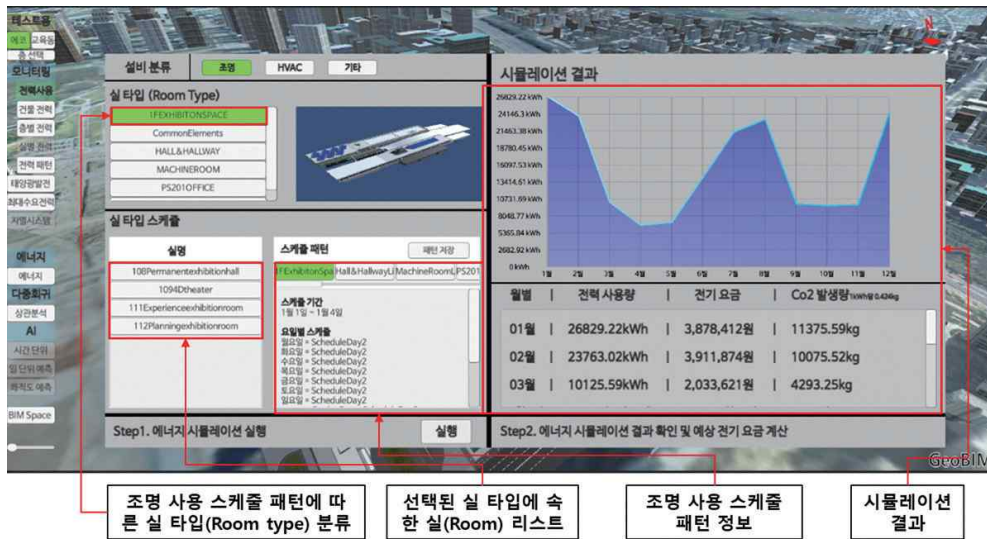
- BEMS 및 기타 데이터를 기반으로 다중회귀분석을 통해 회귀모형을 도출하여 전력 사용량을 예측하고 Python 라이브러리를 활용하여 별도의 모듈 개발 후 디지털 트윈 S/W와 연계하였다.



〈그림 3-15〉 통계 기반 예측 서비스

에너지 시뮬레이션 서비스

- 실증대상 시설물의 BIM 데이터를 활용하여 건축분야 에너지 수치해석 방법론 기반 에너지 시뮬레이션 서비스를 개발하였다.



〈그림 3-16〉 건물정보 기반 예측 서비스

AI 기반 예측 서비스

- BEMS 및 기타 데이터 기반 AI 학습/추론을 통하여 시간/일 단위 전력 사용량(건물 별, 층별, 존별)을 예측하고 3차원 객체 기반 표출서비스를 개발하였다.



〈그림 3-17〉 AI 기반 예측 서비스

1 | 실증도시 확산/운영방안

1-1 대구시

D 협업회의

● 대구 도시재생지원센터 방문('21.08.04)

- 화재감지센서 데이터 연동계획을 확정하였다.
- 핵코리아를 통한 도시홍수 예측 데이터(2D) 연동방안, 폭염 위험도 데이터 기반 살수차 최적경로 서비스 제공방안 및 인동촌 도시재생지원센터 관제센터 구축 지원 협조방안에 관련하여 논의하였다.

● 대구 도시재생지원센터 방문('21.10.29)

- 도시재생지원센터의 관제센터 건축물 시공 진행 상황을 파악하였다.
- 도시재생지원센터의 상세한 모델링 작업을 수행하기 위해 건물 내·외부 형태와 동선, 통로, 옥상 등을 확인하여 필요한 추가정보를 파악하였다.
- 수신기 및 센서 위치 확인과 형태를 파악하였다.
- 주변 시설물 형태 파악 및 텍스처 촬영 및 폭염저감시설 위치를 확인하고 개수를 파악하였다.
- 화재 시뮬레이션 관련하여 소방서와 대피 장소에 대한 정보를 파악하였다.

1 성과물 이관

- 대구 인동촌 도시재생지원센터 1차 성과 이관 (22.02.18)
- 대구시 지자체에서 핵코리아 지형 데이터 기반으로 홍수 서비스용 지형 모델 제작을 요청하였고 그 이후 요구사항을 반영하여 모델을 제작하고 지자체에 제공하였다.
- 또한, 폭염지도 취약성 등급별 색상 수정을 요청하였으며 그 이후 요구사항을 반영하여 사용자들이 이해하기 쉽게 폭염지도의 색상을 수정하였다.
- 이관 시 지자체 담당자에게 사용자 매뉴얼을 공유하였으며, 운영 및 유지관리를 위한 관리자 매뉴얼도 제공할 예정이다.

● 대구 인동촌 도시재생지원센터 2차 성과 이관 계획

- 디지털 트윈 S/W 및 관리자 매뉴얼을 이관하고 S/W를 설치할 예정이다.
- 디지털 트윈 S/W 운영을 위한 하드웨어 권장 사양을 제공하였다(그림 41).
- 인동촌 도시재생지원센터에서는 2022년 10월부터 하드웨어를 구축하여 디지털 트윈 S/W를 설치 및 운영할 예정이다.

운영 환경	
서버 PC(Workstation)	모니터링 PC(Desktop)
CPU : 인텔 제온 실버 4114프로세서 RAM : 32GB VGA : NVIDIA Quadro P4000 HDD : 512GB OS : Window 10 * 상기 사양(Dell Workstation 7920T 기준) 이상의 서버	CPU : i7-12700K RAM : 32GB GPU : NVIDIA GeForce RTX 3070 SSD : 512GB OS : Window 10 * 에너지 효율용 대형 모니터 추가 구입 추천
보조 장비(*UPS)	
제품명 : EATON Ellipse ECO 650 USB DIN (20~30만원대) *UPS : 갑자기 메인 파워로부터 전력을 공급받지 못하게 될 때 비상전원을 공급해주는 기구	
개발 환경(option)	
개발 PC(Desktop)	
CPU : i7-12700K RAM : 32GB GPU : NVIDIA GeForce RTX 3070 SSD : 512GB OS : Window 10	

〈그림 4-1〉 하드웨어 권장 사양

1-2 시흥시

협업회의

● 서울대학교 시흥캠퍼스 교육협력동 방문('21.03.23)

- 시흥시 지자체에서 협업회의를 통하여 교육협력동의 BIM 모델을 요청하였으며, 성과물 이관 시 BIM 모델을 제작하여 이관하기로 하였다.

● 시흥에코센터 방문회의('21.08.06)

- 시흥 에코센터의 신재생 에너지 시스템 등 친환경 교육용 자료로써 활용할 수 있도록 해당 정보의 표출 여부가 중요하다는 의견에 근거하여 BEMS 시스템에 대한 설명, 적용 위치, CO₂ 발생량 등 교육용 데이터를 표출하는 기능을 추가했다.
- 시흥에코센터에서 시청각 자료로써 활용할 수 있도록, 동영상과 같이 주요 홍보내용을 계속해서 시연할 수 있는 기능을 요청하여 에코센터에서 요청하는 서비스들을 일정한 루틴에 따라 하나하나 연속해서 표출하는 기능을 개발하는 방향으로 지원하기로 하였다.

성과물 이관

● 서울대학교 시흥캠퍼스 교육협력동 성과 이관('22.02.17)

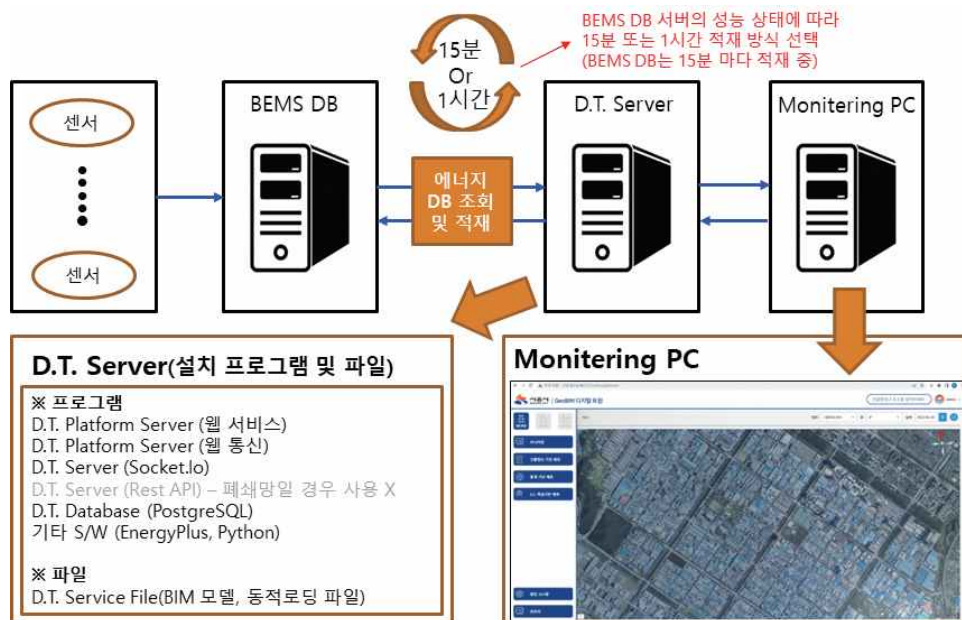
- 서울대학교 시흥캠퍼스 교육협력동 BIM 모델을 지자체에 이관하였다.
- 서울대학교 시흥캠퍼스 측에서 디지털 트윈 S/W의 시흥에코센터 에너지 서비스를 확인한 후 교육협력동도 에너지 모니터링 서비스 제공 가능여부에 대하여 문의하였으며, 이에 대하여 건물에 센서를 설치하여 에너지 사용량 데이터를 확보할 수 있을 경우에 가능하다고 답변하였다.
- 이관 시 지자체 담당자에게 사용자 매뉴얼을 공유하였으며, 운영 및 유지관리를 위한 관리자 매뉴얼도 제공할 예정이다.

● 시흥에코센터 1차 성과 이관(‘22.02.25)

- 디지털 트윈 S/W의 대구시 재난안전 서비스 부분을 시연하고 개략적으로 설명하였다.
- 시흥시 에너지 서비스 및 BIM 모델 시연을 진행하였고 사용자 매뉴얼을 설명하였다.
- 2차 성과 이관 시, 운영 및 유지관리를 위한 관리자 매뉴얼도 제공할 예정이다.
- 시흥에코센터 측에서 올해 DT 실증의 적극적 지원 및 연구성과 이관 후 운영관리를 위한 예산 확보 및 연구종료 후의 개발 연속성을 위한 사후관리 계획을 위하여 사업화 전략 등에 대한 자료를 요청하였다.

● 시흥에코센터 2차 성과 이관(‘22.06.17)

- 디지털 트윈 S/W 및 관리자 매뉴얼을 지자체에 이관하였다.
- 시흥에코센터에서 디지털 트윈 S/W 운영을 위한 테스트를 진행하였고, 원활한 운영을 위한 하드웨어 권장사양을 제공하였다(그림 4-2).
- 시흥에코센터의 인터넷이 폐쇄망 환경이므로 폐쇄망 환경에서 디지털 트윈 S/W의 운영을 위한 두 가지 방안을 제시하였다.
- 시흥에코센터에서는 2023년 2월까지 클라우드 기반으로 운영하고 2023년 3월부터 하드웨어를 구축하여 디지털 트윈 S/W를 설치 및 운영할 계획이다.
- 또한, 시흥에코센터의 요청에 따라 향후 추가기능(VR 등)을 개발할 예정이다.



〈그림 4-2〉 시흥에코센터 DT 설치 방안

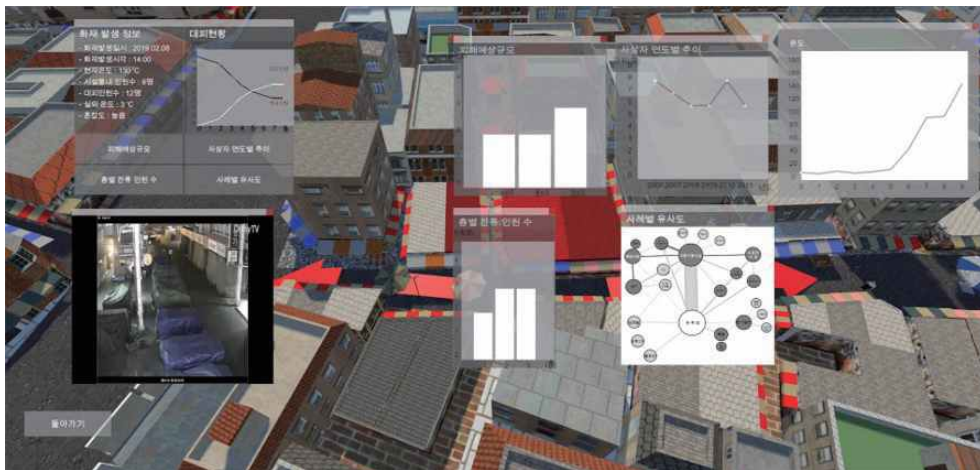
2 | 타 지자체 확산/운영방안

● 클라우드 기반 Web 서비스를 활용한 불특정 다수에 서비스 제공 가능

- 클라우드 기반 디지털 트윈 서비스를 통해 PC의 Web으로 도시 지형지물의 디지털 트윈 데이터와 서비스를 확인할 수 있고, 스마트폰 애플리케이션으로 개인 스마트폰을 통해서도 사용자가 디지털 트윈 서비스를 활용할 수 있다.

● 스마트시티 주요 도메인별 적용 가능 서비스

- (재난) 디지털 트윈을 활용하여 전통시장 화재 모니터링 서비스를 개발한 바 있는데, 신속 정확한 원격 통보시스템을 통한 화재 감지와 디지털 트윈 모니터링 및 초기 골든타임 대응이 가능하다.
- (재난) 디지털 트윈 기반 전통시장 화재 모니터링 서비스를 통하여 화재감지 IoT 센서의 상태정보 및 CCTV를 통한 모니터링, 화재 관련 통계 데이터 및 피해 예상 규모 시각화가 가능하다.



〈그림 4-3〉 디지털 트윈 기반 전통시장 화재 모니터링 구현 화면

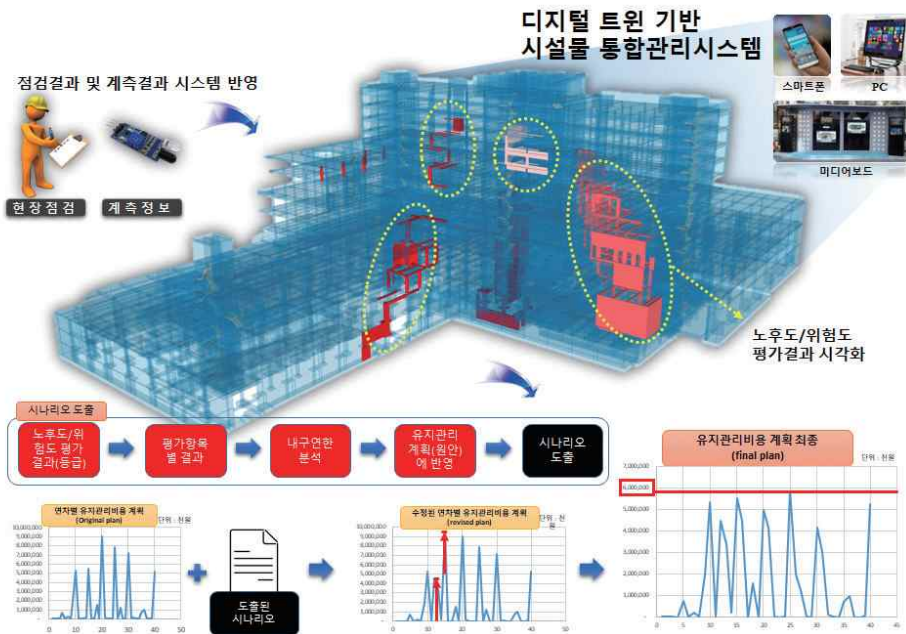
- (에너지) 디지털 트윈을 기반으로 스마트 그리드 관점에서 공급자와 수요자 간 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 지능형 수요관리가 가능하다.
- (에너지) 에너지 공급자와 생산자들에게 사용자 정보를 제공함으로써 보다 효과적으로 에너지 공급 관리가 가능하다.

- (에너지) HEMS(Home Energy Management System)와 FEMS(Factory Energy Management System)를 활용하여, 에너지 사용량 시각화 및 에너지 제어를 통해 효율적으로 에너지 사용량 관리가 가능하다.



〈그림 4-4〉 디지털 트윈 기반 에너지 사용량 시각화

- (시설물 관리) 현장점검 및 현장 센서의 계측을 통하여 점검 및 계측결과를 디지털 트윈에 반영하여 노후도/위험도 평가결과를 시각화할 수 있다.
- (시설물 관리) 건축물 부위별 노후도 체크를 통해 유지관리 계획을 수립하여, 유지관리 비용 도출 및 연차별 비용계획을 수립하는 등의 의사결정에 도움을 줄 수 있으며, 유사시/이상징후 발생 시 초기 골든타임 대처가 가능하다.



〈그림 4-5〉 디지털 트윈 기반 시설물 통합관리시스템

- (취약계층 케어) 연구과제 내용과 별도로 서울시립대학교와 크로센트가 디지털 트윈 연구개발 기술을 활용하여 부천시의 CCTV 기반 실종자 찾기 서비스 프로토타입을 구현한 바 있으며, 이를 통해 향후 타 도시의 취약계층 케어에 적용할 수 있다.



〈그림 4-6〉 반경 내 CCTV 감지

● 디지털 트윈 서비스 안정화 강화

- 연구개발과제 성과물 중 안정화 소프트웨어는 개발자가 추후 개발할 디지털 트윈 서비스에 적용할 수 있도록 개발도구를 제공할 수 있다.

● 국가공간정보를 활용한 기술로 타 지역 적용 용이

- 본 기술은 국토교통부, 행정안전부 등 국가공간정보포털에서 제공하는 공간정보(도로명주소, 전자지도 등)를 디지털 트윈 구축을 위한 기반 데이터로 활용함으로써, LOD 2.5 수준의 도시 디지털 트윈 모델 구축은 국내 대부분의 지역에 적용할 수 있다.
- 대구시 인동촌, 시흥시 정왕동 뿐만 아니라 대구시와 시흥시 전체에도 적용할 수 있다.
- 부산 에코델타시티, 세종 5-1생활권과 같은 국가 시범도시에서도 마찬가지로 적용할 수 있다.

1 | 문제해결 사례

- 본 과제에서는 디지털 트윈 SW 개발도구로 Unity 게임엔진을 활용하였으며, 그로 인한 2개의 문제가 연구과정상에서 발생하였으나, 이를 극복하였다.
- 또한 IFC(BIM)와 CityGML(GIS)의 통합과정(Integration)에서 방대한 양의 데이터로 인한 Web 서비스의 근본적인 문제를 해결하였으며, 디지털 트윈 데이터 표준화를 위한 데이터 수급 및 데이터 처리 프로세스 표준화 절차를 도출하였다.

● 맵타일링 및 동적로딩을 활용한 Web 서비스에서의 부하 해결

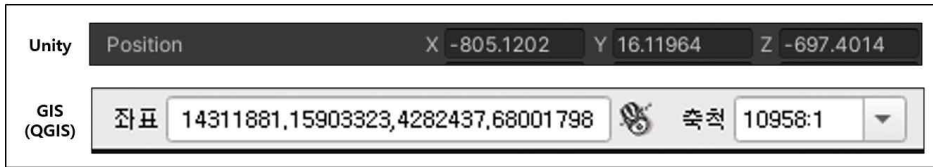
- 디지털 트윈 SW를 Web에서 시각적으로 높은 품질의 서비스 형태로 제공하기 위해 자체 렌더링 엔진을 통한 콘텐츠 개발도구인 Unity를 활용하였으나, 이는 근본적으로 가용 메모리가 제한적인 Web 규격의 콘텐츠 제작에 특화된 개발도구는 아니다.
- 따라서, 디지털 트윈 SW를 Web 서비스를 위한 형태(WebGL)로 개발 시, Unity의 근본적인 구조 및 도시 대상의 대용량 데이터로 인한 부하 문제가 발생한다.
- 이에 본 과제에서는 OGC의 Web 기반 GIS 서비스 관련 표준 중 하나인 맵 타일링 및 동적로딩 기술을 적용하여 해결하였다.

● 부동소수점 방식에 의한 좌표 누락 문제 해결

- Unity는 float형의 부동소수점 데이터를 활용하므로(그림 5-1), GIS 데이터의 좌표 정보 입력 시 일부 누락되는 문제가 있다.

	자료형	바이트 수	범위(C, C++, C# 기준)	자릿수	비고
Unity	float	4	$1.2 \times 10^{-38} \sim 3.4 \times 10^{38}$	7	IEEE 754 단정밀도* (single precision)
GIS Tool	double	8	$2.2 \times 10^{-308} \sim 1.8 \times 10^{308}$	16	IEEE 754 배정밀도* (double precision)

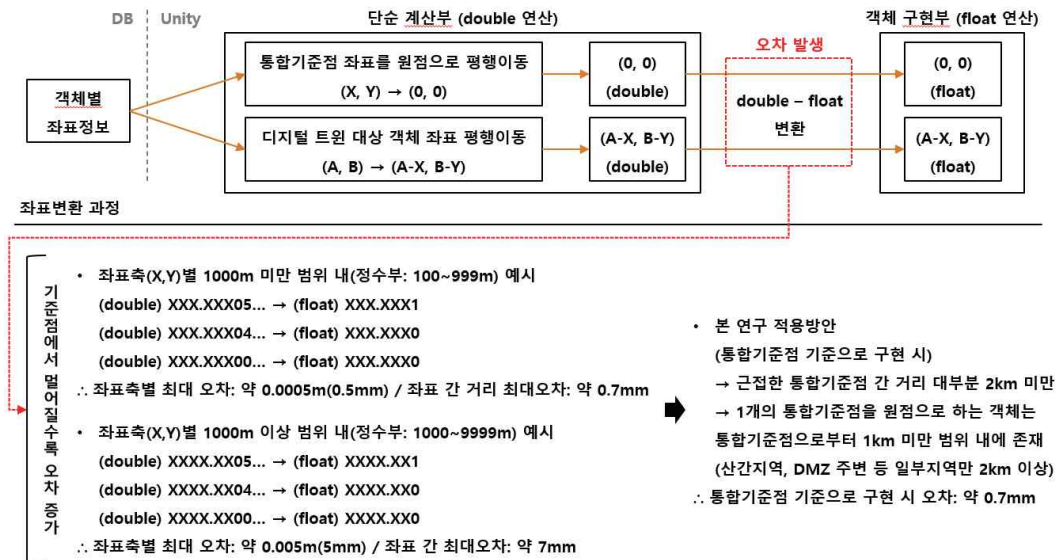
*단정밀도: IEEE 754에서 기준으로 정한 부동소수점 데이터의 정밀도(배정밀도는 단정밀도의 2배 수준의 정밀도를 의미)



도구별 좌표 시각화 예시

<그림 5-1> Unity와 QGIS 간 좌표정보 입력 시 출력 비교

- 이에 따라 전국에 산재되어 있는 통합기준점 좌표를 원점으로, 각 객체의 좌표를 통합기준점의 상대좌표로 변경하는 국지적인 좌표체계를 적용하는 방법을 사용하여 오차범위를 줄였다.



<그림 5-2> Unity에서 통합기준점을 원점으로 하는 좌표계 구현 시, 오차범위 계산

● BIM-GIS 기반 디지털 트윈 구축기술 개발

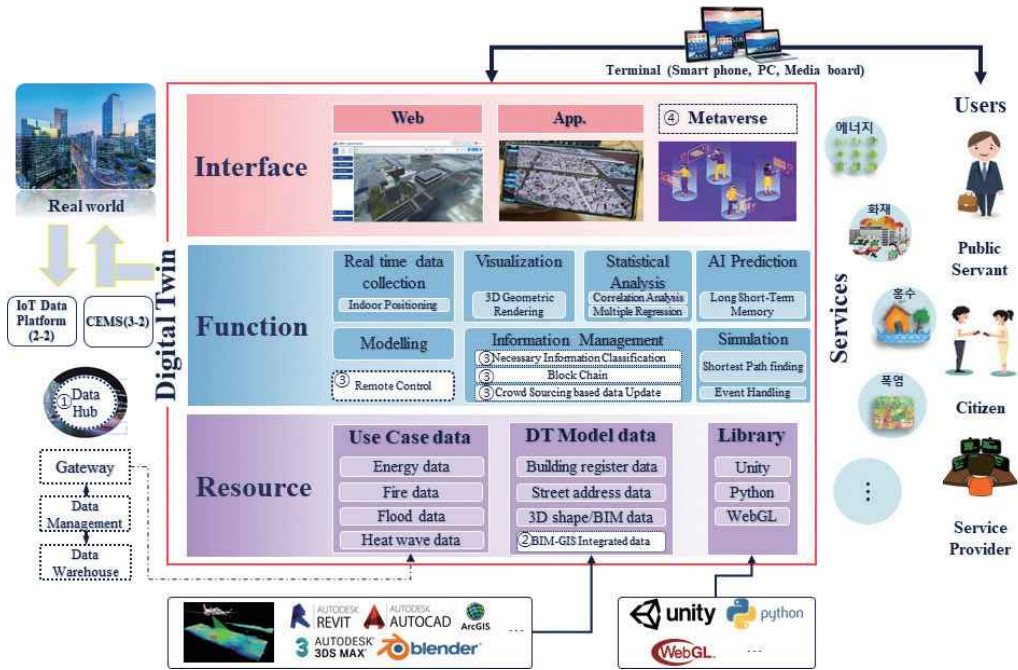
- KT에서 정의한 이중 디지털 트윈 적용방안과 실증도시 디지털 트윈 S/W 프로토타입의 연구결과를 통해, 서울시립대학교에서는 IFC 데이터 및 CityGML 데이터를 활용한 디지털 트윈 구축방법을 개발하고, 크로스넷과 협업하여 이를 활용한 클라우드 기반 디지털 트윈 서비스의 가능성을 검증하였다.
- IFC(BIM)와 CityGML(GIS)의 통합(Integration)은 방대한 양의 데이터로 인해 Web 서비스에 근본적인 문제가 발생하므로, 본 과제에서는 유즈케이스별 요구 LOD에 따라 필요한 데이터를 BIM 데이터에서 선택적으로 추출하여 활용하는 방법을 개발하였다.
- 이를 통해 BIM-GIS 기반 디지털 트윈 S/W의 성공적인 사례를 도출하고, 디지털 트윈 데이터 포맷, 데이터 모델 등에 대한 표준(안) 개발에 대한 방향을 제시하였다.
- 유즈케이스 기반 디지털 트윈 데이터 처리 프로세스 표준 도출
- 본래의 2020년 연구계획과는 달리, 서비스 개발과제의 센서 인프라 구축과 실증도시 데이터허브 구축 완료 시점이 연기되면서, 디지털 트윈 데이터 표준화를 위한 데이터 수집 및 데이터 처리 프로세스 표준화 성과 도출을 자체적으로 해결해야 하는 상황이 발생하였다.
- 이에 따라 자체적으로 활용할 수 있는 데이터 기반의 유즈케이스 PoC를 통해 디지털 트윈 데이터 처리 절차를 정의하였다.

2 | 기술적 한계

- 본 연구에서 개발된 디지털 트윈 프레임워크 1.0은 아직 초기단계로, 대용량 가상모델의 원활한 표출, 서비스 플러그인별 연계, 건축물 및 지리 정보의 스키마 통합, 원활한 실시간 빅데이터 수집/공유 등 방면에서 한계가 있으며, 스마트시티의 최대 수혜자인 시민들의 체감도가 낮다는 문제점이 있다.
- 따라서 스마트시티 서비스의 원활한 제공을 위해서는 가상모델의 경량화, 디지털 트윈의 확장성 및 연결성 향상 등 추가 연구가 필요하고, 현재 개발 및 시범운영 중인 대규모 도시 데이터를 수집·저장·관리·분석하는 스마트시티 데이터허브(스마트시티

혁신성장동력 프로젝트 1-1, 2-3, 3-4 세부과제)와의 연계가 필수적으로 요구된다.

- 향후 디지털 트윈 프레임워크 고도화(2.0) 시 고려할 사항은 <그림 5-3>에서 점선으로 표시하였으며, 상세한 고려사항은 다음과 같다.



<그림 5-3> 디지털 트윈 프레임워크 2.0

- CEMS와 IoT Data Platform 등과 같은 다양한 플랫폼들에서 수많은 데이터를 수집하고 분석하는 스마트시티 데이터허브와 실시간으로 연계한다.
- BIM-GIS 데이터 간 스키마 통합 및 표준화에 대해 고려할 필요가 있다.
- 유즈케이스별 DT 필요정보 분류, 블록체인 기술, AI 모델 구축, 원격제어 기술, 클라우드 소싱 데이터 기반 현실반영 DT 시스템과 같은 기능 추가가 필요하다.
- 스마트시티 실증사업 성과물들에 대해 메타버스와 같은 인터페이스를 통한 시민 참여형/실감형 디지털 트윈 서비스 제공이 필요하다.
- 다양한 서비스를 연계하여 활용할 수 있는 확장형 커넥티드 디지털 트윈 개발이 필요하다.
- 디지털 트윈의 효율적인 사용을 위한 디지털 트윈 구축 및 운영·유지관리 기술이 필요하다.
- 데이터, 인터페이스 등 다양한 방면에서 Open API 제공이 필요하다.

참고문헌

- 강태욱 외, 2012, “BIM과 GIS간 정보상호운용을 위한 외부 BIM 참조 모델 제안”, Spatial Information Research, 20(5), pp.91–98.
- 강태욱 외, 2012, “IFC에서 CityGML로 속성 매핑을 위한 메타 데이터에 관한 연구”, 한국측량학회지, 30(6-1), pp.559–565.
- 국가공간정보포털, 2022, [Online], <http://www.nsd.go.kr/>
- 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 2022, [Online], <https://www.ntis.go.kr/>
- 국토교통과학기술진흥원, 2022, 디지털 트윈을 이용한 스마트시티 서비스 가상화 기술 개발 최종보고서
- 국토교통부, 2020, 건설산업 BIM 기본지침.
- 국토지리정보원, 2021, 공간정보 표준 동향 이슈리포트.
- 김준석 외, 2014, “외부참조를 통한 IndoorGML과 CityGML의 결합”, Spatial Information Research, 22(1), pp.65–73.
- 남정용 외, 2018, “객체지향의 도로분야 BIM 표준객체분류체계 개발방안”, 한국산학기술학회논문지, 19(3), pp. 119–129.
- 대구 3D-Map, 2022, [Online], <http://3d.daegu.go.kr/index.jsp>
- 대구광역시, 2021, 대구광역시 스마트도시계획[1-2] 보고서.
- 류정림, 2016, “개방형 BIM과 GIS정보 융합을 통한 도시공간정보모델 개발 및 구현에 관한 연구”, 경북대학교 박사학위논문.
- 정보통신산업진흥원, 2018, IoT 오픈 플랫폼 기반 스마트시티 분야 서비스 사례집.
- 한국국토정보공사, 2022, [Online], <http://www.jeonju.go.kr/smartcity>
- 황정래 외, 2012년, “건설데이터와 GIS데이터의 효율적 활용을 위한 IFC와 CityGML 간의 연관성 분석 연구”, 한국공간정보학회지, 20(5), pp. 49–56.
- KAIA 국토교통과학기술진흥원, 2022, [Online], <https://www.kaia.re.kr/portal/main.do/>
- Open Geospatial Consortium, 2012, “OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard 2.0”.

