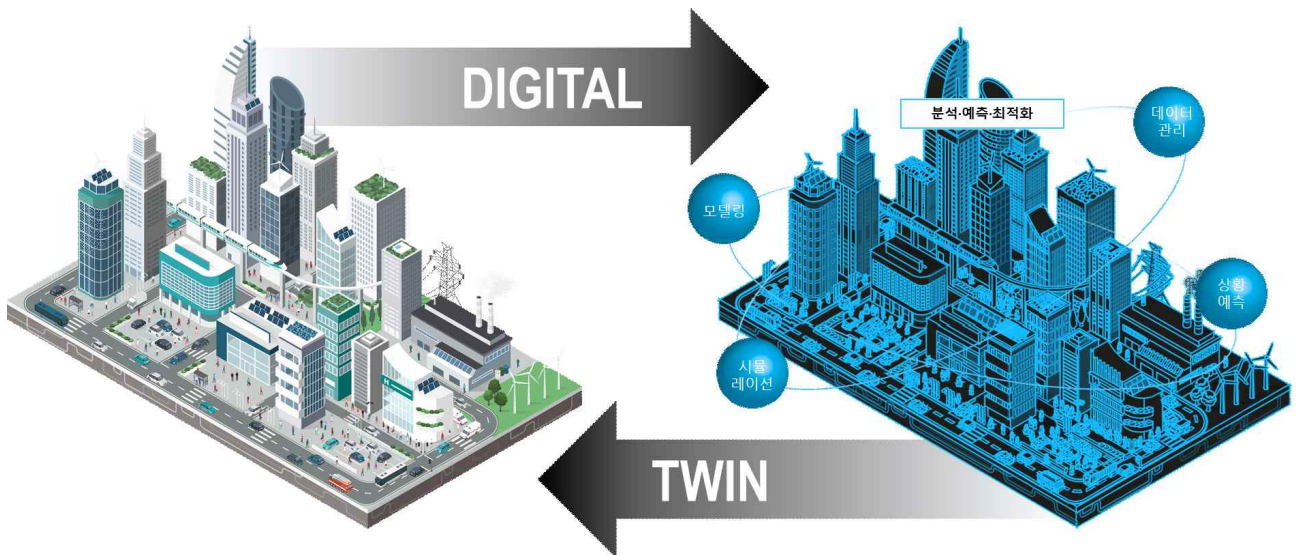


ISBN 978-89-5519-288-9

# 디지털 트윈 기술 보고서

2021.01.05.



## 지능화융합연구소

**ETRI** 한국전자통신연구원  
Electronics and Telecommunications  
Research Institute

## 보고서 작성 참여자

지능화융합연구소	소장 박종현
국방·안전ICT연구단	단장 이용태
지능화융합연구소	전문위원 김재철
재난안전지능화융합센터	센터장 정우석
국방·안전ICT연구단	이미숙
국방·안전ICT연구단	홍상기
SDF 융합연구단	조성균
도시·교통ICT연구단	윤현진
에너지·환경ICT연구단	박대근
복지·의료ICT연구단	임명은
산업·IOT지능화연구단	강현철
정보보호연구본부	문대성
표준연구본부	유상근
기술정책연구본부	연승준

## 목 차

1. 디지털 트윈 기술 개요 .....	1
1.1 디지털 트윈 기술 정의 및 개요 .....	1
1.2 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스 정의 .....	4
2. 디지털 트윈 기술 동향 .....	5
2.1 정책 동향 .....	6
2.2 기술 및 시장 동향 .....	8
2.3 표준화 동향 .....	12
3. 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스 기술 로드맵 .....	14
3.1 디지털 트윈 기술 성숙도 정의 .....	14
3.2 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스의 현 수준과 한계점 분석 .....	15
3.3 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스 고도화를 위한 핵심 기술 .....	18
3.4 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스의 미래상 .....	24
3.5 2030 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스 기술 로드맵 .....	31
4. 디지털 트윈 기술 발전 방향 .....	39

## 표 목 차

표 1. 디지털 트윈 프로세스 .....	4
표 2. 세계주요국들의 디지털 트윈 관련 정책 현황 .....	7
표 3. 디지털 트윈 성숙도 .....	14

## 그림 목차

그림 1. 디지털 트윈 핵심 기술과 지능화 융합 서비스 .....	1
그림 2. 디지털 트윈 기술의 발전 단계(현재 수준) .....	2
그림 3. 디지털 트윈 참조 모형 .....	3
그림 4. 최근 10년간 디지털 트윈 키워드 검색 동향(구글 트렌드 활용) .....	5
그림 5. 최근 10년간 분야별 디지털 트윈 키워드 검색 동향(구글 트렌드 활용) ..	6
그림 6. 디지털 트윈 국내 시장(단위: 백만 달러) .....	9
그림 7. 디지털 트윈 세계 시장(10억 달러) .....	11
그림 8. 디지털 트윈 세계 시장(단위: 10억 달러) .....	11
그림 9. 디지털 트윈 세계 시장(단위: 백만 달러) .....	12
그림 10. 현 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스의 성숙도 분석 결과 .....	18

# 1. 디지털 트윈 기술 개요

## 1.1 디지털 트윈 기술 정의 및 개요

- 현실세계에서 수집한 다양한 정보를 가상세계에서 분석하고 최적화 방안을 도출하여 이를 기반으로 현실세계를 최적화하는 지능화 융합 기술
  - 현실세계의 문제점 해결 비용을 최소화하기 위해 현실세계 모사(가상세계)
  - 현실세계에서 수집한 과거와 현재의 정보를 가상세계에서 분석하고 위험요소를 파악하여 문제점 발생을 사전에 방지하는 지능화 융합 서비스

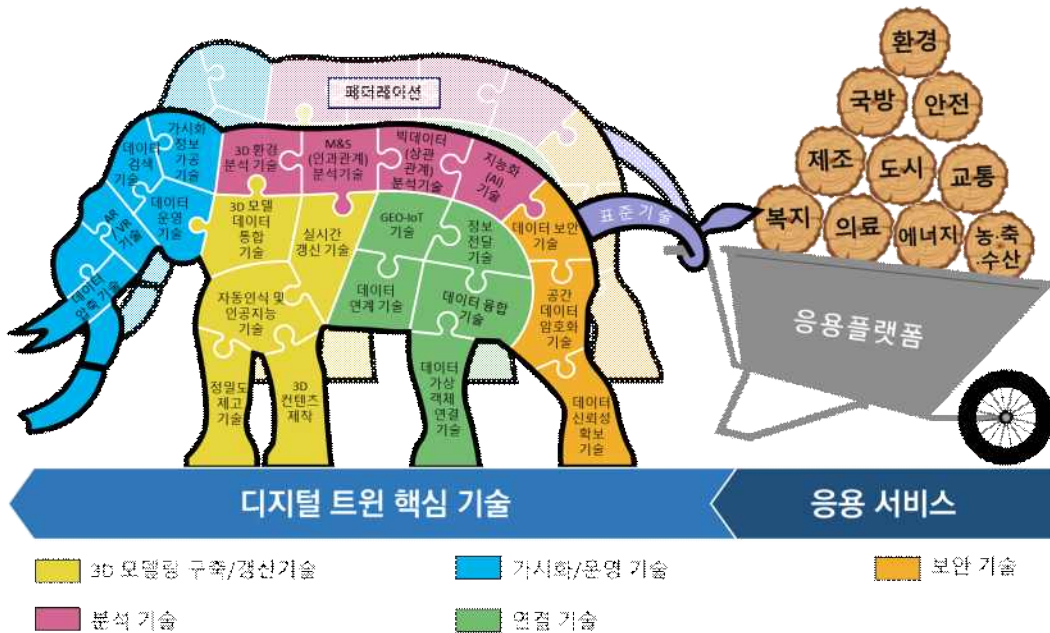


그림 1. 디지털 트윈 핵심 기술과 지능화 융합 서비스

- 2002년에 미국 미시건대학교 마이클 그리브스 박사가 제품생명주기(PLM: Product Life-cycle Management) 관점에서 디지털 트윈 개념을 최초로 제안함

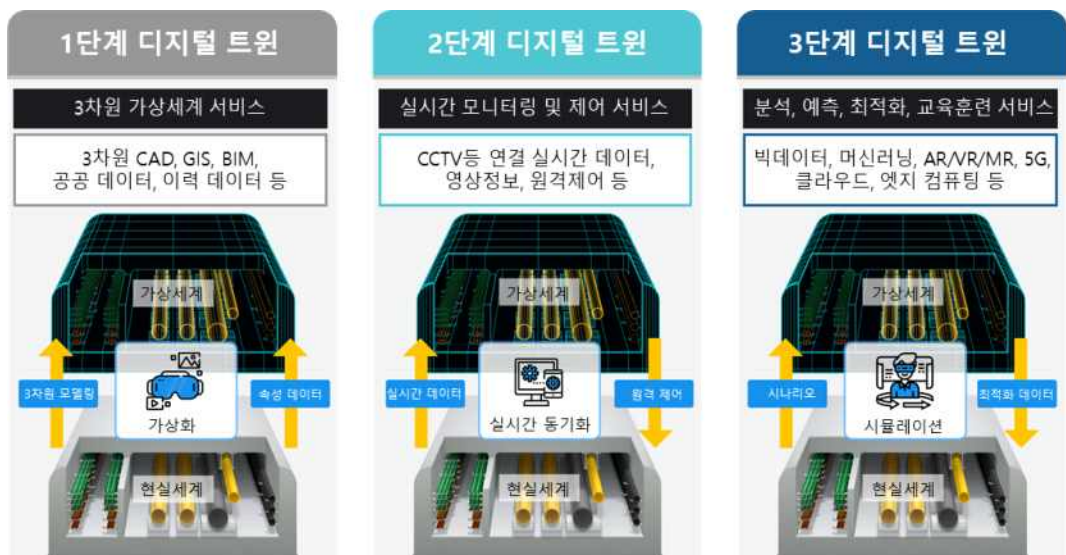
The Digital Twin is a set of virtual information constructs that fully describes a potential or actual physical manufactured product from the micro atomic level to the macro geometrical level. At its optimum, any information that could be obtained from inspecting a physical manufactured product can be obtained from its Digital Twin  
 - Grieves & Vickers(2016) -

- **[중요성]** 국가 인프라, 제조 현장, 생활 SoC 등 다양한 분야에서 3차원 모델링, 실시간 모니터링 및 제어, 분석·예측 등을 통해 국가 디지털 전환의 핵심기술 역할 수행

- (국내) 정부에서는 코로나-19 사태로 인한 경제적 위기를 극복하고 세계 경제를 선도하기 위해 “한국판뉴딜 종합계획”을 발표하였으며, 디지털 트윈을 10대 대표과제 중 하나로 선정함
- (국외) 정부 주도 데이터 연계 기반을 마련하고, 민관협력으로 국가 차원의 디지털 트윈 사업을 추진하여 세계적인 기술 경쟁력 확보
  - . (싱가포르) Dassault Systems와 협력하여 도시의 모든 구조물과 지형을 디지털 트윈(Virtual Singapore)으로 구현하였으나, 폐쇄형 플랫폼으로 상호운용성이 부족하다는 지적을 받음
  - . (영국) Virtual Singapore 사례를 기초로 데이터를 개방·공유·연계하고 보안·표준·확장성을 보완하는 국가 디지털 트윈 프로그램 추진
- (가트너) ‘17~’19년에는 10대 전략 기술 중 하나로 디지털 트윈을 선정하였으며, ‘20년에는 인간중심의 초-자동화(Hyper-Automation)를 위한 요소기술로 선정함

○ **[발전 단계]** 디지털 트윈 기술은 “현실세계 복제”, “현실세계 통제(감시)”, “현실세계 최적화” 의 3단계로 구분됨(출처: 가트너)

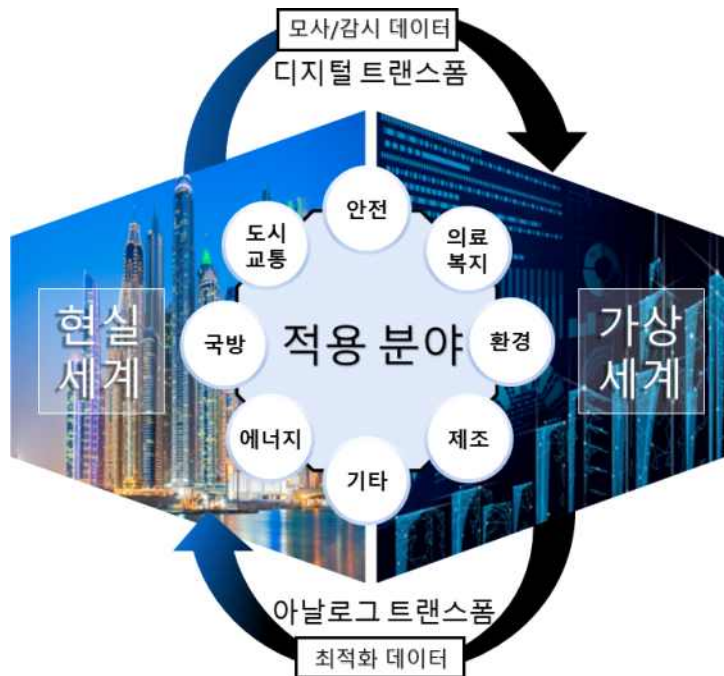
- (국내) 국가 기반시설 및 SoC를 감시(모니터링)하는 초보적인 수준의 디지털 트윈 기반 서비스 제공 중
- (국외) GE, Ansys, Siemens, Dassault Systems 등 세계적 기업들은 “현실세계 최적화”를 제공할 수 있는 상용 플랫폼을 보유하고 있으며, 제조, 의료, 스마트시티 등 다양한 응용 서비스를 제공하고 있음
  - . GE-IBM-Dassault Systems 등에서는 차량·항공·제조에서 통합 플랫폼까지 다양한 구축 실적을 바탕으로 디지털 트윈 소프트웨어 시장 선점



원출처: Use the IoT Platform Reference Model to Plan Your IoT Business Solutions, Gartner, 2016. Gartner의 동의하에 재구성 했습니다. 추후 이용 시 Gartner에 문의하시기 바랍니다.

그림 2. 디지털 트윈 기술의 발전 단계(현재 수준)

- **[참조 모형]** 디지털 트윈 기술은 현실세계의 아날로그 정보를 디지털화하여 가상세계로 전달하는 **디지털 트랜스폼**과 가상세계의 디지털 데이터를 아날로그 현실세계에 적용하는 **아날로그 트랜스폼**으로 구성됨
  - (디지털 트랜스폼) 현실세계를 구성하는 복합 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환하여 가상세계에 전달하는 과정
    - . 디지털 트랜스폼은 현실세계를 모사한 3차원 모형 데이터와 감시(모니터링) 데이터 등으로 구성됨
  - (아날로그 트랜스폼) 가상세계에서 데이터를 분석·추론하여 구한 최적화 데이터를 아날로그 현실세계에 적용하는 과정
    - . 아날로그 트랜스폼은 사용자(관리자)의 결정에 따라 현실세계에 적용되는 최적화 데이터로 장치 제어 및 행위 정보 등으로 구성됨



출처: 게이이미지뱅크 활용, 무단 전재 및 재배포 금지

그림 3. 디지털 트윈 참조 모형

- **[프로세스]** 디지털 트윈은 현장을 감시 및 통제하고, 모의를 통해 이상징후를 예측하고 최적화 방안을 도출하여 현장에 적용하는 **6단계** (데이터 생성 → 전달 → 통합 → 분석 → 이해 → 실행)로 진행됨

표 1. 디지털 트윈 프로세스

현실/ 가상세계	프로세스	설 명
현실→가상	생성	현실세계에서 획득한 데이터와 측정치 등, 동작에 영향을 미칠 수 있는 <b>외부 데이터 수집 및 모형 생성</b>
현실↔가상	전달	현실세계와 가상세계 간의 <b>실시간 양방향 통합/연결 지원</b>
가상	통합	데이터 분석을 위한 <b>전처리 및 통합</b>
	분석	전처리 데이터를 분석하고 모의하는 단계로 <b>의사결정을 지원하는 모형 생성</b>
	이해	분석 결과를 시각화하여 <b>대시보드에 표시</b> , 현실세계와 가상세계 간의 허용될 수 없는 성능 차이 강조, 조사 및 변경이 필요한 부분 표시
현실←가상	실행	이해 단계에서 확인한 실행 가능한 <b>피드백 정보를 현실세계에 적용</b>

## 1.2 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스 정의

- 디지털 트윈은 생산성 개선은 물론 다양한 사회문제까지 해결할 수 있어 재난안전, 제조, 도시·교통, 에너지·환경, 의료·복지, 국방 등 다양한 분야로 확대 적용 가능
- **(재난안전)** 가상세계 모의를 통해 재난, 산업 피해확산 등 현실세계의 문제점을 사전에 차단하거나 최소화하기 위한 예측·예방 중심의 전주기 안전관리 서비스
- **(농축수산)** 디지털 공간상에 가상의 팜(plant, animal, aqua 등)을 구축하고, 실제 팜과의 데이터 연동을 통해 환경·생육 관리에 필요한 다양한 시뮬레이션을 수행함으로써 최적의 팜 운영·생육환경을 예측·제공하는 서비스
- **(스마트시티)** 다양한 도시문제를 해결하기 위해 현실공간을 모사한 가상공간 모형에 실세계 정보를 실시간 반영하여 도시 현안을 감시·진단·예측하고 데이터 기반의 해결 방안을 사전에 학습·시험·검증할 수 있는 지속 가능한 도시관리 서비스
- **(디지털 에너지)** 디지털 모델링으로 현실세계의 전력 수급 체계에 동기된 가상의 에너지 수급 체계를 구축하고, 데이터 수집/분석과 시뮬레이션을 통해 에너지 수급 최적화 서비스, 수요자 맞춤형 에너지 제공 서비스 그리고 안전하고 효율적인 설비 운영관리 서비스 등을 제공하는 디지털 에너지 서비스



- **(의료)** 현실세계의 건강정보 및 의료자원 정보로부터 생성된 가상의 의료환경에서 질병의 진단 및 맞춤형 치료 방법을 제시하고 질병의 예후를 예측·관리하는 환자 중심의 디지털 의료 서비스
- **(제조)** 현실세계의 제조 자원 4M1E (Machine, Man, Material, Method, Environment)를 가상공간에 모사하고, 실시간 연결하여, 가상공간에서 제품의 설계, 생산, 유지보수, 서비스를 위해 요구되는 다양한 시뮬레이션을 수행하고, 의사결정을 가능하게 하는 서비스
- **(사이버보안)** 현실세계의 ICT 인프라 및 행위를 가상세계 모의를 통해 사이버 공격을 탐지 및 예측하여 사전에 최적의 보안 조치를 제시함으로써 사전/사후 대응이 가능한 사이버 자가방어 체계를 구축하는 사이버보안 기술
- **(IoT)** 현실세계(사물, 사람, 공간)을 모사(模寫)하는 디지털 사이버 객체를 생성하고, 모의를 통해 사이버 객체 간의 동작과 상호작용에 대한 미래 상태와 동작을 예측, 또는 구축된 물리적 대상을 실시간 모니터링, 예방, 예측, 최적화하는 일련의 소프트웨어 기술

## 2. 디지털 트윈 기술 동향

- 2016년 말에 가트너(Gartner)에서 발표한 2017년도 10대 전략 기술에 “디지털 트윈”이 포함되면서 2017년부터 “디지털 트윈” 키워드 검색 급증

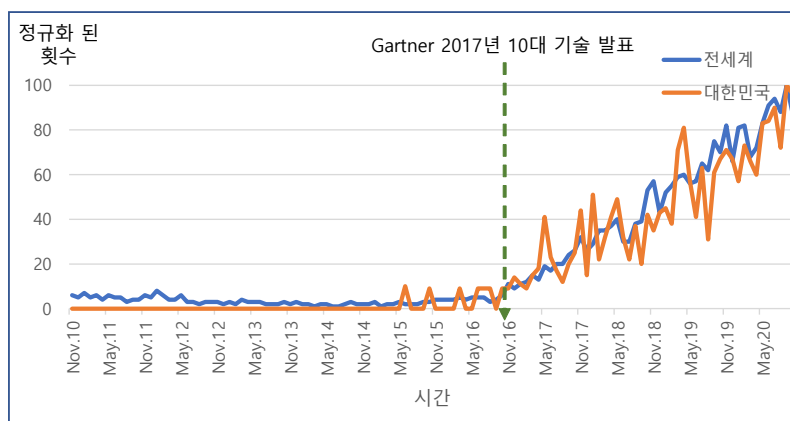


그림 4 최근 10년간 디지털 트윈 키워드 동향 (구글 트렌드 활용)

- 전 세계적으로 보면 뉴스 분야에서는 “디지털 트윈”이라는 키워드가 계속 사용되었지만, 과학, 비즈니스 및 산업, 인터넷 등의 분야에서는

2017년 이후부터 사용이 급속히 증가하는 추세를 보임

- 국내에서는 2016년 말부터 과학, 인터넷 등의 분야에서 “디지털 트윈”이라는 용어가 사용되기 시작하였고, 2017년 상반기부터는 비즈니스 및 산업계를 중심으로 사용이 늘어나는 추세를 보임

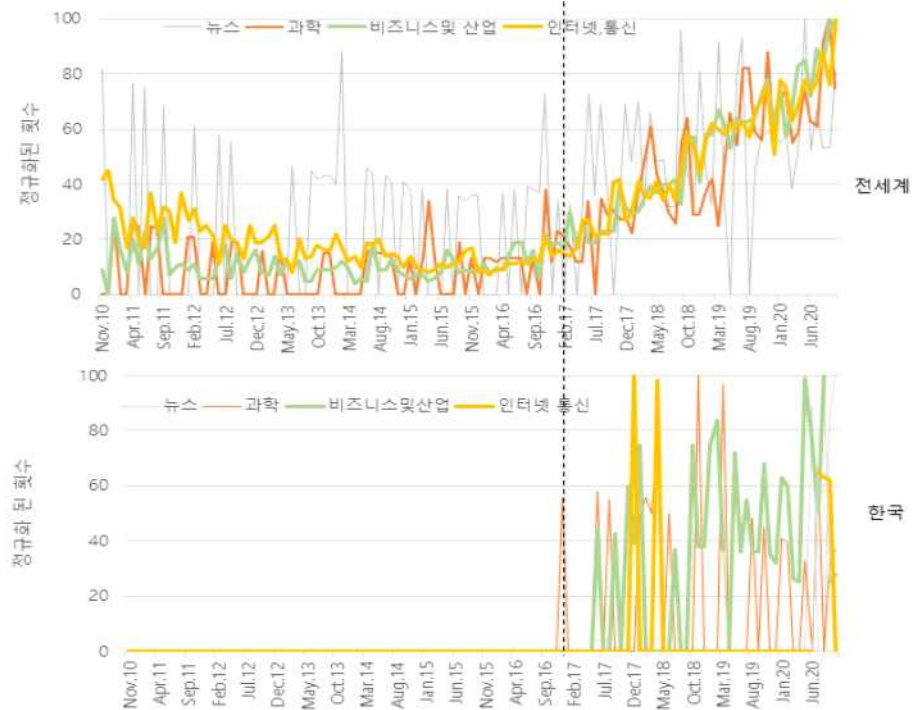


그림 5 최근 10년간 분야별 디지털 트윈 키워드 검색 동향 (구글 트렌드 활용)

- “디지털 트윈”이라는 키워드의 급속한 확산에 따라 관련 정책, 시장 및 표준화가 활발히 진행되고 있음

## 2.1 정책 동향

### 2.1.1 국내 정책 동향

- 현행 법령 및 정책을 분석하여 디지털 트윈도시 정보 허브 구축의 법적 근거를 식별하고 추진 방향을 설정. 디지털 트윈 계획을 4차산업혁명위원회에서 8대 선도사업으로 선정하였으며, 국토교통부에서는 법적 근거 하에 정책 추진
- 디지털 트윈을 활용하기 위한 정책은 스마트시티와 연계한 인프라 구축 정책과 맞물려 진행되고 있음. 기본적으로 도시문제를 모니터링하고 분석하기 위한 기본 데이터로 3차원 공간정보 구축 추진

- 국가 주도의 도시문제 해결을 위하여 디지털 트윈을 활용하려는 계획을 수립하고, 세종 5-1생활권과 부산 에코델타시티를 대상지로 선정하여 스마트시티 디지털 트윈 개방형 플랫폼 기술 실증 추진
- 제8차 및 제9차 에너지 수급 계획에 따라 인공지능, 빅데이터 기술 등을 활용하여 디지털 발전소를 구축하고, 이를 통해 발전 설비 운전 및 정비 효율화를 통해 경영 최적화를 추구함
- 「제로 에너지건축 보급확산 방안(‘19.06)」 발표로 '20년부터 제로 에너지 개념을 건물 단위에서 도시 단위로 확산 추진함

### 2.1.2 국외 정책 동향

- 글로벌 주요국들은 자국의 현실과 강점을 기반으로, 새로운 성장동력과 일자리 창출을 위한 디지털 트윈 관련 정책 추진

표 2. 세계주요국들의 디지털 트윈 관련 정책 현황

국가	정책적 특징	주요 정책
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ICT 대기업과 지방정부 주도로 디지털 트윈 활용 확산</li> <li>• 첨단 제조업과 스마트시티 분야 중심</li> <li>• 효율적인 민·관 협력체계 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smart America Challenge(2013)</li> <li>• Smart Cities Initiative(2015)</li> <li>• 미국 첨단 제조업 리더십 확보 전략(2018)</li> </ul>
독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국 거대 플랫폼 기업들의 패권에 대항</li> <li>• 인더스트리 4.0의 지속적 추진을 통한 첨단 제조업 육성 정책 중심</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High-Tech Strategy 2020(2012)</li> <li>• Digital Strategy 2025(2016)</li> <li>• Smart-City Charta(2017)</li> </ul>
영국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가 공공인프라의 디지털 트윈화 추진</li> <li>• 주요 도시들을 중심으로 디지털 트윈 프로젝트 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• National Digital Twin 권고(2017)</li> <li>• Gemini Principles(2019)</li> </ul>
중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정부의 강력한 정책적 드라이브와 대규모 투자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중국제조 2025(2015)</li> <li>• 빅데이터 산업발전 13.5규획(2017)</li> </ul>
싱가폴	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시국가 자체를 디지털 트윈화하는 정책 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Virtual Singapore(2014~2018)</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 디지털 및 로봇 분야 경쟁력을 기반으로 하는 디지털 혁신 정책 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Society 5.0(2016)</li> <li>• 미래투자전략 2018(2018)</li> </ul>

- EU 집행위원회는 디지털 에너지 시스템으로의 전환을 선택이 아닌 책임으로 규정, Energy Union과 Digital Single Market 정책을 개시하면서, 정책 구현의 핵심 기술로 5G, AI, IoT 그리고 블록체인을 선정함
- EU는 에너지 분야의 디지털 전환을 기술개발의 방향을 ICT 표준화 및 상호운용성 확보, 데이터 경제 구축, 사이버보안으로 제시함

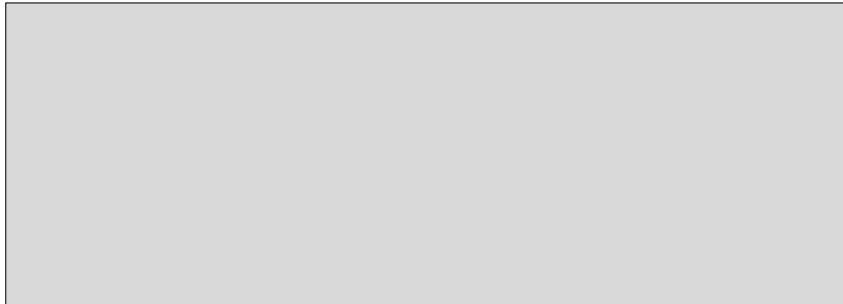
## 2.2 기술 및 시장 동향

### 2.2.1 국내 기술 및 시장 동향

- 국내에서는 '5G 기반 디지털 트윈 공공선도 사업'을 통하여 5G 기술과 디지털 트윈 기술을 기반으로 하는 재난안전 체계 구축, 시설물안전관리 및 안전관리 실증사업을 진행하고 있음
- 서울소방본부는 사회적 재난인 화재재난관리를 위하여 실내공간정보 기반의 디지털 트윈 공간을 구축하고, 실내 소방설을 객체화하여 서울시에서는 가상현실을 이용한 소방관들의 진입 및 훈련 시뮬레이션에 활용함(출처: 국립재난안전연구원 재난안전 제21권 3호, "가상현실 기술을 이용한 재난관리 기술")
- 건설기술연구원은 BIM/GIS 기반 디지털 공간 구축, 실내 설비 또는 소방시설 개체를 구축하여 화재 시 SOP 기반 대응 기술을 개발함(출처: 국립재난안전연구원 재난안전 제21권 3호, "가상현실 기술을 이용한 재난관리 기술")
- 미래 지능사회 지원을 위한 디지털 트윈 통합 국토관리 '신 패러다임' 선도를 위해 국토 통합관리 지원을 위한 입체 격자체계 기술을 개발하고 있으며, 정보영역(데이터 생성, 저장, 변화, 갱신), 핵심영역(분석 및 가시화), 서비스영역(데이터 검색 및 서비스 관리)의 요소기술로 구성함(출처: 국립재난안전연구원 재난안전 제21권 3호, "국토 통합관리 지원을 위한 입체격자체계 기술")
- 한국전자통신연구원은 다부처 과제로 "수요처 맞춤형 실감형 3D 공간정보 갱신 및 활용기술"을 개발하여 고정밀 3D 공간정보의 지속 가능한 공유 및 활용 생태계 구축을 위한 입체적 디지털 트윈의 기반 기술 확보
- 한국전자통신연구원은 도시내 사람, 사물, 공간을 유기적으로 연결하고, 전시적(全時·視的) 관점으로 재구성하여, 도시에서 발생하는 도시현상을 표현·설명하는 도시지능화(Dr.IC) 핵심요소 기술을 개발 중
- 한국전자통신연구원은 개인 맞춤형 제품 수요에 대응하기 위한 개방형 제조 서비스(FaaS) 실증 테스트베드를 오픈하여 미래 스마트팩토리에 대한 모형 제시
- 에너지 분야는 탈탄소화(Decarbonization), 분산화(Decentralization), 디지털화(Digitalization)가 미래 기술의 추세로 예상됨
- GS칼텍스는 여수공장 생산시설의 실시간 모니터링이 가능한 디지털 트윈 기반 통합관제센터를 2030년 완공을 목표로 구축 중
- LG유플러스는 2019년 10월, 5G 네트워크를 이용한 트랙터 원격 제어 및 무인 경작과 디지털 트윈 기술을 이용한 트랙터 원격진단 서비스 제공
- 한전은 클라우드 가상화 기술기반 공통 플랫폼(HUB-PoP)을 개발하고,

이를 기반으로 하는 차세대 배전 지능화 플랫폼, 지능형 디지털 발전소 개발을 추진 중임

- Infoholic Research(2017)에 따르면, 한국의 디지털 트윈 시장은 2019년 2.94억 달러에서 2023년 5.94억 달러로 성장할 전망(※ 세계 시장은 2019년 100.3억 달러에서 2023년 295.6억 달러로 성장)



출처: Infoholic Research (2017); 'Global Digital Twin Market—Drivers, Opportunities, Restraints, Trends, and Forecasts to 2023'

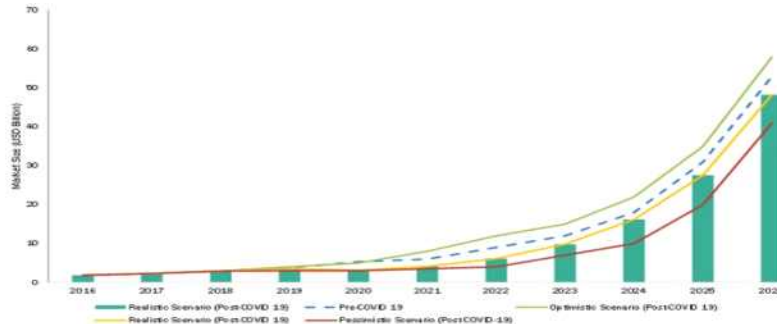
그림 6. 디지털 트윈 국내 시장 (단위: 백만 달러)

- 국내에서는 2019년 2월 “스마트시티 융합 얼라이언스”를 출범하여 다양한 도시 분야의 기술기반 기업들이 기술과 서비스 제공. 디지털 트윈 분야의 기업은 12개로 GIS, 공간정보, 3D, VR 기술기반의 전문 기업으로 2010년 이후에 설립한 기업이 다수임
- 한전은 디지털 발전 기술을 통해 2026년까지 약 5,000억 원의 경제적 성과 창출을 예상함

## 2.2.2 국외 기술 및 시장 동향

- 디지털 트윈은 제너럴 일렉트릭(GE), 다쏘 시스템(Dassault Systems), PTC, 앤시스(Ansys), 지멘스(Siemens), SAP, 사이트머신(Sight Machine), 팀코 소프트웨어(TIBCO Software), AT&T, 인포시스(Infosys), TwinThread, 등의 세계적 업체들이 선도하고 있음
- 항공기 엔진과 발전기 제조 분야의 세계적인 선도 업체들이 자사 제품에 대한 디지털 트윈 제작 경험을 바탕으로 디지털 트윈 관련 기술 및 플랫폼 솔루션 분야에서 시장을 확대하고 있음
- 미국의 GE는 생산하는 모든 산업 기계의 프로필을 구축하고 기계 공학적 모형을 획득 중이며, GE PREDIX 상에서 실행되는 80만 개의 디지털 트윈을 개발하였고, 헬스케어/메디컬/자동차/에너지/항공 등 산업 전반의 다양한 분야로 확장 중

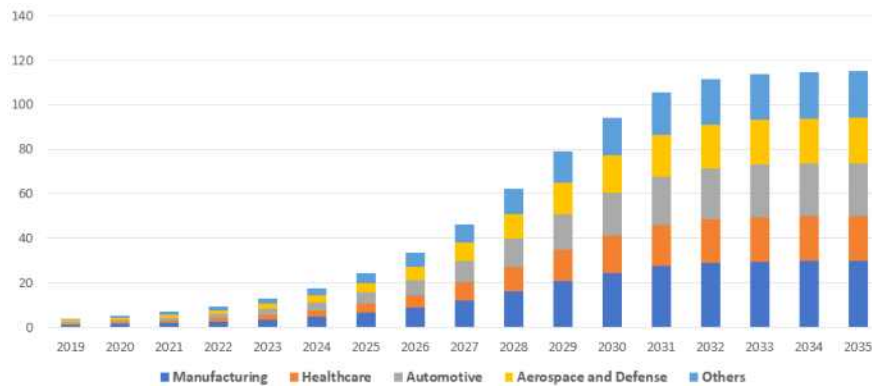
- 독일의 SIEMENS는 디지털 트윈 플랫폼을 개발하여 자사의 생산공정 최적화에 활용하고 있으며, Mindsphere를 개방형 IoT 플랫폼 기반으로 확대 적용하고 있어 향후 다양한 분야에 응용될 것으로 기대됨
- 독일 SIEMENS는 Mindsphere 분석 플랫폼을 에너지 분야에 적용하기 위한 업그레이드 작업을 2017년부터 진행 중임. 또한, 2018년 10월 소프트웨어 업체 Electrocon International Inc. 인수를 통해 전력망 시뮬레이션 기술을 확보함
- 프랑스의 Dassault Systems은 헬스케어, 에너지 효율 및 점유를 최적화하기 위한 건물 현황과 기술 정보를 실시간 3차원 데이터로 제공하는 사물인터넷 기반의 디지털 트윈을 이용하여 스마트시티를 구성하는 스마트 오브젝트, 스마트 빌딩 및 스마트 카의 통합 가상환경을 제공
- 디지털 트윈 데이터 전처리 분야에서도 아마존, 구글, Microsoft 등과 같은 세계적 기업이 선도하고 있음
- DNV GL은 NSIM(Nautica Site Information Models) 시스템을 기반으로 수산 분야에서 다양한 위치 기반의 응용서비스를 제공
- 일본의 MHPS는 앱 수준의 Tomoni를 개발, 자사의 복합화력 발전소에 대한 원격 감시 서비스에 적용함
- 세계적인 시장조사 전문기관인 가트너는 2017년부터 2019년까지 3년 연속으로 디지털 트윈을 그 해의 '10대 주요 전략적 기술 동향'으로 꼽으면서 디지털 트윈의 성장에 주목
- IDC는 2020년까지 글로벌 2,000대 기업의 30%가 운영 프로세스에서 고도화된 디지털 트윈 모형을 구현하는 가운데, 기업 조직의 수평화와 지식 근로자의 생산성 제고를 가져올 것으로 예측함
- Markets and Markets(2020.9)에 따르면 디지털 트윈 세계 시장은 2020년 31억 달러에서 연평균 58%의 높은 성장률로 2026년 482억 달러에 이를 전망



출처: Digital Twin Market Global Opportunity and Trend Analysis, 2019-2035, Root Analysis, 2019. 도표의 저작권은 Root Analysis에 있으며, Root Analysis의 동의하에 사용되었습니다. 추후 이용 시 Root Analysis에 문의하시기 바랍니다.

그림 7. 디지털 트윈 세계 시장 (10억 달러)

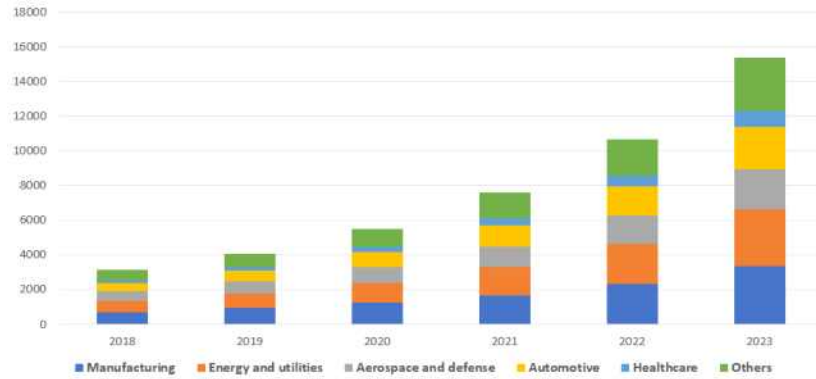
- Roots Analysis(2019)에 따르면 세계 디지털 트윈 시장은 2019년 38억 달러에서 2026년 333억 달러를 거쳐 2035년 1,153억 달러에 이를 것으로 전망(연평균성장률 23.8%)



출처: Global Digital Twin Market 2019-2035, Technavio, 2019. 도표의 저작권은 Technavio에 있으며, Technavio의 동의하에 사용되었습니다. 추후 이용 시 Technavio에 문의하시기 바랍니다.

그림 8. 디지털 트윈 세계 시장 (단위: 10억 달러)

- Technavio(2019)에 따르면 세계 디지털 트윈 시장은 2018년 31.1억 달러에서 연평균 37.7%의 고성장으로 2023년 153.9억 달러에 이를 전망
- 초기 제조업 중심의 디지털 트윈 시장은 다양한 산업 분야로 확대되고 있으며, 전 세계적으로 급성장 중임. 스마트시티 디지털 트윈 플랫폼 구현을 위한 다양한 선진사례들이 존재하며, 다쏘 시스템, 화웨이 등 많은 해외기업이 시장에 진출하고 있음
- 스마트시티 기술과 관련된 전 세계 170개 프로젝트 중 공공과 관련된 에너지, 교통, 안전 등 3개 중점 분야에 약 70%가 집중됨
- 에너지분야 디지털 트윈 시장 규모는 2019년 약 804백만 달러에서 2024년 1,642백만 달러로 연평균 약 15.4% 성장이 예상됨



도표의 저작물은 Markets and Markets의 허가를 받아 사용되었으며, 저작권은 저작권자에 있습니다. 추후 이용 시 Markets and Markets에 문의하시기 바랍니다.

그림 9. 디지털 트윈 세계 시장 (단위: 백만 달러)

- 에너지분야 디지털 트윈 시장은 SIEMENSE(독일), GE(미국), ABB(스위스), Emerson(미국), AVEVA(영국) 등의 업체가 기술개발을 주도함

## 2.3 표준화 동향

### 2.3.1 국내표준화 동향

- TTA의 CPS 프로젝트그룹(PG609)은 디지털 트윈 제조 사례와 요구사항 표준을 2020년 하반기에 제정 예정
- 디지털 가상화 포럼은 가상세계에 투영된 현실세계의 객체들을 감시하고 통제하며 운용하는데 필요한 다양한 기반 기술에 대한 표준화 추진 중

### 2.3.2 국제표준화 동향

- ISO TC 184/SC 4에서는 한국전자통신연구원의 주도로 제안된 디지털 트윈 제조 프레임워크 표준 4건을 NP(New Work Item Proposal)로 채택(2018.01)
- ISO/IEC JTC1/SC29/WG11에서는 가상세계 간 연동성을 제공하기 위해 센서, 액추에이터, 비전, 렌더링 로봇틱스 등과 같은 연결 정보 표현에 대한 표준화 추진 중

#### 2.3.2.1 ISO TC 184/SC 4/WG 15

- ISO TC 184/SC 4는 일반 제조업, 조선 해양, 플랜트, 원자력 플랜트 등 산업 데이터에 대한 표준을 개발하고 있음. 제품 데이터 및 품질 정량화 표준 등은 스마트제조 지원을 위한 핵심 자원에 해당하며,



- 시스템 간의 상호운용성, 자동화 시스템의 통합, 검사 및 유지보수, 스마트제조 기능 분산 구조화 및 검토 등의 목적으로 활용될 수 있음
- 제조 현장에 디지털 트윈 기술이 적용되기 시작함에 따라 개념 모델과 기능 참조구조, 모델링, 정보교환 등에 대한 표준화 필요성이 제기됨
  - 한국전자통신연구원은 디지털 제조 (Digital manufacturing) 표준화를 담당하는 WG 15에서 디지털 트윈 표준화에 착수하였으며, 한국이 디지털 트윈 제조 프레임워크 표준의 프로젝트 리더로서 표준개발 주도
  - 디지털 트윈 제조 프레임워크 시리즈(ISO 23247: Digital Twin Framework for Manufacturing)는 물리적 자산, 공정과 시스템 등을 포함하는 물리적인 사물을 컴퓨터로 표현하는 디지털 트윈 기술을 제조에 적용한 표준으로 2021년 상반기 중 국제표준 승인 예상

### 2.3.2.2 ISO TC 184/AhG Digital Twin

- 디지털 트윈 데이터 구조에 대한 보고서 작업을 진행 중이며, 완성된 보고서는 표준은 아니지만, 추후 관련 표준화 작업에서 참조될 예정
- 보고서에는 ISO 23247에 바탕을 둔 디지털 트윈 사례, 데이터 모델과 향후 요구되는 표준화 아이템 발굴 포함

### 2.3.2.3 IEC TC 65/ISO TC 184/JWG 21/TF 8 Digital Twin and AAS

- JWG 21은 IEC TC 65와 ISO TC 184가 스마트제조 참조구조 표준화를 위하여 공동으로 설립한 표준화 작업반으로 JWG 21 내에는 스마트 제조와 관련된 다양한 전담반을 구성하여 운영 중임
- 독일의 제안으로 표준화가 진행되고 있는 AAS(Asset Administration Shell)를 ISO 23247 기반의 디지털 트윈에 적용하기 위한 연구 진행 중

### 2.3.2.4 ISO/IEC JTC 1/AG 11 Digital Twin

- AG 11은 JTC 1에서 디지털 트윈 표준화 전략을 구축하기 위해 설립한 권고 그룹이다. 2020년 10월 현재 AG 11은 디지털 트윈 사례 개발을 위한 NP를 제안하였으며, 디지털 트윈 표준화를 위한 신규 기술위원회 (Sub committee) 설립을 2020년 하반기 JTC 1 총회에 제안함
- JTC 1은 정보 기술에 대한 광범위한 표준화를 수행하는 표준화 단체로 제조분야에 국한되어 있는 ISO TC 184나 IEC TC 65에 비하여 향후 다양한 기술 및 응용 분야에서의 디지털 트윈 표준화가 예상됨

2.3.2.5 ISO TC 184/SC 5/WG 13

- 한국전자통신연구원은 ISO TC 184/SC 5/WG 13의 프로젝트 리더로 제조설비동작명세서(Equipment Behaviour Catalogue)를 규정하는 국제표준 ISO 16400 시리즈를 개발하고 있으며 2022년 상반기 중 국제표준 승인 예상
- 제조설비 동작 명세서(ISO 16400)는 디지털 트윈 프레임워크(ISO 23247)의 장비 가상화와 연계되어 제조설비의 정적 특성뿐만 아니라 동적 동작을 표현하여 제조시스템의 동적 모니터링, 병목 공정 및 설비 종합적인 효율 개선 분석에 활용되는 제조시스템 시뮬레이션을 포함한 디지털 트윈 환경 구축의 핵심 기술로 활용될 수 있음

3. 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스 기술 로드맵

3.1 디지털 트윈 기술 성숙도 정의

- 디지털 트윈 기술의 성숙도(수준)는 크게 아래와 같이 다섯 단계로 구분 가능 (출처: 표준연구본부 “디지털 트윈의 꿈” 참조)

표 3. 디지털 트윈 성숙도

성숙도 (수준)	명 칭	설 명
5	자율 디지털 트윈 (Autonomous Digital Twins)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현실의 물리 트윈과 디지털 트윈, 또한 다수 디지털 트윈들 간의 실시간, 통합적, 자율/자동 동기화 동작 (사람의 개입 불필요)</li> </ul>
4	상호작용 디지털 트윈 (Interactive Digital Twins)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이종 도메인이 상호 연계되는 디지털 트윈 간의 연합적 동작 모델</li> <li>• 디지털 트윈 간의 연계, 동기화 및 상호작용 작업(동작 수행을 위해 사람의 개입이 요구)</li> <li>• 디지털 트윈 간의 데이터 인터페이스 버스(예: Digital Thread)와 동기화를 통해 작용과 반작용의 상호작용을 할 수 있으나, 최종적인 실행 단계에서 관리자의 확인과 결정을 통한 개입이 필요</li> <li>• 인터페이스 버스는 물리 트윈의 생애주기 전체 과정에 걸쳐 디지털 트윈 상호 연동을 위한 데이터 흐름 채널로서 기능함</li> </ul>
3	동적 디지털 트윈 (Dynamic Digital Twin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현실 대상에 대한 동작 모델이 존재함</li> <li>• 동작 모델에 대한 입력 변수의 변화를 통해 변화되는 동작을 시뮬레이션할 수 있음</li> <li>• 현실 대상에게 이미 일어난 문제에 대해 로그 데이터를 바탕으로 동작 모델을 통해 문제를 재현하여 원인 분석을 할 수 있음</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현실 대상과 디지털 트윈은 데이터 링크(예: MTConnect)를 통한 동기화에 따라 작용과 반작용의 상호작용을 할 수 있으나, 최종적인 실행 단계에서 관리자의 확인과 결정을 통한 개입이 필요할 수 있음(시스템의 안정성과 신뢰성을 보장할 수 없는 경우에 사람의 개입 필요)</li> </ul>
2	정적 디지털 트윈 (Static Digital Twin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구축 때 설치되고, 고정되어 있고, 재구축 때 외에는 사실상 영구적인 통신 연결</li> <li>• 행동 및 역학 모델은 없지만, 프로세스 논리가 적용되어 운영</li> <li>• 실시간 모니터링</li> <li>• 부분 자동 제어, 그러나 주로 인간의 개입을 통한 동작</li> </ul>
1	형상모사 디지털 트윈 (Look-alike Digital Twin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2D 또는 3D로 모델링되어 시각화된 현실</li> </ul>

### 3.2 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스의 현 수준과 한계점 분석

- 편리하고 건강하며 안전한 현실세계 구축을 위해 가상세계 모의 결과를 기반으로 위험 요소(문제점)를 파악하고 해결 방안을 도출하기 위한 지능화 융합 서비스에 대한 요구 증가
- 현실세계는 다양한 현상들이 복잡하게 상호 연계된 **복잡계(Complex System)\***로 정의할 수 있음
  - \* 복잡계: 기존의 패러다임으로 해석되지 않는 요소들의 영향으로 인해 분석·이해하기 힘든 현상으로 구성된 세계
- **현실세계**는 외부 요소들로부터 영향을 받고 복잡하게 상호 연계되어 있어서 단순한 조건적인 관점보다는 **복잡한 환경적인 관점으로 문제점 해결 필요**
  - 복잡계 문제를 해결하기 위해서는 한가지 기술 또는 조건으로 문제를 해결하기보다는 **다양한 기술과 서비스가 상호 융복합되는 환경을 구축하고 최적화 방안 추론이 가능한 지능화 융합 서비스 필요**
- **(재난안전 : 성숙도 - 2.5단계 )** 급속한 사회환경 변화\*로 인해 자연, 사회재난뿐만 아니라 이들이 복합화되는 복합재난 및 코로나-19와 같은 신종재난이 급증하는 사회현상 변화에 따른 지능화 융합 서비스 및 관련 핵심 기술 필요
  - \* 급속한 도시화 및 산업화, 거버넌스 변화, 자연환경 변화, 도심지 인구 및 인프라 집중, 노령화 등
  - 개별 재난모형을 융합하여 복잡한 현실세계의 문제점을 해결하기 위한 재난 시뮬레이션 기술 필요

- 서로 다른 유형의 재난들이 상호 영향을 미치는 복잡계 문제해결을 위해 빅데이터, 인공지능 등 첨단 ICT 기술을 활용한 예측/예방 재난안전 기술
- **(농축수산 : 성숙도 - 2단계)** 가상의 팜을 구축하여 현실 공간의 팜과 환경, 생육, 제어 데이터에 대한 실시간 연동을 통하여 팜을 효율적으로 운영, 관리할 수 있는 기술 개발이 요구됨
  - 현재는 팜 환경에 대한 단순 모니터링 및 운영을 위한 가시화에 초점을 맞춰서 기술 개발이 진행되었음
  - 가상의 팜 구축과 실시간 데이터 연동을 통하여 팜 환경과 대상 작물, 가축에 대한 생육에 대한 다양한 시뮬레이션을 통해 결과를 도출함으로써 팜 운영효율을 극대화할 수 있는 기술 개발이 요구됨
- **(스마트시티 : 성숙도 - 2.5단계)** 복잡한 도시문제를 이해하고 해결하기 위해 다양한 도시정보를 통합하여 분석하고 3차원 공간정보를 기반으로 효율적이고 직관적으로 가시화할 수 있는 수단으로 디지털 트윈 기술 필요
  - 현재는 3차원 공간정보 가상화와 도시 현상에 대한 실시간 모니터링 중심의 단방향 서비스라는 한계가 있으며, 최적화 방안 도출 및 실행을 위한 데이터 분석, 사전시험 및 검증, 현실세계 피드백 등의 기능을 추가하여 양방향 서비스로의 확대가 필요함
  - 복잡한 도시문제를 해결하기 위해서는 디지털 트윈도시를 매개로 도시 내 존재하는 다양한 도메인의 디지털 트윈 사물 간 유기적인 상호작용이 가능하고 나아가 다수의 자율적 디지털 트윈도시 간 상호운용을 지원할 수 있는 융합형 기술 개발이 필요함
- **(디지털 에너지 : 성숙도 - 2단계)** 디지털 가상공간에서 에너지 소비, 생산 및 공급 관련 정보의 신속한 공유와 연동을 통해 종단 간 안정적이고 최적화된 에너지 수급을 위한 기술 개발이 요구됨
  - 에너지의 생산 및 공급을 위한 발전소/전력망/설비 관련 모델링, 설계, 시뮬레이션, 운영관리 등의 기술과 에너지 소비 최적화를 위한 고효율 건축물 설계, 소비 패턴 분석, 수요 예측 기술들이 지금까지는 개별 기술 중심으로 개발됨
  - 하지만, 생산자와 소비자 종단 간 안정적인 최적 에너지 수급 체계 구축을 위해서는 개별 기술 단위의 최적화를 넘어 디지털 트윈 플랫폼을 활용한 분야별 기술들의 융합이 요구됨

- **(의료 : 성숙도 - 2단계)** 생애주기 전반의 맞춤형 의료를 위해 환자 중심의 데이터 및 질환 관리가 가능한 융합형 디지털 의료 서비스 기술이 요구됨
  - 현재 디지털 의료기술은 의료현장 중심의 진단 및 치료에 한정되어 장기적 질병 관리 및 예방을 위한 환자 중심 생활공간으로의 확장이 어려움
  - 진단, 치료, 예후 관리 등 질병 전주기 관리를 위해 환자 생활공간으로 관리 환경을 확장하고 이질적 건강 데이터 및 의료 서비스를 통합하는 융합형 서비스 기술이 필요
  - 감염병 확산 등 신속한 의료재난 대응을 위한 의료자원 관리 기술이 필요
- **(제조 : 성숙도 - 3단계)** 고객 니즈의 다변화로 인해 제품의 짧은 Life Cycle과 제품 특성에 따른 제조 방식의 다양성과 코로나-19 팬데믹 시대를 대비한 언택트 제조 요구가 증대하면서 제조 산업의 혁신을 견인할 수 있는 디지털 트윈 기술이 필요함
  - 대부분 개별 모델링 (3D 형상, 데이터 기반 모형, 물리 모형 등) 및 시뮬레이션이 단편적으로 활용되고 있으며, 제조 현장 데이터에 대한 모니터링 수준임
  - 변동성이 크고, 불확실성을 가진 여러 요소 (수요, 인력, 설비, 비용 등)들이 존재하여 복잡한 실제 공장환경에서 발생하는 다양한 문제점을 해결하고 실시간 대응 및 짧은 시간 내에 최적화하기에는 많은 기술적 한계가 존재함
  - 이를 해결하기 위해 공장 전체 혹은 공장 제조 자원에 대한 디지털 트윈 기반으로 실데이터 기반의 작동 시나리오 분석, 자산 최적화 등 시뮬레이션을 통해 효율적 제조 의사결정 지원과 문제·불량 발생의 예측으로 사전 또는 조기 대응할 수 있는 기술이 필요함
- **(사이버보안 : 성숙도 - 1.5 )** 원전, 에너지, 교통 등 주요 기반시설은 가동 중단 등의 우려로 인하여 직접적인 보안수준의 평가뿐만 아니라 보안패치가 불가하여, 간접적으로 취약점을 탐지하고 보안수준을 검증/평가할 수 있는 기술이 필요함
  - 현재, 보안점검 대상의 테스트베드에서 수행하고 있으나, 현실세계와의 차이로 인하여 실효성 있는 평가에 한계가 있음
  - 대상 도메인의 현실세계를 모사한 가상환경에서 보안수준을 평가하여 보안패치를 적용/검증한 후 현실세계에 적용하는 기술이 필요함

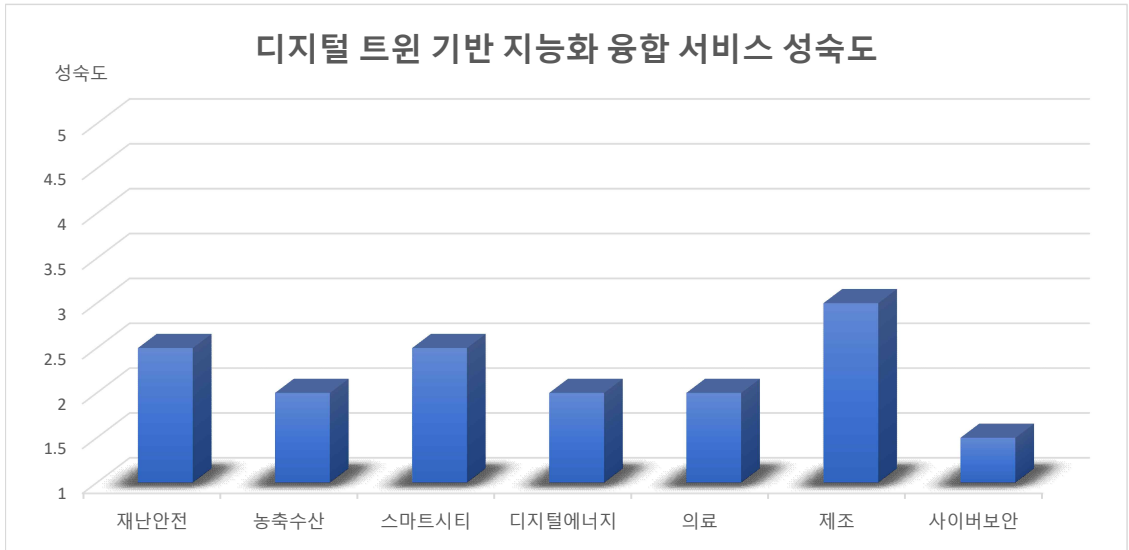


그림 10. 현 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스의 성숙도 분석 결과

### 3.3 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스 고도화를 위한 핵심 기술

- 앞에서 설명한 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스의 한계를 극복하고, 복잡한 현실세계의 다양한 문제점을 효율적으로 예측하고 예방할 수 있는 서비스 제공을 위해 아래와 같은 핵심 기술개발 필요

#### 3.3.1 재난안전

- 재난안전 분야는 예측 → 예방 → 대비 → 대응 → 복구 → 조사분석 형태로 구성된 전주기 관리 체계를 구축하고 있으며, 디지털 트윈 기술은 예측뿐만 아니라 전주기 재난안전관리를 위한 기술로 활용
- 전주기 재난안전관리를 위해서는 빅데이터, 인공지능, IoT, 초고속 네트워크, 지능형 로봇, 무인기 등 첨단 ICT 기술이 필요하며, 이러한 ICT 기술과 데이터가 융합된 디지털 트윈 기술 개발이 절실히 필요함

핵심 기술	내 용
재난확산 예측 모의기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공간 특성, 과거 사례 등 다양한 정보를 분석하여 재난 또는 사고가 발생할 수 있는 가상 시나리오 생성 기술</li> <li>• 개별 자연/사회재난 M&amp;S 및 복합재난 M&amp;S 기술</li> <li>• M&amp;S 결과를 사용자에게 전달하기 위한 시각화 기술</li> </ul>
재난안전 위험도 관리 및 예방 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관리 공간의 상황을 인지하고 분석하여 재난 발생 가능성 및 위험도 추론을 통한 재난안전 관리 기술</li> <li>• 재난확산예측 모의 결과를 분석하고 재난안전 위험도를 추론하여</li> </ul>

	재난 취약점을 분석하는 기술 • 분석된 취약점 정보를 기반으로 재난 발생을 미리 방지하기 위한 예방 기술
지능형 상황관리를 위한 맞춤형 의사결정지원 기술	• 재난피해 저감을 위해 최적을 대응방안을 도출하기 위한 지능형 상황관리 및 상황 전파 기술 • 재난대응 매뉴얼, 실시간 현장 정보, NDMS, 재난확산 예측 및 위험도 정보 등 재난안전에 관련된 다양한 정보를 융합하여 재난관리 주체자를 위한 맞춤형 의사결정지원 기술
자율성장 재난확산 예측 M&S 기술	• 재난확산예측 M&S 시 발생하는 신뢰성 및 장시간 실행시간 문제를 해소하기 위해 유사 사례 정보를 활용한 지속적인 자율성장이 가능한 고속·고신뢰 재난확산 모델링 기술
재난안전 디지털 트윈 모형 생성 관리 기술	• 공간정보, 현장정보, 재난확산예측 M&S, 대응 정보 등 다양한 정보를 전처리 통합을 통한 디지털 트윈 모형을 생성하고 관리하기 위한 표준체계 및 정합 기술 • 복수 개의 재난확산예측 M&S를 상호연결하고 통합하여 유기적으로 결과를 도출하기 위한 표준 프레임워크

### 3.3.2 농축수산

- 농축수산 분야는 팜(플랜트, 축사, 양식장 등)을 중심으로 가상의 팜을 통해 사육의 대상이 되는 작물, 가축, 어류 등에 대한 최적의 생육환경 도출을 위하여 다양한 시물레이션을 가능하게 하는 기반 플랫폼으로 디지털 트윈 기술을 활용할 수 있음
- 이를 위해서는 실제 팜과 가상 팜과의 데이터 연동을 통하여 팜 가상화 기술, 시각화/저작 기술, 환경관리 시물레이션 기술, 생육 관리 시물레이션 기술, 팜 운영 최적화 기술이 필요함

핵심 기술	내 용
팜 가상화/시각화 및 저작 기술	• 팜, 환경, 기자재, 운영에 대한 객체화 및 가상화 • 가상화를 통한 실제 팜과의 데이터 연동 • 디지털 공간상에 팜과 팜의 구성 요소들을 표출하기 위한 2D/3D 기반의 팜 객체 모델링 및 시각화 • 손쉽게 디지털 공간상에 팜을 구축하기 위한 AR/VR 기반의 팜 저작도구
팜 환경관리 시물레이션 기술	디지털 공간상에 구축된 가상의 팜을 이용, 다양한 환경에 대한 시물레이션을 통해 최적의 환경 제어 방법 도출 (에너지 효율 분석, 공기 흐름 분석, 물순환 분석 등)
팜 생육 관리 시물레이션 기술	디지털 공간상에 구축된 가상의 팜을 이용, 다양한 생육에 대한 시물레이션을 통해 최적의 생육 제어 방법 도출 (양성 상황에 따른 생육, 성장 저해 요인 분석, 배합사료 관리 등)
실-가상 팜 연동을	팜 환경/생육 시물레이션 결과를 이용, 실제 팜 제어를 통한 검증과

통한 운영 최적화 기술 | 오차 발생에 대한 원인 분석을 통해 팜 제어 방법 고도화

### 3.3.3 스마트시티

- 스마트시티 분야는 교통, 안전, 복지, 시설관리, 지역 불균형 등 다양한 도시문제 해결을 위해 이미 구축한 인프라 및 서비스들의 상호연계성, 실감성, 즉시대응성, 안전성, 자율성 등을 극대화하기 위한 기술로 디지털 트윈 기술 활용
- 초기 3차원 공간모형 생성, 전달, 통합 등 현실 도시공간에 대한 3차원 디지털 지도 구축 위주에서 현재는 다양한 도시현안 문제해결을 위한 대규모 동적 도시정보 수집, 통합, 분석, 이해, 실행 분야 중심의 기술로 스마트시티 서비스가 요구하는 디지털 트윈 기술의 범위가 확대되고 있음

핵심 기술	내 용
디지털 트윈도시 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고정밀 3D 도시공간 모형 구축 및 갱신 자동화 기술</li> <li>• 지능형·자율형 IoT센서 기반 실시간 도시현상 정보 수집 기술</li> <li>• 실내·외 초정밀 측위 및 geotagging 기술</li> </ul>
디지털 트윈도시 데이터 전주기 관리 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초연결·초고속 인프라 기반 대용량 데이터 저지연 보안 전송 기술</li> <li>• 디지털 트윈도시 데이터의 수집·가공·통합·저장·관리·배포 전주기에 대한 데이터 모델 표준화 및 개방형 인터페이스 기술</li> </ul>
디지털 트윈도시 최적화 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 디지털 트윈도시 서비스 맞춤형 빅데이터 통계분석 기술</li> <li>• 도시현상을 진단하고 원인을 설명할 수 있는 xAI 기술</li> <li>• 선제적 도시문제 대응 및 예방을 위한 도시현안/위험도 예측 기술</li> <li>• 시뮬레이션 기반 도시문제 해결 방안 사전 시험 및 검증 기술</li> <li>• AI 모델 및 시뮬레이션 모델 전주기 관리 기술</li> </ul>
디지털 트윈도시 전시적 가시화 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사각지대 제로/전시적 도시현상 실시간 모니터링 기술</li> <li>• XR 기반 도시현상 재현 및 가시화 기술</li> </ul>
디지털 트윈도시 자율 지능형 실행 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최적화 의사결정에 따른 실시간 자율형 사물·디바이스 제어 기술</li> <li>• In-city/inter-city 디지털 트윈 간 실시간 동기화 및 자율 대응 기술</li> </ul>

### 3.3.4 디지털 에너지

- 디지털 에너지 서비스는 에너지 공급의 균형 유지, 수요자 맞춤형 서비스 및 설비 최적 운영관리를 위해 실세계 개체가 생성한 데이터를 수집·통합·분석하고 상태와 성능을 감시·판단(이해)하여 공급 불균형의 발생을 예측하고 해결 방안을 실행함. 그러나, 제한적인 가상화로 인해 주요 디지털 에너지 서비스들에 한계가 있음
- 기존 디지털 에너지 서비스는 AMI, IoT(5G) 등의 대용량/저지연/고속



데이터 생성·수집·전달기술 EcoGrid, WAsP, BIM 등의 설비 모델링/시뮬레이션 기술, 기계학습과 딥 러닝 기반 인공지능/빅데이터 분석기술 그리고 클라우드 플랫폼 기반 가상화 기술들과의 융합으로 고품질 디지털 에너지 서비스 제공이 가능함

서비스	핵심 기술	내용
전력 거래	<ul style="list-style-type: none"> <li>발전 설비 및 수요 모델링</li> <li>전력거래 데이터 수집 네트워크 및 통합 관리 플랫폼 구축</li> <li>발전 및 소비 패턴 분석/예측</li> <li>에너지 거래 최적 매칭</li> <li>발전 설비 및 수요 최적 제어</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>개인 간 개인과 유틸리티 간 그리고 유틸리티와 거래소 간 전력거래를 위한 거래 모델 개발</li> <li>발전 및 소비 패턴 분석을 통해 전력 수요자의 요금제에 따른 최적 거래 매칭을 이룰 수 있도록 전력 생산설비와 수요에 대한 최적 제어 수행</li> </ul>
HEMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>주요 가전 에너지 소비 패턴 및 에너지 자가 생산설비 모델링</li> <li>가전 데이터 수집 및 통합 관리</li> <li>가전 에너지 소비 패턴 분석 및 예측</li> <li>수요반응 대응 가전/설비 최적 제어</li> <li>제로 에너지 주택 최적 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>택내 가전의 전력 소비 데이터의 수집 및 분석 휴일과 기후 등의 조건에 따른 에너지 소비예측 모델 개발, 다양한 모델별 시뮬레이션을 통한 제로 에너지 주택 설계기술 개발</li> <li>그리드 수요반응에 따른 개별 가구의 발전 설비와 가전에 대한 최적 제어 기술 개발</li> </ul>
BEMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>빌딩의 냉난방/조명/공조 모델링</li> <li>빌딩 내 에너지 데이터 공유 네트워크 및 통합 관리 플랫폼 구축</li> <li>빌딩 에너지 소비 패턴 분석 및 예측</li> <li>다중 빌딩 에너지 소비 최적 제어</li> <li>제로 에너지 빌딩 최적 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물정보, 에너지, 기상 등의 인자를 고려한 빌딩 에너지 소비 패턴 및 수요 예측 시뮬레이션을 통해 건물의 최적 에너지 소비를 위한 설비 자동 제어 기술 개발</li> <li>다중 설비의 모의 연계 시험을 통한 다중 빌딩 에너지 소비 최적화 기술 및 다중 설비 최적 제어 기술 개발</li> </ul>
FEMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>생산설비/냉난방/조명/공조 관련 개체 모델링</li> <li>공장 내 에너지 데이터 공유 네트워크 및 통합 관리 플랫폼 구축</li> <li>공장 에너지 수요 패턴 분석 및 예측</li> <li>에너지 소비 최소화를 위한 공정 절차 및 설비 최적 제어</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공장 설비 및 내외부 에너지 생산/소비 모델 개발 그리고 운영 정보의 실시간 수집 및 분석으로 공장 설비의 최적 운전 기술 개발</li> <li>공장 내 다양한 설비들에 대한 가상 운전과 성능 검증을 통해 에너지 소비 최적화 공정 개발</li> </ul>

### 3.3.5 의료

- 의료분야는 생애주기 전반의 체계적 건강관리 지원을 위해 질병의 진단, 치료 및 예후 관리 기술개발이 진행되고 있으며, 정밀 의료 실현을 위해 환자 맞춤형 전주기 건강관리 서비스 연계 기술이 요구됨
- 환자 맞춤형 건강관리를 위해 문제에 특화된 센싱, 이종 건강 빅데이터 통합관리, 인공지능 기반의 초정밀 분석 및 예측 등 의료분야에 최적화된

### 디지털 트윈 기술개발이 필요

핵심 기술	내 용
고감도 생체신호 센싱 기술	환자 건강 상태의 실시간 감지를 위한 특이적 생체마커 및 고감도 생체신호 측정 기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 다중 바이오마커 측정</li> <li>• 호기가스 측정</li> <li>• AI 디지털 청진</li> </ul>
개인 건강 데이터 기반 질병 진단/치료/예후 예측 기술	의료·생체·유전체 정보로 구성된 디지털 휴먼으로부터 환자의 건강 상태를 진단하고 치료 방법 및 재발 등의 예후를 예측하는 기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건강정보 기반 디지털 휴먼 트윈 모델링</li> <li>• 환자의 질병 초정밀 진단</li> <li>• 최적 치료경로 시뮬레이션</li> <li>• 질병 예후 시뮬레이션 및 재발 위험도 예측</li> </ul>
재활 트레이닝 기술	디지털 트윈과 실시간 재활 운동 정보를 분석하여 맞춤형 재활운동을 추천하고 모니터링하며 재활 효과를 극대화하는 기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 근골격계 정보 기반 디지털 트윈 모델링</li> <li>• 맞춤형 재활운동 프로그램 예측 및 시뮬레이션</li> </ul>
의료재난 상황 시뮬레이션 기술	감염병으로 인한 의료재난 상황에 환자 및 의료자원을 모니터링하며 감염병 확산 및 의료자원 운용을 시뮬레이션하여 극단적인 의료재난 상황을 회피하는 기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 병원 정보 기반 의료 디지털 트윈 모델링</li> <li>• 의료재난 상황 시뮬레이션</li> <li>• 시뮬레이션 기반 의료자원 triage</li> </ul>

### 3.3.6 제조

- 변동성이 큰 복잡한 공장환경과 제조 분야의 특성이 달라 생산성 최적화를 위해서는 제품, 공정, 설비 간 연계 분석, 불량원인자 추적과 설비고장 예지 등 제조 현장의 여러 문제점을 해결하기 위해서는 많은 기술적 한계가 존재함
- 현실세계의 생산 현장에 존재하는 사물에서 다양한 정형·비정형 데이터를 실시간으로 수집·처리하고, 실-가상환경에서 재현·시뮬레이션하여 얻은 데이터를 기반으로 제품/설비/공정을 최적화하기 위한 지능형 디지털 트윈 기술이 필요함

핵심 기술	내 용
디지털 트윈 제조 자원 모델링 기술	실제 대상 제조 자원(제품, 설비, 공정, 환경 등)의 속성/상태 정보를 포함하여 가상세계와 상호작용하기 위한 디지털 구성 요소 객체들로 모델링하기 위한 기술

공급망 구성을 위한 동적 플래닝 및 스케줄링 기술	제조 산업의 개인화, 공급망 다변화, 생산성 극대화를 위해 사용자-수요 공장 간 연계 및 최적 매칭을 위한 공급망 플래닝을 구성, 추천 및 스케줄링 기술
제조 데이터 분석 및 예측 기술	복잡한 제조환경에서 생산 최적화를 위한 공정 예측, 설비 예지 진단, 설비 자율제어 등 AI 기반으로 제조 데이터를 실시간으로 분석 및 예측하기 위한 기술
생산공장의 최적 운영을 위한 제조 시뮬레이션 기술	다양한 실 제조환경에서 수집된 데이터를 기반으로 가상환경에서 그대로 재현 및 시뮬레이션하여 실제 생산공장의 최적화를 제공하는 디지털 트윈 기반 제조 시뮬레이션 기술

### 3.3.7 사이버보안

- 사이버보안 분야는 사이버 공격의 탐지와 예방으로 핵심 서비스를 나눌 수 있으며, 기존 기술의 성능적인 한계를 극복하기 위해 디지털 트윈 기술을 활용할 수 있음
- 디지털 트윈의 중분류(생성-전달-통합-분석-이해-실행)와 유사하게 사이버 보안 시스템은 수집-분석-탐지-대응(복원)-예측으로 구성되어 있으며, 각 단계에서 디지털 트윈 기술을 활용할 수 있으며, 분석 및 이해를 통한 사이버 공격 예측에 디지털 트윈 기술개발이 절실히 요구됨

핵심 기술	내 용
침입 탐지/대응 기술	ICT 인프라의 디지털 트윈 상에서 실시간 행위 분석을 통해 사이버 공격 탐지 및 보안 패치 최적 솔루션 제시
사이버 공격 시뮬레이션	ICT 인프라의 디지털 트윈 상에서 공격 가능 경로 및 사이버 공격에 취약한 자산을 시뮬레이션하고 보안 솔루션을 제시하여 사이버 공격을 사전에 방지하는 기술

### 3.4 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스의 미래상

#### 3.4.1 재난안전

현재	미래
<p><b>대응 중심의 재난관리 체계</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>재난피해 불확실성 증가에 따른 재난 발생 전후에 대한 대비 및 대응 체계 미비</li> <li>산재된 재난정보 기반의 단일재난에 대해서만 예측 가능</li> <li>* 도심지 인프라에 의한 복합재난 예측 어려움</li> <li>파편적인 재난정보 표출로 인한 재난관리자 역량에 따른 대응역량 결정</li> <li>재난현장을 고려하지 않은 매뉴얼(SOP: 표준작전절차) 중심의 재난대응 체계</li> <li>개별적인 시스템 및 관측시스템 운영에 따른 총괄적인 재난안전 상황관리 및 의사결정 혼란 야기</li> </ul>	<p><b>예측/예방 중심 전주기 재난관리 체계로 전환</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>재난 발생 이전부터 재난관리를 위한 디지털 트윈 기반 재난전조 감지·예측 체계 구축</li> <li>이종 복합재난정보 통합 및 M&amp;S에 의한 분석을 통한 복합재난 예측 및 재난예방력 강화</li> <li>* 재난정보 통합 및 분석을 통한 재난 간 상호연계성 분석정보 기반 재난 예측 가능</li> <li>재난정보를 통합적이고 직관적으로 제공함에 따라 신속한 재난대응 역량 강화</li> <li>재난상황 예측정보 및 현장정보 분석을 통한 현장맞춤형 능동재난대응 체계 구축</li> <li>재난상황 및 사용자 맞춤형 실시간 대응 의사결정 통합지원 체계 구축</li> </ul>

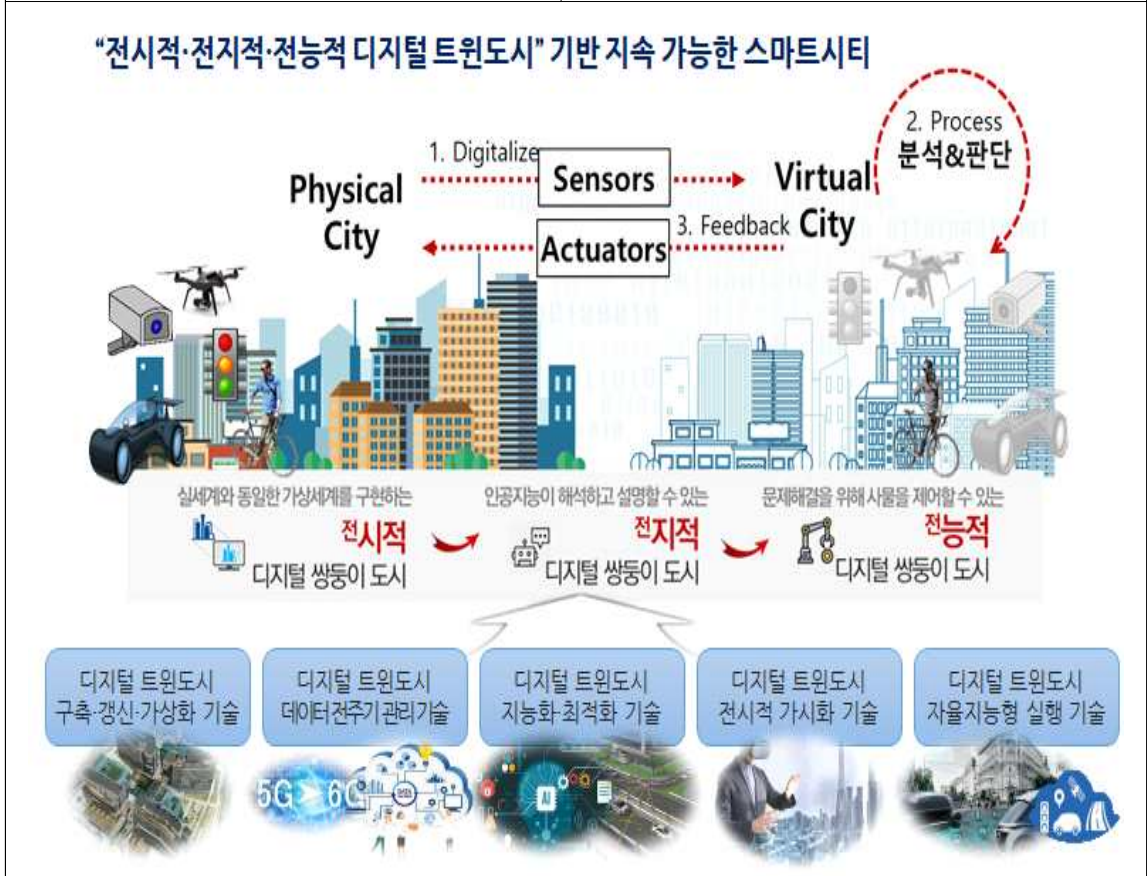
### 3.4.2 농축수산

현재	미래
<p><b>환경 대응적 팜 운영/관리</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>경험, 매뉴얼 중심의 팜 설계, 운영</li> <li>팜 내외부 환경 요소에 대응하기 위한 수동적 팜 운영</li> <li>정제되지 않은 팜 데이터 활용에 대한 어려움 및 복합 분석의 어려움</li> <li>팜 생산에 따른 수요/공급 조절의 어려움</li> <li>개발 기술에 대한 제한적 현장 적용</li> </ul>	<p><b>예측 중심 전주기 팜 운영/관리로 전환</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>데이터 중심의 팜 설계, 운영</li> <li>시뮬레이션 분석 결과를 활용한 동적, 지능적 팜 운영</li> <li>팜 환경, 기자재, 에너지, 운영에 대한 종합적 데이터 수집을 통한 복합 분석 가능</li> <li>시장 예측을 통한 팜 생산 수요/공급 조절 가능</li> <li>개발 기술에 대한 현장 적용 재현율 향상</li> </ul>



### 3.4.3 스마트시티

현재	미래
<p><b>도시공간 및 도시현상에 대한 디지털 뷰어</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2D영상·센서 정보기반 도시현상 파편적 재현 및 수동·육안 관제</li> <li>• 2D·제한적 3D 지도기반의 육안 분석 및 단편적 통계 산출</li> <li>• 인공지능이 분석 및 판단하는데 필요한 도시객체 형상 및 속성 데이터의 부재</li> <li>• 저성능·저효율·단편적 사일로 인공지능에 기반한 저품질의 분석 데이터 생성</li> <li>• 도시내 디지털 트윈사물 간 또는 다수의 디지털 트윈도시 간 상호연계 체계 및 상호운용성 지원 미비</li> </ul>	<p><b>전시적·전지적·전능적 디지털 트윈도시로의 전환</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D 도시공간 지도기반 전시적·사각지대 제로 도시현상 재현 및 실시간 지능형 관제</li> <li>• 고정밀 3D 지도기반의 시뮬레이션 분석 및 서비스 맞춤형의 시공간 빅데이터 통계분석</li> <li>• 인공지능이 도시문제를 해석하고 설명하며 예측할 수 있는 전지적 디지털 트윈도시</li> <li>• 고성능·고효율·지속가능한 연합형 인공지능에 기반한 고품질의 분석 데이터 생성</li> <li>• 디지털 트윈도시를 매개로 도시 대내·외 디지털 트윈 사물 간 유기적·자율적 상호작용이 가능한 전능적 디지털 트윈도시 실현</li> </ul>



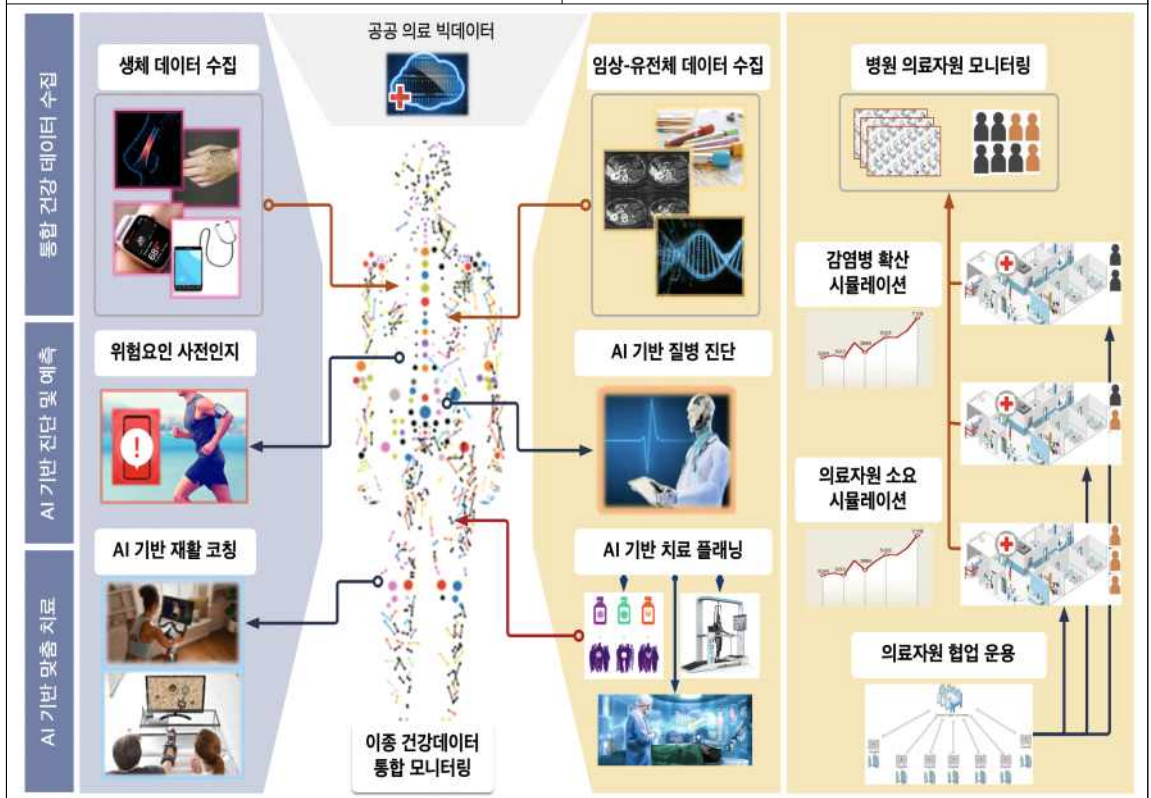
### 3.4.4 디지털 에너지

현재	미래
<p>에너지 생산 또는 소비 관련 설비 자산의 최적 설계 또는 운영효율 개선을 위한 개별 기술 단위 중심 개발로 인해 요소 기술 연계 부족, 주요 자산 정보의 공유와 활용을 위한 기술 미비로 인해 에너지 수급 최적화와 실시간 자산 관리 한계 존재</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 발전/송배전 설비 설계 및 제어                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 기반 발전 설비 설계 기술</li> <li>- 디지털 변전소 및 배전망 설계 기술</li> <li>- 발전 설비 최적 운영 기술</li> <li>- 에너지 생산 및 수요 예측 기술</li> </ul> </li> <li>에너지 소비 관련 설비 설계 및 제어                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- Green BIM 기반 고효율 건축물 설계 기술</li> <li>- 에너지 소비 패턴 분석 기술</li> <li>- 주택 및 빌딩 에너지 설비 통합 제어 기술</li> <li>- 생산 설비 에너지 설비 통합 제어 기술</li> </ul> </li> </ul>	<p>단위 기술 간 융복합화로 에너지 생산자와 소비자를 연결하는 주요 발전 자산의 동작 상태와 성능 정보를 실시간으로 공유 및 분석하고, 다양한 조건의 모의실험을 통해 얻은 제어 프로세스를 자산에 재적용하여 에너지 수급의 최적화 달성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>가상화 기반 설비 운전 및 유지보수 기술                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설비 통합 운전, 연속 감시 및 AR/VR 기반 설비 유지보수 기술</li> <li>- 고장 예측 탐지 및 수명 예측을 통한 유지보수 스케줄링 기술</li> <li>- 가시적이고 직관적인 설비 위험/위험 탐지 및 회피 기술</li> </ul> </li> <li>최적화된 전력 수급 유지                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 요금제에 따른 설비 최적 운전 기술</li> <li>- 고효율 에너지 소비 모델 설계 운영 기술</li> <li>- 실시간 전력거래 기술</li> <li>- 발전 설비 유연 운전 기술</li> </ul> </li> </ul>



### 3.4.5 의료

현재	미래
<p><b>현장 치료 중심의 초보적 디지털 의료</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 의료현장을 중심으로 전문가 경험에 의존적인 진단 및 치료 위주의 의료 서비스</li> <li>• 파편화된 환자 데이터에 기반한 매뉴얼화된 치료가 이루어져 환자 맞춤형 치료에 한계</li> <li>• 일상에서 일부의 기초적 생체정보가 자동 수집되고 있으나 낮은 신뢰도 문제로 의료현장에서 활용이 저조함</li> <li>• 데이터 교류가 어려워 환자의 생애 전주기 데이터 관리가 불가하여 예방을 위한 의료 서비스 확장이 어려움</li> <li>• 개별 기관 중심의 대응체계로 감염병 확산 시 의료기관 간 협업이 어렵고 유기적 대응이 불가</li> </ul>	<p><b>생애주기 건강관리가 가능한 지능화 융합 의료 서비스</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 환자 생활공간으로 의료 서비스 확장</li> <li>• 임상, 유전체, 생체정보 등 이종의 통합된 건강정보를 바탕으로 한 환자 맞춤형 고정밀 질병 진단 및 예측</li> <li>• 수술, 약물, 재활 등의 치료 시뮬레이션을 통해 최적의 치료법을 찾아 환자 맞춤형 치료 가능</li> <li>• 밀착형 고감도 건강 센서를 활용하여 일상 건강 상태를 지속적으로 모니터링하며 질병 위험요인을 사전에 인지하여 질병을 사전에 예방하고 재발 및 악화 방지</li> <li>• 의료현장의 의료자원 모니터링을 통해 감염병 확산 시 긴밀한 협업 및 효율적 대응이 가능</li> </ul>



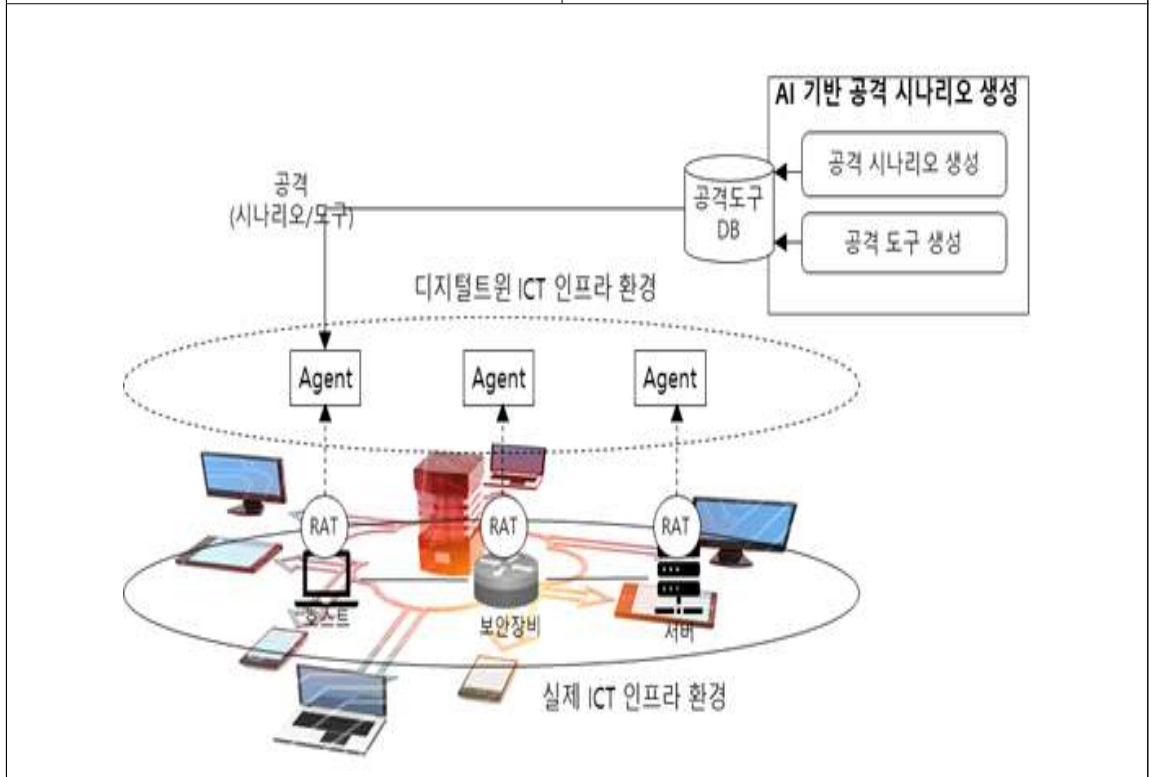


### 3.4.6 제조

현재	미래
<p><b>제조 자원 데이터 모니터링 및 시뮬레이션 중심 디지털 트윈 서비스</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기업 혹은 시뮬레이션 전문기업 중심으로 특정 공장 및 설비에 특화된 기초적인 수준의 디지털 트윈 구축</li> <li>• 공장의 제조 자원(설비, 공정, 환경 등) 수집된 데이터의 실시간 모니터링 및 단편적인 제조 운영 시뮬레이션 분석</li> <li>• 디지털 트윈 기술을 제조 현장에 적용하기 위한 실시간성 지원 측면 부족</li> <li>• 스마트 공장 고도화를 위한 제조장치, 생산라인, 제품 등의 대규모 구성요소를 자동 생성 및 관리할 수 있는 기능 요소 부족</li> <li>• 실제 생산제조 라인과 환경을 가상공간에 구현하고 있지만, 물리적 환경변화를 정밀하게 모사하고, 이에 대한 상황 예측·대처가 미흡함</li> </ul>	<p><b>제조 전주기의 최적 운영이 가능한 디지털 트윈 기반 지능형 자율 제조 서비스</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 가상-물리 시스템이 유기적으로 연계되어 유사모델 및 환경을 가진 설비들의 빠른 디지털화 및 실시간 양방향 제어가 가능</li> <li>• 고신뢰, 고정밀 보장 가상화를 지원하고 다양한 이종 요소 기술과 시뮬레이션을 연동하여 실세계-가상환경의 실시간 연결 및 동기화 가능</li> <li>• 대규모 스마트 공장의 최적 운영을 위해 설계/생산공정/제품 등 제조 전 주기에 걸친 품질 관리 및 예측, 운영효율 극대화</li> <li>• 가상 시운전(Virtual commissioning) 기반 제조 전 주기의 의사결정 통찰력 지원</li> <li>• 물리적 제조 자원의 현재 상태를 실시간으로 파악하고 변화에 대응하며, 문제·불량 발생의 예측으로 사전 또는 조기 대응 가능</li> </ul>

### 3.4.7 사이버보안

현재	미래
<p><b>사후대응 중심의 사이버 공격 방어체계</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 사후대응 위주의 방어체계(IDS, IPS 등)로는 사이버 공격의 효과적 대응에 한계</li> <li>• 일부 사이버 공격 경로를 예상하는 연구가 있으나, 단순 확률적 접근에 기반한 초보적 수준의 연구임</li> <li>• 특히, 실제 해커가 원전, 교통 등 주요 인프라를 대상으로 모의 해킹 공격을 실행할 수가 없어, 디지털 트윈과 같은 가상공간에서의 해킹 시뮬레이션이 필요함</li> </ul>	<p><b>사전예방 중심의 사이버 공격 자가방어 체계로 전환</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 디지털 트윈 환경에서 지속적인 가상의 모의 해킹을 통해 사후대응 솔루션의 성능한계를 극복하는 시도가 예상</li> <li>• 특히, 원전, 교통 등 주요 인프라를 디지털 트윈으로 대상으로 모의 해킹 공격을 실행할 수가 없어, 디지털 트윈과 같은 가상공간에서의 해킹 시뮬레이션이 필요함</li> </ul>

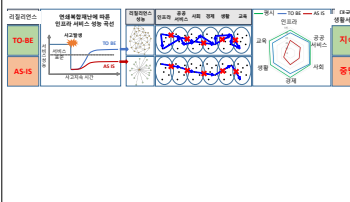



### 3.5 2030 디지털 트윈 기반 지능화 융합 서비스 기술 로드맵

- 앞 절에서 제시한 디지털 트윈 기반의 지능화 융합 미래 서비스 실현을 위한 핵심 기술의 로드맵은 아래와 같음

#### 3.5.1 재난안전

- 디지털 트윈 기반 전주기 재난안전 융합 서비스 미래상을 구현하기 위해서는 아래와 같은 기술 개발 필요
  - 재난확산예측 모의 기술
  - 재난안전 위험도 관리 및 예방 기술
  - 지능형 상황관리를 위한 맞춤형 의사결정지원 정보 추론 기술
  - 자율성장 재난확산 예측 M&S 기술
  - 재난안전 디지털 트윈 모형 생성 관리 기술

구분		단기(~2023)	중기(~2026)	장기(~2030)
달성목표	서비스	디지털 트윈 기반 재난 위험도 관리 서비스 	디지털 트윈 기반 재난 예측·예방 중심 재난피해 저감 서비스 (개별재난) 	디지털 트윈 기반 전주기 재난·안전관리 서비스 (융복합 다중공간 복합 재난) 
	제품	디지털 트윈 기반 재난안전 위험도 관리 플랫폼	디지털 트윈 기반 재난확산예측 서비스 플랫폼	디지털 트윈 재난안전 서비스 플랫폼
재난확산 예측 모의 기술	기초 원천	재난안전도 진단 모의 시나리오 생성기술	인프라 시설 간 연쇄 재난피해 확산예측 기술개발	자율성장형 복합 재난 예측 정확도 제고 기술
	응용 개발	재난연계지수 기반 시나리오 생성 기술개발	인프라 재난 확산예측 플랫폼 기술 개발	자율성장형 복합재난 확산예측 플랫폼 기술 개발
재난·안전 위험도 관리 및 예방 기술	기초 원천	인프라 위험도 레지스터 구축 관리 기술 개발	인프라 위험도 상관관계 연계지수 산정 및 위험도 자동 추론 기술 개발	융복합 다중공간 복합 재난안전 연계지수 산정 및 예방력 강화 기술
	응용 개발	인프라 위험도 관리 플랫폼 기술 개발	인프라 위험도 상관관계 위험도 추론 엔진 개발	융복합 다중공간 복합 재난안전 예방력 강화 플랫폼 기술 개발
지능형 상황관리	기초 원천	인프라 이상상황 관리를 위한 의사결정지원	재난사례기반 지능형 의사결정지원 정보추론	융복합 다중공간 다측면 의사결정지원 정보 추론

를 위한 맞춤형 의사결정 지원 기술	응용 개발	정보추론 기술개발 인프라 재난전조 및 초기 대응 의사결정지원 정보추론 기술개발	기술개발 재난상황인지 기반 의사결정지원 정보추론 기술개발	기술 개발 현장 맞춤형 전주기 재난안전 의사결정지원 정보추론 기술 개발
	기초 원천	재난안전 진단모형 기술 개발	재난안전 모형 연합 (Federation) 표준 기술 개발	자율성장형 다측면 재난안전 통합 분석 기술 개발
자율성장 재난확산 예측 M&S 기술	응용 개발	인프라 재난안전 모의 기술 개발	재난안전 모형 연합 OpenAPI 기술 개발	자율성장형 다측면 재난안전 통합분석 엔진 기술 개발
	기초 원천	이종·복합 재난안전 데이터 처리 표준 프로세스 기술 개발	시공간 디지털 트윈 재난안전 모형 생성 관리 기술 (4차원 DT 모형)	다차원 디지털 트윈 모형 생성 관리 기술
재난·안전 디지털 트윈 모형 생성 관리 기술	응용 개발	이종·복합 재난안전 복합정보 전처리 통합 기술 개발	고속 시공간 디지털 트윈 재난안전 모형 생성관리 플랫폼 기술 개발	복합차원 디지털 트윈 모형 생성관리 플랫폼 기술 개발

### 3.5.2 농축수산

○ 디지털 트윈 기반 지능형 팜 융합 서비스 미래상을 구현하기 위해서는  
아래와 같은 기술 개발 필요

- 팜 가상화/시각화 및 저작 기술
- 팜 환경 관리 시뮬레이션 기술
- 팜 생육 관리 시뮬레이션 기술
- 실-가상 팜 연동을 통한 운영 최적화 기술




구분		단기(~2023)	중기(~2026)	장기(~2030)
달성목표	서비스	디지털 트윈 기반 팜 환경 관리 서비스 	디지털 트윈 기반 무인 자동화 팜 관리 서비스 	디지털 트윈 기반 생육/환경 전주기 관리 서비스 
	제품	질병 방어를 위한 스마트 팜 플랫폼	디지털 트윈 기반 무인 자동화 팜 플랫폼	자율형 팜 운영 플랫폼
팜 가상화 /시각화 및 저작 기술	기초 원천	- 팜 구성요소 가상화 기술 - 팜 구성요소 매핑 기술	- 팜 가상화를 통한 데이터/ 제어 연동 기술 - 동적 형태변형 3D 객체 모델링 및 재현 기술	- 팜 자동 가상화 생성 및 표현 기술 - 고가독성 팜 시각화 표현 기술

	응용 개발	VR 기반 팜 저작 기술	VR 기반 팜 데이터 시각화 기술	VR 기반 팜 자율 동적 구성 기술
팜 환경 관리 시뮬레이션 기술	기초 원천	팜 환경 데이터 실시간 맵핑, 전처리 기술	- 조건별 팜 환경 및 에너지 균형 분석 기술 - 팜 환경 시뮬레이션 분석 기술	전주기 팜 환경 데이터 디지털 복제 자동화 기술
	응용 개발	딥러닝 기반 팜 환경 이상 상황 감지 기술	시뮬레이션 결과 분석에 따른 팜 환경 관리 자동화 기술 - 조건별 팜 환경 상황 예측 서비스	딥러닝 기반 팜 이상상황 감지 기술
팜 생육 관리 시뮬레이션 기술	기초 원천	팜 생육 데이터 실시간 맵핑, 전처리 기술	- 조건별 팜 생육 균형 분석 기술 - 팜 생육 시뮬레이션 분석 기술	- 전주기 생육 데이터 디지털 복제 자동화 기술 - 디지털 유전체 표현 기술
	응용 개발	딥러닝 기반 팜 생육 이상 상황 감지 기술	- 시뮬레이션 결과 분석에 따른 팜 생육 관리 자동화 기술 - 조건별 팜 생육 상황 예측 서비스	상황별 자율형 팜 생육 관리 기술
실-가상 팜 연동을 통한 운영 최적화 기술	기초 원천	팜 운영 관련 데이터 표출 기술	팜 실시간 연동에 따른 운영 오차 해석 기술	자율형 팜 실시간 데이터 연동 및 보정 기술
	응용 개발	팜 생육 데이터 실시간 맵핑, 전처리 기술	실시간 팜 운영 고도화 기술	- 자율형 팜 상황 인지 기술 - 자율형 팜 운영 고도화 기술

### 3.5.3 스마트시티

- 전시적·전지적·전능적 디지털 트윈도시 기반 지속 가능한 도시관리 융합 서비스 미래상을 실현하기 위해서는 아래와 같은 기술 개발 필요
  - 디지털 트윈도시 구축 및 갱신 기술
  - 디지털 트윈도시 데이터 전주기 관리 기술
  - 디지털 트윈도시 최적화 기술
  - 디지털 트윈도시 전시적 가시화 기술
  - 디지털 트윈도시 자율지능형 실행 기술

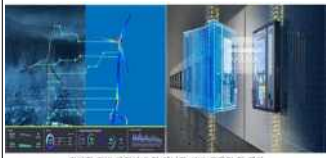


구분		단기(~2023)	중기(~2026)	장기(~2030)
달성목표	서비스	전시적 디지털 트윈도시 기반 도시운영 가상화 서비스	전지적 디지털 트윈 도시 기반 도시운영 지능화 서비스	전능적 디지털 트윈도시 기반 도시운영 자율화 서비스

				
	제품	전시적 디지털 트윈도시 기반 도시운영 가상화 서비스 플랫폼	전지적 디지털 트윈도시 기반 도시운영 지능화 서비스 플랫폼	전능적 디지털 트윈도시 기반 도시운영 자율화 서비스 플랫폼
디지털 트윈도시 구축 기술	기초 원천	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이미지·영상 기반 3D 도시공간 모형 구축 및 갱신 자동화 기술</li> <li>- 온디바이스·인엣지 영상인식 AI 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In-city 트윈 연계 고정밀 3D 도시공간 자동 구축 및 갱신 기술</li> <li>- 온디바이스·인엣지 영상인식 AI 고도화 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inter-city 트윈연계 초정밀 3D 도시공간 실시간 갱신 자동화 기술</li> <li>- 온디바이스·인엣지 멀티모달 AI 기술</li> </ul>
	응용 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geotagging 기술</li> <li>- 실시간 도시정보 수집을 위한 경량 지능형 CCTV 및 드론 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실내·외 고정밀 측위 기술</li> <li>- 포괄적 도시상황 인식을 위한 연합지능형 CCTV 및 드론 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실내·외 초정밀 측위 기술</li> <li>- 도시상황 자율대응 최적 제어가 가능한 자율지능형 CCTV 및 드론 기술</li> </ul>
디지털 트윈도시 데이터 전주기 관리 기술	기초 원천	-	-	-
	응용 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5G MEC/LPWA IoT 초연결 인프라 기반 데이터 전송 기술</li> <li>- 시공간 도시 데이터 표준화 및 통합 관리 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5G Network Slicing 기반 공간정보 차등 전송 기술</li> <li>- In-city 트윈간 데이터 연동 구조 표준화 및 통합 관리 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5G/6G 저지연 양방향 대용량 전송 기술</li> <li>- Inter-city 트윈간 데이터 연동 구조 표준화 및 통합 관리 기술</li> </ul>
디지털 트윈도시 최적화 기술	기초 원천	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 서비스 모의실험 물리모델 및 실험모델 알고리즘</li> <li>- 통합 시공간 데이터·그래프 기반 도시현상 학습 AI 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In-city 트윈연계 서비스 모의 실험 물리모델 및 실험모델 알고리즘</li> <li>- In-city 트윈연계 도시현상 진단 xAI 기술</li> <li>- 선제적 도시문제 대응을 위한 현안/위험도 예측 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inter-city 트윈연계 서비스 모의실험 물리모델 및 실험모델 알고리즘</li> <li>- Inter-city 트윈연계 다중 트윈 최적 제어 AI 기술</li> <li>- 자율지능형 사물·디바이스 강화 기술</li> </ul>
	응용 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 서비스 맞춤형 시공간 빅데이터 전처리 및 통계 분석 기술</li> <li>- AI 모델 및 시뮬레이션 모델 통합 관리 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In-city 트윈연계 서비스 맞춤형 시공간 빅데이터 통계분석 기술</li> <li>- In-city 트윈 간 AI 및 시뮬레이션 모델 통합 관리 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inter-city 트윈연계 서비스 맞춤형 시공간 빅데이터 통계분석 기술</li> <li>- Inter-city 트윈간 AI 및 시뮬레이션 모델 통합 관리 기술</li> </ul>
디지털 트윈도시 전시적 가시화 기술	기초 원천	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시현상 가상시점 2D/3D 복원 및 재현 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시현상 가상시점 2D/3D 복원 및 재현 고도화 기술</li> </ul>	-
	응용 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시공간 및 도시객체 실시간 관제 지원 기술</li> <li>- 객체 속성 기반 도시현상 질의 및 검색 기술</li> <li>- 3D 도시현상 재현 및 도시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In-city 트윈연계 도시객체 실시간 관제 지원 기술</li> <li>- In-city 트윈연계 속성기반 도시현상 질의·검색 기술</li> <li>- XR기반 도시현상 재현 및 도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inter-city 트윈연계 도시객체 실시간 관제 지원 기술</li> <li>- Inter-city 트윈연계 속성기반 도시현상 질의·검색 기술</li> <li>- XR기반 도시현상 재현 및</li> </ul>

		정보 가시화 기술	시정보 가시화 기술	가시화 고도화 기술
디지털 트윈도시	기초 원천	-	-	-
실행 기술	응용 개발	- 최적화 의사결정에 따른 액추에이터 원격 수동 제어 기술	- In-city 트윈연계 액추에이터 저지연 원격 반자동제어 기술	- Inter-city 트윈연계 자율형 사물 실시간 자율제어 기술

### 3.5.4 디지털 에너지

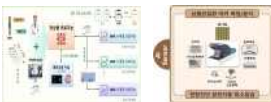


- 에너지 분야에서 생산자와 소비자 종단 간 에너지 수급 최적화를 이루기 위해서는 아래 기술들의 개발이 요구됨
  - 가상화 기반 자산 통합 운영 감시기술
  - 가상화 기반 자산 유지보수 기술
  - 고효율 에너지 수급 지원 기술
  - 에너지 컨슈머 및 전력 거래 지원 기술

구분		단기(~2023)	중기(~2026)	장기(~2030)
달성 목표	서비스	디지털 트윈 기반 에너지 설비 운영 서비스  <small>가상화 기반 발전설비 및 에너지 설비 운영 및 제어</small>	디지털 트윈 기반 에너지 수급 상태 분석 서비스  <small>에너지 수급 모니터링 및 분석 서비스</small>	디지털 트윈 기반 에너지 수급 최적 제어 서비스  <small>에너지 수급 최적화 서비스</small>
	제품	가상화 기반 에너지 자산 운영 감시 시스템	디지털 트윈 기반 에너지 수급 상태 분석 시스템	디지털 트윈 기반 에너지 수급 최적 제어 플랫폼
전력자산통합운영감시기술	기초 원천	전력 자산의 기능 및 데이터 모델링 기술	운전 데이터 기반 장애·고장·위험 진단 기술	에너지 수급 상황 연계설비 자동 제어 기술
	응용 개발	자산의 운전 상태·장애·고장 발생의 연속 감시기술	- 자산의 장애·고장 발생 감지 및 위치 예지 기술 - 자산에 대한 위험·위험 발생 예지 기술	자산의 장애·고장 발생 방지 및 회피를 위한 제어 기술
전력자산유지보수기술	기초 원천	전력 자산의 기능 및 데이터 모델링 기술	자산의 운전 데이터 기반 수명 예측 기술	다양한 수급 상황에 따른 자산의 내구성 시뮬레이션
	응용 개발	전력 자산의 운전 성능 변화 모니터링 및 임계값 기준 수명 판단 기술	수명 예측을 통한 유지보수 계획 작성 기술	최적 에너지 수급을 위한 자산의 성능 업그레이드 및 교체 시기 진단 기술
고효율에너지수급지원기술	기초 원천	전력 자산의 기능 및 데이터 모델링 기술	다양한 에너지 소비원의 혼재를 가상한 소비 패턴 시뮬레이션 기술	에너지 수급 상황에 따른 에너지 소비 패턴 시뮬레이션
	응용	가정, 건물, 공장 등의 다양	다양한 모델의 에너지 소비	- 최적 에너지 소비 패턴 도

	개발	한 에너지 소비 모델의 패턴 데이터 수집 및 모니터링	효율 분석 기술	출 및 그에 따른 자산 제어 - 에너지 이용 효율 극대화를 위한 주거, 빌딩, 생산 설비 모델 설계 - 에너지 자급형 소비모델 설계
에너지 컨슈머/ 전력거래 지원기술	기초 원천	컨슈머 전력 자산 기능 및 데이터 모델링 기술	컨슈머 에너지 생산 및 비량 예측 기술	전력 수급 및 요금제에 따른 최적 거래 시뮬레이션
	응용 개발	컨슈머 전력 생산/소비 상태 정보 수집 및 모니터링	컨슈머 전력 거래량 및 거래 가격 도출	최적 거래 시나리오에 따른 컨슈머 전력 생산 및 소비 자산 제어

### 3.5.5 의료

- 디지털 트윈 기반 생애주기 건강관리가 가능한 지능화 융합 의료 서비스  
미래상을 구현하기 위해서는 아래와 같은 기술 개발 필요
- 고감도 생체신호 센싱 기술
- 개인 건강 데이터 기반 질병 진단/치료/예후 예측 기술
- 재활 트레이닝 기술
- 의료 재난상황 시뮬레이션 기술

구분	단기(~2023)	중기(~2026)	장기(~2030)	
달성목표	서비스 	디지털 트윈 기반 질병 예후 관리 서비스 	디지털 트윈 기반 AI 홈 주치의 서비스 	
	제품	의료정보를 활용한 디지털 트윈 기반 질병 진단-예측 플랫폼	의료·생체정보를 활용한 디지털 트윈 기반 질병 예후 관리 플랫폼	디지털 트윈 기반 AI 홈 주치의 플랫폼
고감도 생체신호 센싱 기술	기초 원천	심혈관질환 마커, 호기가스 등 단일 생체정보 센싱 기술	다중 바이오마커 고감도 센싱 기술	
	응용 개발	심혈관질환 마커, 호기가스 생체정보 측정 디바이스 기술	다중 바이오마커 고감도 연속측정 디바이스 기술	고감도 다중 바이오마커 복합 센서 분석 기반 디지털 청진 기술
개인 건강 데이터 기반 질병 진단/치료/ 예후 예측 기술	기초 원천	의료정보 기반 환자 미래상태 예측 기술	의료·생체정보 기반 질병 예후 예측 기술	
	응용 개발	환자 미래상태 기반 질병 진단 기술	질병 예후 기반 재발 위험도 예측 기술	의료·생체정보 기반 최적 치료경로 예측 기술
		환자 미래상태 기반 질병 진단 기술	질병 예후 기반 재발 위험도 예측 기술	치료 시뮬레이션에 따른 재발 위험도 예측 기술



재활 트레이닝 기술	기초 원천	의료정보에 기반한 정적 재활운동 프로그램 예측 기술	의료·생체정보 기반 동적 재활운동 프로그램 예측 기술	환자 피드백을 반영한 동적 재활운동 프로그램 예측 기술
	응용 개발	운동량 및 운동 효과 정량화 모델링 기술	동적 재활운동 프로그램 시뮬레이션 기술	환자 피드백을 반영한 동적 재활운동 프로그램 시뮬레이션 기술
의료재난 상황 시뮬레이션 기술	기초 원천	감염병 및 병원 의료자원정보 모델링 기술	감염병 확산 및 병원 의료자원 소요예측 시뮬레이션 기술	의료재난 상황 시뮬레이션에 따른 의료자원 협업 운용 최적화 기술
	응용 개발	병원 간 감염병 및 의료자원정보 모니터링 기술	감염병 환자 치료주기 예측 기술	병원 간 감염병 및 의료자원 실시간 공유 기술

### 3.5.6 제조


- 디지털 트윈 기반 지능형 자율공장서비스 미래상을 구현하기 위해서는 아래와 같은 기술개발 필요
  - 디지털 트윈 제조 자원 모델링 기술
  - 공급망 구성을 위한 동적 플래닝 및 스케줄링 기술
  - 제조 데이터 분석 및 예측 기술
  - 생산공장의 최적 운영을 위한 제조 시뮬레이션 기술

구분		단기(~2023)	중기(~2026)	장기(~2030)
달성목표	서비스	대규모 CPPS 최적 운영을 위한 디지털 트윈 서비스 	고신뢰·고정밀 보장 디지털 제조 트윈 서비스 	지능형 디지털 트윈 기반 자율 제조 서비스 
	제품	대규모 CPPS 최적 운영 디지털 트윈 관리 플랫폼	고신뢰·고정밀 지원 디지털 제조 트윈 플랫폼	지능형 디지털 트윈 기반 자율제조 플랫폼
디지털 트윈 제조 자원 모델링 기술	기초 원천	물리적 자산의 디지털 객체 구성을 위한 AI기반 제조 자원 모델링 기술	고신뢰 제품 최적화(구조, 평가, 분석 등)를 위한 자동 설계/추천 기술	생산 자동연계 디지털 하이브리드(제품, 설계, 공정 등) 모델링 기술
	응용 개발	대규모 CPPS연계 제조모델 응용 연계 인터페이스 및 API 개발	디지털 객체 AI 자동생성 응용 저작 도구 개발	실세계-가상환경 연계 최적 제품 자동 설계 응용 서비스 개발
공급망 구성을 위한 동적 플래닝 및	기초 원천	공장간 공급망 최적화 구성을 위한 대규모 동적 플래닝 및 스케줄링 기술	실시간 시뮬레이션 연계 동적플래닝, 스케줄링 및 동기화 기술	상황기반 동적 리플래닝 및 리스케줄링 자가 실행 기술
	응용 개발	제조 목적 및 특성에 따른 공장 간 공급망 구성 디지털	지식 공유 및 협업이 가능한 동적 플래닝 및 스케줄	가상 시운전 (Virtual Commissioning) 기반 의사결정 지원 응용

스케줄링 기술		제조 트윈 응용 서비스 개발	링 응용 API 개발	서비스 개발
제조 데이터 분석 및 예측 기술	기초 원천	대규모 제조 자원의 상황 대응(설비예지 진단, 공정 예측 등)을 위한 데이터 분석 및 예측 기술	실세계-가상환경 오차 최소화를 위한 AI 기반 제조 자원 데이터 학습 및 분석 기술	실시간 제조 자원의 자율 작업 구성을 위한 데이터 분석 및 예측 기술
	응용 개발	제조특성에 특화된 예측 모델 생성 및 연계 분석·응용 서비스 개발	현장 적응형 제조 자원 AI 분석 및 예측 도구 개발	실세계-가상환경 기반 설비·공정 자가 진단(신뢰성, 노후화, 이상상태 등) 및 유지보수 기술
최적 운영을 위한 제조 시뮬레이션 기술	기초 원천	대규모 CPPS 가상화를 위한 시뮬레이션 기술	고신뢰·고정밀 가상화를 위한 분산 시뮬레이션 기술	최적의 자율제조를 위한 실세계-가상환경 통합 시뮬레이션 기술
	응용 개발	대규모 CPPS 시뮬레이션 운용연계 API 서비스 개발	가상환경 고정밀 재현을 위한 시뮬레이션 연계 공정 최적화 서비스 개발	자율 운영을 위한 가상화 시뮬레이션 지원 도구 개발

### 3.5.7 사이버보안

- 디지털 트윈 기반 전주기 사이버보안 융합 서비스 미래상을 구현하기 위해서는 아래와 같은 기술 개발 필요
  - 침입 탐지/대응 기술
  - 사이버 공격 시뮬레이션 기술

구분		단기(~2023)	중기(~2026)	장기(~2030)
달성목표	서비스	가상환경 기반 사이버 공격 시뮬레이션 서비스 	디지털 트윈 기반 보안관제 서비스 	디지털 트윈 기반 인공지능 화이트 해커 
	제품	AI 기반 사이버 공격 시뮬레이션 서비스 플랫폼	디지털 트윈 기반 보안관제 플랫폼	사이버 공격 자율대응 사이버 자가방어 플랫폼
침입 탐지/대응 기술	기초 원천	디지털 트윈 기반 이상행위 탐지 학습 기술	디지털 트윈 기반 사이버 공격 탐지 고도화 기술	디지털 트윈 기반 보안 취약점 자동 탐지/대응 기술
	응용 개발	ICT 인프라 복제 및 네트워크 행위 재생 기술 개발	디지털 트윈 기반 신/변종 사이버 공격 탐지 기술 개발	자율대응 사이버 Patrol
사이버 공격 시뮬레이션	기초 원천	AI 기반 사이버 공격 시나리오 생성 기술	디지털 트윈 기반 사이버 공격 시뮬레이션 기술	디지털 트윈 기반 사이버 공격 예측/대응 기술
	응용 개발	가상환경 자동 생성 기술 개발	AI 기반 보안관제 플랫폼 기술 개발	디지털 트윈 기반 AI 화이트 해커 개발

#### 4. 디지털 트윈 기술 발전 방향

- 디지털 트윈 기술은 빅데이터, 인공지능, IoT, 보안 등 첨단 ICT 기술이 융합하여 현실세계 문제점을 해결하고 최적화하기 위한 지능화 융합 기술임
- 국내 디지털 트윈 기술은 국외 기술 대비 응용 서비스 분야별로 약 0.5 - 1 단계 기술 성숙도 격차가 있음
- **(3단계 기술 성숙도)** 디지털 트윈을 구성하기 위한 세계적인 수준의 ICT 기술을 보유하고 있으나, 해당 기술들은 상호 융합하고 연합하는 동적 디지털 트윈 기술 개발 필요
- **(4단계 기술 성숙도)** 다양한 문제가 상호 연결되어 발생하는 현실세계 문제를 해결하기 위해 다중 복합 응용 서비스 도메인 간 연계, 동기화 및 연합 가능한 상호작용 디지털 트윈 기술 개발 필요
- **(5단계 기술 성숙도)** 복잡한 현실세계 문제를 해결하고 최적화하기 위해 상호작용 디지털 트윈 모형들이 자율적으로 연계되고 통합되는 자율 디지털 트윈 기술 개발 필요
- 디지털 트윈 기술을 확산하고 관련 산업 활성화를 위해 손쉬운 저작도구, 개방적인 기술 개발 환경 등을 포함하는 개방형 자율 디지털 트윈 생태계 조성 필요
- 지능화 융합 연구소는 다양한 연구과제를 통해 보유하고 있는 기술 역량을 기반으로 동적 디지털 트윈 기술 개발함으로써 국외 기술격차를 줄이는 디지털 트윈 기술 추격자 역할 수행
- 또한, 상호작용 디지털 트윈 기술과 자율 디지털 트윈 기술 개발을 통하여 기술 선도자로 전환할 수 있는 게임 체인저 역할 수행

## [ 약 어 ]

- AMI : Advanced Metering Infrastructure
- AI : Artificial Intelligence
- BIM : Building Information Modeling
- CPPS : Cyber Physical Product System
- ECO-Grid : Ess Capacity Optimization for Grid Reliability/flexibility Improvement and economic Deployment
- GIS : Geographic Information System
- LPWA : Low Power Wide Area
- MEC : Mobile Edge Computing
- M&S : Modeling & Simulation
- SOP : Standard Operating Procedures
- WAsP : Wind Atlas Analysis and Application Program
- xAI : explainable Artificial Intelligence
- XR : eXtended Reality

본 문서에서 음영처리된 부분( )은 정보공개법 제 9조의 비공개대상정보와 저작권법 및 그 밖의 다른 법령에서 보호하고 있는 제3차의 권리가 포함된 저작물로 공개대상에서 제외되었습니다.

# 지능화융합연구소

**ETRI** 한국전자통신연구원  
Electronics and Telecommunications  
Research Institute

ISBN:978-89-5519-288-9

