



제조 혁신 '디지털 트윈' 비즈니스 활용 백서

December 2025



Contents

1.	디지털 트윈 이해	4
2.	디지털 트윈 현황 및 전망	12
3.	디지털 트윈 생태계: 수요 측면	17
4.	디지털 트윈 생태계: 공급 측면	53
5.	시사점 및 제언	62



들어가며

“고장이 나기 전에 고친다.”

이제는 공상과학 영화의 대사가 아니라, 현실 제조업의 전략이다. 그 중심에는 바로 디지털 트윈 (Digital Twin) 기술이 있다.

디지털 트윈은 현실의 사물이나 시스템을 가상 공간에 정밀하게 복제해, 다양한 상황을 사전에 시뮬레이션하고 문제를 예측하며 최적의 해법을 도출하는 기술이다. 단순한 3D 모델링을 넘어, 센서를 통해 수집된 실시간 데이터가 디지털 복제본에 반영되어 현실과 동일한 상태를 유지하는 이 기술은 제조업의 사고방식을 근본적으로 바꾸고 있다.

예를 들어, GE는 항공기 엔진에 200개 이상의 센서를 설치해 디지털 트윈을 구축하고, 예측 유지보수를 통해 불필요한 정비를 줄이는 동시에 안전성을 높였다. BMW는 생산라인 전체를 디지털로 복제해 시뮬레이션을 거친 후 실제 공정에 적용, 불량률을 현저히 줄이고 생산성을 높였다. 한국 내 화학 공장은 디지털 트윈 도입 후 장비 고장으로 인한 생산 중단이 80% 감소하는 성과를 거두기도 했다

이처럼 디지털 트윈은 자동차, 화학, 바이오·헬스케어, 에너지, 항공·우주, 건설, 도시관리 등 산업 전반에서 폭넓게 활용되고 있으며, AI·IoT·클라우드 기술의 발전으로 구현이 더욱 용이해졌다. 특히 글로벌 공급망의 불확실성과 제조업 보호 정책 강화는 디지털 트윈 기반의 생산 방식을 선택이 아닌 필수로 만들고 있다.

한국은 디지털 트윈의 도입이 특히 절실한 국가다. 제조업 중심의 경제 구조를 가진 한국은 자본 축적의 정체와 생산가능인구 감소라는 구조적 과제에 직면해 있기 때문이다. 잠재성장률을 높이기 위해서는 생산성 향상이 필수이며, 이를 실현할 수 있는 가장 강력한 해법이 바로 디지털 트윈인 것이다. 스마트 공장화로 구현되는 디지털 트윈은 생산 공정의 최적화 뿐 아니라, 제품 생애주기 관리, 에너지 효율 향상, 탄소 배출 관리까지 가능하게 하여 지속가능한 제조 환경을 구축할 수 있다.

더불어, 글로벌 무역 질서의 변화도 디지털 트윈의 필요성을 더욱 부각시키고 있는 요인이다. 미국은 관세 정책을 통해 제조업 공급망을 자국 중심으로 재편하고 있으며, 저임금 국가들은 탄소 규제와 고관세로 인해 경쟁력을 잃고 있다. 이제 단순한 비용 절감 전략은 통하지 않는 시대다. 따라서 디지털 트윈은 한국 제조업이 글로벌 경쟁력을 유지하고, 지속가능한 성장을 달성할 수 있는 전략적 해법으로 부상하고 있다.

이러한 변화는 기업과 산업계에 새로운 대응 전략을 요구한다. 디지털 트윈을 효과적으로 활용하는 기업만이 생산성과 지속가능성을 동시에 달성하며, 글로벌 경쟁에서 우위를 점할 가능성이 높기 때문이다.

본 보고서는 이러한 배경을 바탕으로 디지털 트윈의 개념과 구현 방식, 산업별 활용 현황과 기술적 과제를 종합적으로 분석하고, 특히 제조업에서의 전략적 활용과 향후 발전 방향을 심층적으로 제시하고자 한다.

Executive Summary 1

디지털 트윈이란 무엇인가?

디지털 트윈(Digital Twin)은 현실의 물리적 객체(예, 기계)를 가상 공간에 쌍둥이처럼 동일하게 재현한 디지털 기술입니다.

이 기술은 실제 환경에서의 동작이나 상태를 모방하며, 다양한 시뮬레이션을 통해 문제를 사전 예측하고 해결 방안을 모색할 수 있습니다.



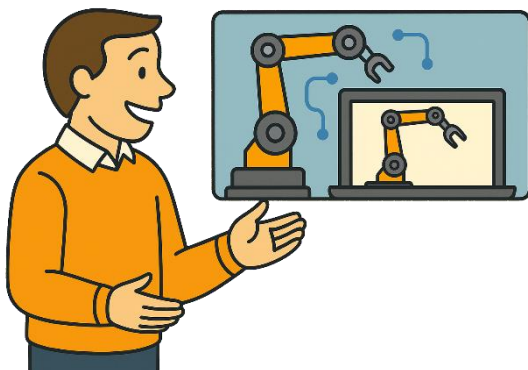
디지털 트윈이 각광받는 이유는?

디지털 트윈이 주목받는 이유는, 실제 환경을 가상으로 시뮬레이션해 오류를 미리 예측하고 운영을 최적화할 수 있어 생산성과 비용 효율을 크게 높일 수 있기 때문입니다. 여기에 AI와 IoT 같은 기술이 빠르게 발전하면서 디지털 트윈의 구현이 훨씬 쉬워졌고, 미국 등 주요국의 제조업 보호 정책과 공급망 불확실성 증가로 첨단 기술을 활용한 효율적인 생산 방식이 더욱 중요해지면서 디지털 트윈의 활용이 확대되고 있습니다.



어느 산업에 활발히 활용되고 있나?

디지털 트윈은 자동차, 화학 등 제조업을 비롯해 바이오·헬스케어, 에너지, 항공·우주, 건설, 도시관리 등 다양한 산업 분야에 폭넓게 적용되고 있으며, 운영 효율성 향상은 물론, 실시간 모니터링, 고장 예측, 자원 최적화, 제품 개발 속도 개선 등 여러 측면에서 혁신을 이끌고 있습니다.



디지털 트윈의 미래는?

디지털 트윈 기술은 점차 고도화되어, 지금보다 다양한 산업에서 활용이 확대될 전망입니다. 특히 사람의 개입 없이 디지털 트윈이 데이터를 스스로 분석하고 예측하며 판단하는 자율형 시스템으로 발전하고 있으며, AI와 로봇이 협력해 실시간으로 문제를 해결하는 방식이 점차 현실화되고 있습니다.

다만, 판단의 신뢰성, 보안 및 책임 문제 등은 해결해야 할 과제로 남아 있습니다.



* 삼일PwC 경영연구원이 AI를 활용해 작성함

Executive Summary 2

디지털 트윈 기술 수준

디지털 트윈의 궁극적 목표인 '자율형 디지털 트윈'을 실현하기 위해서는 초연결, 초지능, 초성능 등 핵심 요소 기술의 고도화가 필수적인데 한국은 미국 대비 요소 기술 수준은 낮으며(미국 대비 약 91% 수준), 그중에서도 AI, 빅데이터, 고성능 컴퓨팅 시스템에서의 격차가 큰 상황이다.

특히 공급자 측면에서 보면, ① 기술 플랫폼 ② 센서 및 IoT 기술 ③ 소프트웨어 ④ 데이터 분석 업체의 경우는 글로벌 빅테크 업체들이 우위를 점유하고 있고, 그나마 ⑤ 특화 솔루션 제공 및 컨설팅 영역에서는 국내 스타트업체들이 선전을 하고 있는 것으로 보인다.

따라서 한국 기업들은 요소 기술의 도입 이외에 AI 알고리즘 개발, 데이터 인프라 구축, HPC(고성능 컴퓨팅) 역량 확보, 전문 인력 양성 등 전방위적 역량 강화 전략을 추진하는 해야 할 것이다.

결국 디지털 트윈 기술은 핵심 요소 기술뿐 아니라, 산업별·기업별 실제 활용에 필요한 응용 기술을 포함한 전방위적 생태계의 기술 수준이 중요하다. 이에 따라 글로벌 기술 경쟁에서 뒤처지지 않기 위해 정부와 산업·기업이 고려해야 할 제언은 다음과 같다.

정부 및 산업/기업에 대한 제언

구분	정부	산업/기업
1	<u>표준화 체계가 확립</u> 돼야 디지털 트윈이 확산된다	원샷이 아닌 기업별 목표에 따른 ' <u>단계적 접근</u> '이 필요하다
2	<u>공공 프로젝트가 선행</u> 돼야 민간으로 확산될 수 있다	<u>디지털 스레드</u> 구축으로 데이터 기반 신뢰성을 확보해야 한다
3	<u>공용 인프라 지원</u> 으로 디지털 트윈 도입 장벽을 낮춰야 한다	디지털 트윈 구축에서 <u>보안</u> 은 선택이 아닌 필수다
4	<u>개인정보와 산업 데이터 보호</u> 가 우선되어야 한다	<u>디지털 트윈 성공 사례</u> 를 비즈니스 혁신의 성장 엔진으로 전환한다
5	<u>재정·세제 인센티브</u> 라는 당근이 필요하다	디지털 트윈 내재화위해 <u>전담 조직</u> 구축이 필요하다

01

디지털 트윈 이해



현실과 같은 공간 (도시, 공장 등 3차원 환경) 재현



디지털 트윈이란?

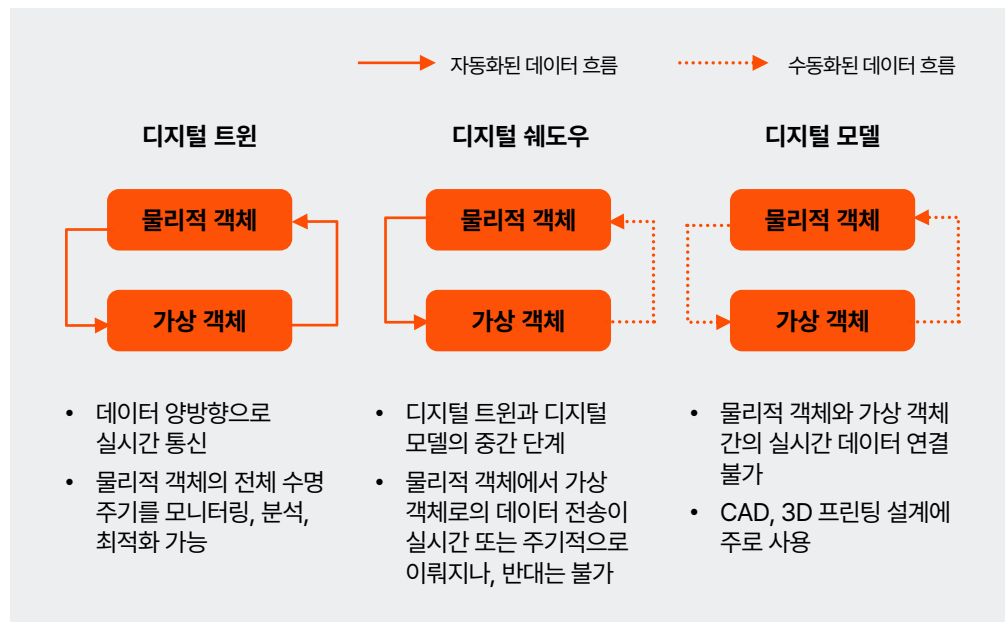
디지털 트윈에 대한 학계 및 산업계의 공식적으로 합의된 정의는 아직 정립되지 않았지만, 다양한 정의에서 공통적으로 나타나는 **핵심 개념은 3가지로, ① 물리적 객체, ② 가상, ③ 양방향 데이터 공유**다. 이 3가지 요소는 디지털 트윈의 본질을 구성하며, 현실 세계의 물리적 객체와 그에 대응하는 가상 모델 간의 실시간 상호작용을 가능하게 하는 기반이 된다.

디지털 트윈 주요 정의

출처	정의
Grieves	가상 트윈, 물리적 대응물, 물리적 개체와 가상 개체 간의 데이터 흐름 주기
NASA	실제 제작된 물체나 시스템을 다중 물리, 다중 스케일의 확률적 시뮬레이션을 구현한 것으로, 여기에는 최상의 물리적 모형, 센서 업데이트, 운용 이력 데이터 등을 활용하여 실제 운용 중인 물리적 트윈의 전체 수명 주기를 그대로 관리
Brenner	실제 공장, 기계, 작업자 등을 디지털 가상으로 복제한 것으로, 독립적으로 확장 가능한 동시에 자동적으로 (데이터가) 업데이트되어 실시간으로 전세계적으로 이용할 수 있는 형태로 구축
Liu	실제 자산이나 시스템의 생동하는 (가상) 모델로, 수집된 온라인 데이터와 정보를 바탕으로 운영 변화에 지속적으로 적응하며, 해당 물리적 대응물의 미래를 예측
Nikolakis	센서가 전송한 데이터를 가지고 현실 세계의 객체, 주체, 프로세스가 디지털로 다채롭게 표현

디지털 트윈의 핵심은 물리적 객체와 가상 객체 간의 자동화된 양방향 데이터 흐름에 있다. 그러나 실제 사용 현장에서는 디지털 트윈 개념이 디지털 쉐도우(Digital Shadow), 디지털 모델(Digital Model)과 혼용되어 사용되는 경우가 많다. 이들 개념은 데이터 흐름 방식에서 아래와 같은 차이를 보인다.

디지털 트윈의 혼용 개념



디지털 트윈의 등장 배경

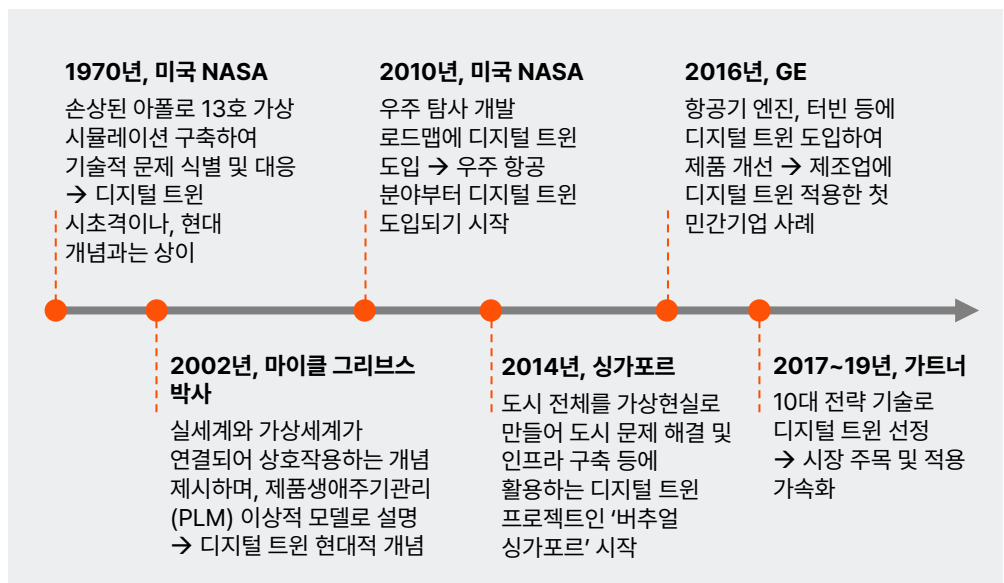
‘디지털 트윈’에 대한 아이디어는 1970년 NASA(미국항공우주국)에서 출발했으나, 1990년대 부터 그 개념이 구체화되기 시작했다.

- 1970년 우주에서 임무를 수행 중이던 아폴로 13호가 산소 탱크 폭발로 엔진이 손상되었고, NASA는 우주선 내부 상황을 지상에 복제해 문제를 진단하고 대응함으로써 귀환에 성공함. 이 방식은 ‘실시간 모델(living model)’이라 불리며, 오늘날 디지털 트윈의 시초로 평가됨.
- 이후, 데이비드 지런터 교수는 가상 세계와 현실 세계를 밀접하게 연결시키는 미러 월드(Mirror World)* 개념을 제시함. 해당 개념을 응용해, 2002년 마이클 그리브스 교수는 현실에 물리적으로 존재하는 사물의 쌍둥이를 디지털화해 가상으로 만드는 개념을 제시했으며, 이를 제품생애주기관리(PLM)의 이상적인 모델로 설명함.
- NASA의 존 비커스 박사가 마이클 그리브스 교수의 개념을 ‘디지털 트윈(Digital Twin)’이라 명명하면서, 디지털 트윈이라는 용어가 본격적으로 사용되기 시작함.
- 마이클 그리브스 교수의 디지털 트윈 모델은 ① Real space (현실 공간), ② Virtual space (가상 공간), ③ 현실과 가상공간 사이의 데이터 흐름 메커니즘 등 3가지 핵심 구성 요소로 구체화됨.

하지만, 초기 디지털 트윈 모델은 요소 기술 한계로 실현이 어려웠지만, 2000년대 후반, 기술 발전으로 산업 현장에 적용 및 확대가 가속화됐다.

- 초기에는 컴퓨팅 성능, 인터넷 연결, 머신러닝 기술 부족 등으로 디지털 트윈 구현이 어려웠음.
- 하지만 2000년대 후반, IoT, 센서, 3D, AR, AI, 5G 등 요소 기술이 발전하면서 산업 현장에 본격 도입되기 시작함. 특히 가장 먼저 적용된 분야는 우주 산업으로, 2010년 NASA는 우주선 설계와 유지보수에 디지털 트윈을 활용함.
- 이후, 국가와 기업들도 빠르게 도입해 나감. 2014년, 싱가포르르는 도시 문제 해결을 위해 ‘버추얼 싱가포르’ 프로젝트를 추진했고, 2016년, GE는 클라우드 기반 플랫폼 ‘프레딕스(Predix)’를 개발해 항공기 엔진 정비에 적용하며, 제조업 전반으로 확산됨.

디지털 트윈의 발전사



* 미러 월드 개념은 이후 메타버스로 확장

그럼 '왜' 디지털 트윈인가?

사례로 보는 디지털 트윈의 힘

한 자동차 제조사는 신차 출시 전, 실제 차량을 가상으로 복제한 디지털 트윈을 먼저 구축했다. 이를 통해 엔진의 열 분포, 충돌 시 안전성, 연비 등 모든 가능성 있는 시나리오를 가상 환경에서 시뮬레이션 할 수 있었고, 그 결과 실제 차량은 출시 직후부터 품질 문제 없이 시장에서 긍정적인 평가를 받았다.

반면, 기존처럼 물리적 프로토타입을 반복 제작해 테스트했다면, 모든 시나리오를 충분히 검증하지 못했을 뿐 아니라, 막대한 시간과 비용이 소요됐을 것이다. 더 나아가, 출시 후 예상치 못한 품질 문제가 발생할 경우, 리콜 비용 증가와 브랜드 신뢰도 하락이라는 위험을 초래했을 가능성이 크다.

디지털 트윈이 각광 받는 이유

산업과 도시 인프라가 고도화되며 운영의 복잡성이 증가하는 가운데, 디지털 트윈은 제한된 시간과 비용 내에서 실시간 대응과 정밀한 예측을 가능하게 하는 핵심 기술로 자리 잡고 있다. 특히 AI, IoT, 센서, 5G 등 첨단 기술의 발전은 디지털 트윈의 정밀도와 처리 속도, 예측 능력을 크게 향상시켰으며, 이에 따라 제품 개발, 유지보수, 에너지 효율, 고객 맞춤 서비스 등 다양한 분야에서 그 활용이 빠르게 확산되고 있다.

디지털 트윈이 각광받는 이유

디지털 트윈 활용 영역	기대효과
실시간 모니터링	이상 징후 조기 발견, 운영 안정성 향상
예측 정비	다운타임 감소, 유지보수 비용 절감
운영 최적화	생산성 향상, 자원 효율화
위험 관리 및 안전성 강화	사고 예방, 리스크 최소화
제품 개발 속도 향상	개발 기간 단축, 품질 향상
에너지 효율 개선	탄소 배출 감소, 비용 절감
시스템 통합 관리	운영 간소화, 협업 효율 증대
데이터 기반 의사결정 지원	전략적 판단력 강화
시나리오 테스트 및 대응	운영 대응 속도 향상

디지털 트윈 확산의 핵심 기술

3D 모델링, AR/VR	AI (인공지능)	IoT (사물인터넷)	센서 기술	5G	클라우드 컴퓨팅
현실의 물리적 객체와 똑같은 가상 객체 복제본 구현 및 시각화	데이터 분석과 예측 모델 생성으로 운영 효율과 정밀도 향상	물리적 객체의 상태를 실시간으로 수집	온도, 압력, 진동 등 다양한 물리적 객체를 실시간으로 측정	대용량 데이터를 빠르고 안정적으로 전송	대규모 데이터 저장 및 분석 인프라 제공

디지털 트윈의 특성은?

디지털 트윈은 높은 충실도, 동적 변화, 자기진화, 다중 스케일 및 다중 물리, 다학제 등 고유한 기술적 특성을 바탕으로 작동된다. 이러한 복합적 특성 덕분에 디지털 트윈은 제품의 기획, 설계, 생산, 운영, 유지보수, 폐기에 이르는 전 생애주기별 관리(Life cycle Management)를 가능하게 해준다.

디지털 트윈의 주요 특성

<p>높은 충실도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 가상 객체(디지털 트윈)는 물리적 객체의 외관, 내용물, 기능 등을 정확하게 복제해야 하며, 높은 정확도를 유지해야 함
<p>동적 변화</p>	<ul style="list-style-type: none"> 시간이 지남에 따라 동적 변화를 겪는 물리적 객체(예, 자동차 브레이크 마모 등)에 따라 가상 객체도 동일하게 생애주기별로 변화해야 함 가상 객체로의 동적 변화 반영은 물리적 객체와의 원활한 통신 연결 등을 통한 실시간 데이터 교환에 달려 있음
<p>자기 진화</p>	<ul style="list-style-type: none"> 가상 객체는 물리적 객체와 함께 생애주기 동안 진화되어야 함. 물리적 또는 가상 객체 중 어느 하나에 변화가 발생하면, 그 변화는 상대 객체에 반영되어 페루프 제어를 형성 가상 객체는 물리적 객체가 실시간으로 수집한 데이터를 통해 스스로 적응하고 최적화되며, 물리적 객체와 함께 생애주기 동안 성숙해짐
<p>다중 스케일 및 다중 물리</p>	<ul style="list-style-type: none"> 가상 객체는 여러 스케일, 범위, 수준에서 물리적 객체의 특성을 통합해야 함. 즉, 가상 객체는 물리적 객체의 형태, 크기, 허용 오차 등의 거시적 측면 뿐 아니라, 표면 거칠기 등의 미시적 측면까지 복제가 필요 더불어, 물리적 객체의 구조 역학, 열역학, 피로 손상, 피로 강도 등 다중 물리 측면도 가상 객체에 반영
<p>다학제</p>	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈을 구현하려면 기계공학, 컴퓨터 과학, 데이터 과학, 물리학 등 다양한 학문을 통합해 정확한 구축과 운영이 보장되어야 함

디지털 트윈의 이점은?

디지털 트윈은 비용 절감, 문제 예측, 운영 최적화, 안전성 향상 등 다양한 이점을 바탕으로, 제조업, 에너지, 건설, 방위, 헬스케어, 물류, 농업 등 전통 산업 전반에 걸쳐 활용이 확대되고 있다. 뿐만 아니라, 기술적 강점을 바탕으로 스마트 시티와 같은 복합 시스템에도 적용되어, 도시 운영의 효율성과 지속가능성 제고를 위한 핵심 기술로 자리잡고 있다.

디지털 트윈의 주요 이점

<p>비용 효과</p> <p>디지털 트윈 초기 구축 비용은 많이 들지만, 시간이 지남에 따라 비용 감소. 또한, 디지털 트윈은 추가 비용 없이 다양한 테스트와 시뮬레이션 가능</p>	<p>문제 예측</p> <p>물리적 객체와 가상 객체 간의 실시간 데이터 흐름 덕분에 제품 생애주기별 문제 및 오류 예측이 가능</p>
<p>유지보수 및 최적화</p> <p>디지털 트윈은 가상 객체를 통해 물리적 객체(기계, 제품, 시스템)의 결함과 손상 예측이 가능해 적시의 유지보수로 최적화 유지</p>	<p>접근성</p> <p>디지털 트윈을 활용해 원격으로 물리적 객체 제어 및 모니터링 가능. 가상 객체는 클라우드 등을 통해 어디서든 접근이 가능해 지리적 제약 없음</p>
<p>속도 및 용이성</p> <p>가상 객체에서 여러 시나리오 시뮬레이션이 가능하기 때문에, 프로토타이핑 또는 디자인 재설계 과정이 빠르고 용이</p>	<p>안전성</p> <p>작업 환경이 위험한 산업군 (예, 광업, 석유/가스 시추)에 디지털 트윈 적용시, 가상 객체로 물리적 객체 접근이 가능해 사고 및 위험 리스크 완화</p>
<p>폐기물 감소</p> <p>디지털 트윈을 통해 제품 또는 시스템 프로토타입을 가상 환경에서 시뮬레이션하고 테스트할 경우, 물리적으로 할 때보다 폐기물 사용 크게 감소</p>	<p>데이터 관리 및 동기화</p> <p>디지털 트윈 생성을 위해서는 흩어져 있는 데이터 동기화가 필수. 더불어, 데이터를 한 곳에 액세스하고 유지 관리하는 과정이 단순화</p>

디지털 트윈의 작동 구조 및 상호 작용 방식은?

작동 구조

디지털 트윈은 현실의 사물(물리적 객체)을 디지털로 똑같이 재현(가상 객체)하여, 실시간으로 정보를 주고 받으며 서로가 상호작용하게 한다.

- 디지털 트윈은 현실 세계에 존재하는 물리적 객체(사물, 시스템, 환경, 인체 등)를 소프트웨어 시스템상의 가상 객체(가상 객체)로 복제 → 물리적 객체의 동적 운동 특성 및 결과 변화를 소프트웨어 시스템에서 시뮬레이션 → 시뮬레이션 결과에 따른 최적 상태를 물리적 객체에 적용 → 적용에 따른 물리적 객체의 변화가 다시 가상 객체로 전달되도록 하여 끊임없는 순환 적응 및 최적화 체계 구현
- 디지털 트윈의 작동 구조는 **물리적 객체와 가상 객체** 간의 **실시간 연동**이 핵심이며, 상세 흐름은 아래와 같음 (다음 페이지 Fig 1. 참고)

물리적 객체에 센서, IoT 등을 부착하여 실시간으로 ① 데이터 수집 → ② 데이터 저장 → ③ 데이터 가상 객체로 전송 → 가상 객체 상에서 ④ 전송 받은 데이터 분석 및 평가 → ⑤ 파라미터 처리 → ⑥ 변경 원하는 방식으로 시뮬레이션 → ⑦ 시뮬레이션 평가 → ⑧ 시뮬레이션 결과 저장 → 물리적 객체로 ⑨ 파라미터 전송 → ⑩ 변경 환경 구성

상호 과정

디지털 트윈은 기업과 소비자 간의 상호작용을 매개하는 핵심 도구로 작용한다. 기업은 디지털 트윈을 통해 시뮬레이션 된 결과값을 분석해, 이를 제품 설계, 생산 공정 등에 반영하여 최적화된 제품을 개발한다. 한편, 사용자(소비자)는 디지털 트윈을 통해 제공되는 제품 성능, 사용 환경, 맞춤형 시뮬레이션 결과 등의 정보를 바탕으로 보다 합리적이고 신뢰도 높은 구매 결정을 내릴 수 있다. (다음 페이지 Fig 1. 참고)

디지털 트윈을 구현하고 상호 작용시키려면 초연결, 초지능, 초성능과 연관된 요소 기술과 소프트웨어가 필수적이다. 이 기술들이 빠르게 발전함에 따라, 디지털 트윈의 구현 수준도 정교해지고 고도화되고 있다.

디지털 트윈 요소 기술 및 구성 소프트웨어

성능	기술	내용
초연결	5G	실시간 정보 전송 능력으로 디지털 트윈의 반응성 향상
	네트워크	실시간 데이터 전송, 자산 모니터링, 원격 액세스, 장치 통합 지원
	IoT	물리적 객체의 실시간 데이터 수집과 물리-가상 객체 간 데이터의 원활하고 정확한 양방향 전송
초지능	AI	새로운 데이터로부터 학습을 촉진하고 예측 모델 지속 개선
	빅데이터	패턴 유추 및 유용한 정보 발굴을 위한 양적 데이터 제공
	지능형 반도체	고성능 컴퓨팅, 저전력 설계, AI 통합, 보안 강화 및 신속한 데이터 처리로 디지털 기술과 실시간 애플리케이션 효율성과 성능 극대화
초성능	응용 SW	응용 목적에 따른 진단/분석/예측 결과 산출 응용 모듈
	클라우드	물리적 객체에 부착된 센서 등에서 들어오는 데이터 저장 및 처리
	컴퓨팅 시스템	방대한 데이터를 실시간으로 처리하고 분석하여 물리적 객체의 정확한 디지털 모델을 유지함으로써 예측과 시뮬레이션 지원
	시스템 SW	물리적 자산과 디지털 모델 간의 데이터 통합과 상호 작용을 관리하며, 리소스 최적화와 보안 기능 제공

자료: ICT SPOT Issue, KEIT PD 이슈리포트, 삼일PwC 경영연구원 재구성

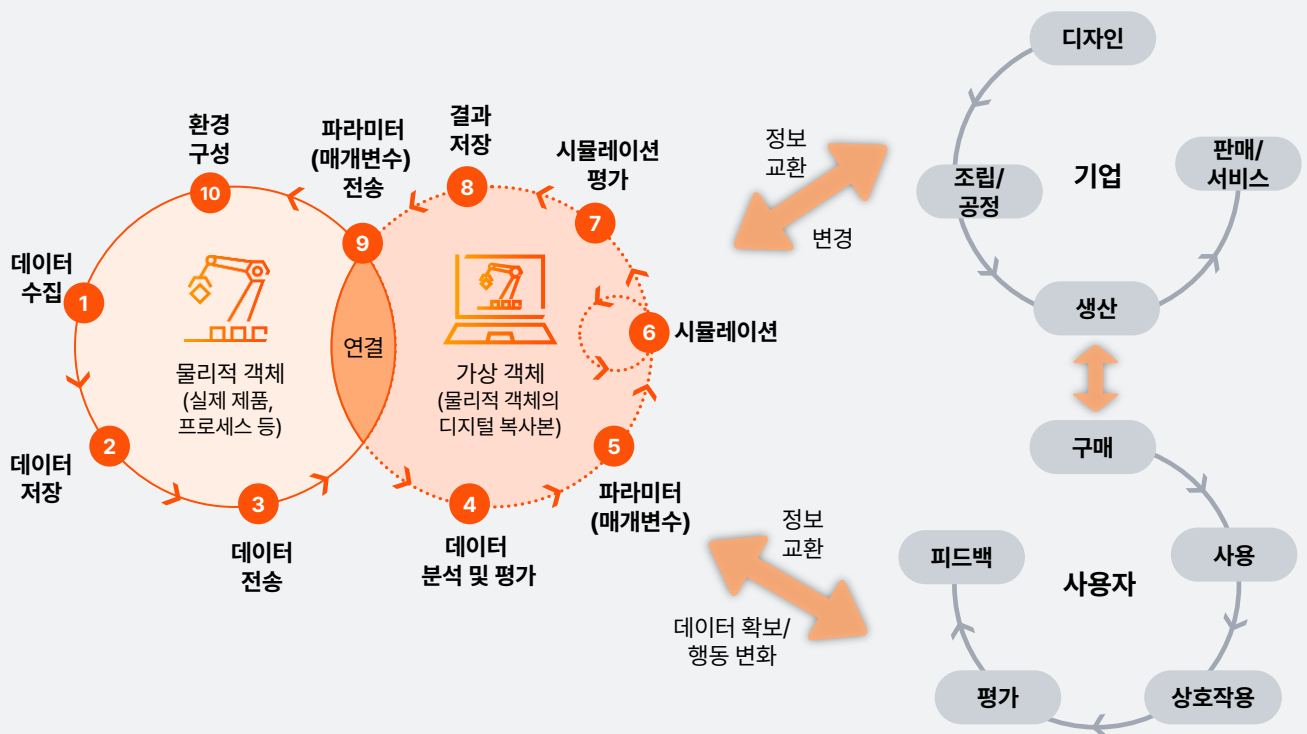
(참고) 디지털 트윈 작동 구조 '쉽게 이해하기'

'풍력 발전기'로 알아보는 디지털 트윈 작동 방식

풍력 발전을 예로 들어, 디지털 트윈의 작동 방식을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

1. **물리적 풍력 발전기 설치:** 실제 풍력 발전기 설치
2. **물리적 풍력 발전기와 동일한 가상 풍력 발전기(디지털 트윈) 구축:** 설치된 물리적 풍력 발전기와 동일한 스펙의 가상 발전기를 디지털 상에 디지털 트윈으로 구축
3. **물리적 풍력 발전기에 센서 부착:** 물리적 풍력 터빈에 센서를 부착하여, 바람의 속도, 온도, 진동, 회전 속도 등 다수 데이터 수집
4. **센서로 수집된 데이터를 가상 풍력 발전기로 실시간 전송:** 센서에서 수집된 데이터가 실시간으로 클라우드나 서버를 통해 가상 발전기(디지털 트윈)에 전송
5. **가상 풍력 발전기 통한 시뮬레이션 수행:** 물리적 풍력 발전기와 동일한 가상 풍력 발전기를 통해, 모니터링/ 분석, 예측/유지보수, 최적화 수행
 - 모니터링/분석: 풍력 발전기 관리자는 가상 풍력 발전기를 통해 실제 물리적 풍력 터빈 모니터링
예) 가상 풍력 발전기를 통해 터빈 진동이 평소보다 커진 이유를 발견하여, 적시에 문제 해결
 - 예측/유지보수: 물리적 풍력 발전기로부터 수집된 데이터를 활용해, 고장 예측 가능
예) 데이터 분석을 통해 특정 부품의 마모 상태 평가하여 정기 점검 시기 제공
 - 최적화: 가상 풍력 발전기(디지털 트윈)에서 시뮬레이션을 통해 최적의 터빈 각도 또는 작동 조건 파악 → 해당 정보 바탕으로 터빈 성능 최적화 및 전력 생산량 증가 가능
6. **물리적 풍력 발전기에 시뮬레이션 내용 직접 적용:** 실제 풍력 발전기에 가상 발전기(디지털 트윈)의 시뮬레이션한 내용 직접 반영
7. 위의 4~6번 끊임없이 반복해, 풍력 발전기 최적 상태 유지

Fig 1. 디지털 트윈 작동 구조 및 상호 작용 흐름



자료: UNITY AG, Wu Chunlong (2021), 삼일PwC경영연구원 재구성

02

디지털 트윈 현황 및 전망

“디지털 트윈은 지속가능하고 회복력 있는 인프라 개발을 위한 전략적 도구이며, 설계 오류 감소, 비용 절감, 위험 관리에 효과적이다.”

ADB(아시아개발은행)

“디지털 혁신은 환경 혁신의 전제 조건이며, 디지털 트윈은 녹색 전환을 위한 핵심 기술로 자리잡고 있다.”

OECD(경제협력개발기구)

“디지털 트윈은 기존 통계 방식의 한계를 극복하고, 정책 시뮬레이션과 예측 분석을 가능하게 하는 차세대 데이터 기반 기술이다.”

UNECE (유엔 유럽경제위원회)

“디지털 트윈은 도시 설계, 에너지 효율화, 의료 진단, 농업 생산성 향상 등 다양한 분야에서 혁신을 주도하는 기술이다.”

IDB (미주개발은행)

“우리는 산업 인터넷을 만들고 있다. 디지털 트윈은 산업 기계를 연결하고, 이전에는 불가능했던 결과를 실현하게 한다.”

William Ruh, 전 GE Digital CEO

현재 디지털 트윈의 기술 수준은?

디지털 트윈 기술은 실제와 가상 세계를 연결하는 '연결형 트윈'에서, '지능형 트윈'을 거쳐 궁극적으로 '자율형 트윈'으로 진화될 것으로 전망된다. 이에 대한 구체적 기술 발전 단계는 '모사 → 관제 → 모의 → 연합 → 자율' 등 5단계로 구분되며, 현재 기술 수준은 '모의'와 '연합' 중간에 위치한 것으로 평가된다.

<p>STEP 1. 모사 (Mirroring)</p>	<p>현실 세계를 디지털로 모사</p> <ul style="list-style-type: none"> 물리적 객체를 2D 또는 3D로 가상화 예) 건설, 제조, 도시 계획 등에서 실제 환경을 디지털로 복제하여 설계 검토
<p>STEP 2. 관제 (Monitoring)</p>	<p>실시간으로 관제 및 부분적으로 자동 제어</p> <ul style="list-style-type: none"> 실시간 현장 데이터 기반으로 가상 세계와 연동하여 관제 및 부분 자동 제어 실시간 모니터링과 일부 자동 제어 가능하나, 주요 의사결정과 제어는 여전히 인간 개입 통해 작동 예) IoT 센서와 AI 기반 시스템을 통해 공장 내 설비 상태, 생산 현황 등을 실시간으로 모니터링
<p>STEP 3. 모의 (Modeling & Simulation)</p>	<p>디지털 트윈 모의 결과를 반영하여 물리적 객체 성능을 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> 가상 환경에서 시뮬레이션 모델을 통해 동작을 검증 및 해석하여 최적화 전략 도출 물리적 객체는 동작 모델 기반의 시뮬레이션을 통해 정밀하게 재현되고, 실제 데이터를 활용해 문제 상황을 재현하고, 원인을 분석함으로써 의사 결정을 지원 예) 조립 공정 정밀히 시뮬레이션 하여 설계 오류 사전 파악 및 조립 최적화
<p>현재 기술 수준</p>	
<p>STEP 4. 연합 (Federation)</p>	<p>상호 연계된 디지털 트윈이 복합적으로 구성 또는 재구성되어, 다양한 시스템 간 통합 운영 가능</p> <ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈 간의 연계, 동기화, 상호작용이 가능하지만, 실제 동작 수행에는 여전히 인간 개입 필요 이종 도메인간 통합과 데이터 거버넌스, 실시간 연동의 복잡성 등으로 현재는 완전한 구현이 어려운 상태 예) 도시 전체를 디지털 트윈으로 구현하여 교통, 에너지, 환경, 행정 등 다양한 시스템을 통합 분석
<p>STEP 5. 자율 (Autonomous)</p>	<p>디지털 트윈 간의 실시간 자율 협력</p> <ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈 간 실시간 통합 및 자율 동기화 기반 협업 수행 인간 개입 없이 분석, 예측, 판단이 자동적으로 가능해 자율적으로 운영 AI의 판단 신뢰성, 실시간 동기화, 복합 시스템 제어, 보안·책임 문제 등으로 현재 기술 한계 존재 예) 물리적 객체의 상태를 실시간으로 분석한 후, AI가 유지 보수 시점과 방법을 스스로 결정하고, 로봇 등이 해당 작업을 수행

디지털 트윈이 산업 전반에 빠르게 확산되는 이유는?

디지털 트윈은 기술 구현에 필요한 요소 기술의 발전과 산업 자동화의 확산, 국제 표준화의 정립, 정부 지원 정책 등의 영향으로 다양한 산업 분야로 적용이 확대 중이다.

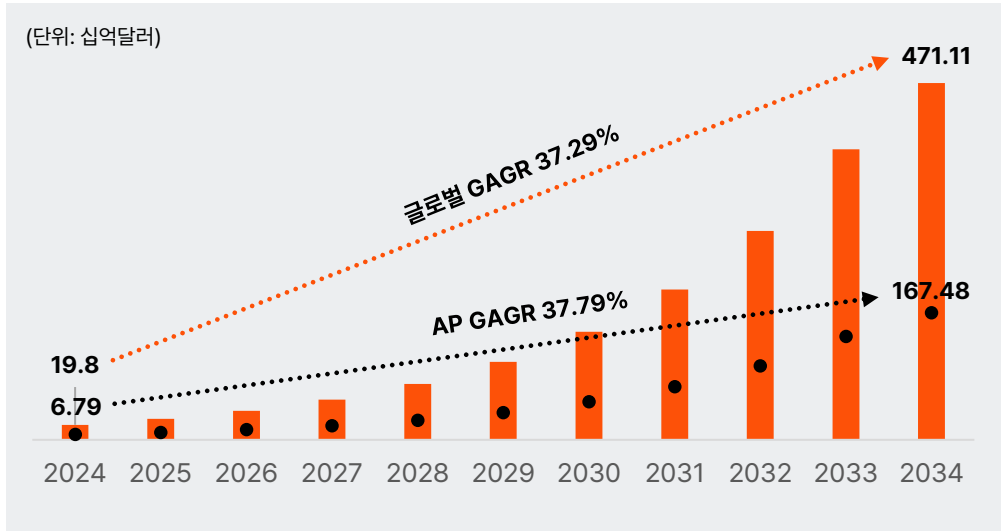
요소 기술 발전	<ul style="list-style-type: none"> AI, 클라우드, 5G, AR/VR, IoT 등 디지털 트윈 구현에 필요한 기술 성장 특히, AI 및 머신러닝 발전으로 디지털 트윈 분석 역량이 향상되고, 클라우드 활용으로 대규모 데이터 처리 및 저장 용이
실시간 데이터 수집, 분석 역량 향상	<ul style="list-style-type: none"> IoT 기술 발전에 따라, 다양한 센서를 통해 데이터 수집 정밀도 및 신속성 향상 엣지 컴퓨팅 등으로 데이터 처리 및 분석 시간 단축
산업 자동화 및 스마트 제조 확산	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 기반으로 생산 효율성과 품질 관리를 제고해 비용 절감과 환경 부담 최소화, 노동력 문제 해소가 가능한 스마트 제조 활성화 → 디지털 트윈 기술로 산업 자동화 및 스마트 제조 혁신 역량 강화
국제 표준화 정립	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈 관련 규격 표준화하여 산업 적용에 대한 통일성 강화 현재 승인된 디지털 트윈 국제 표준 → ISO 23247:2021(제조 디지털 트윈 프레임워크 표준), ISO/TR 23247-100:2025(디지털 트윈 이용한 반도체 잉곳 공정 관리 표준) 현재 개발중인 디지털 트윈 국제 표준 → ISO/CD 23247-5(디지털 트윈 스레드 표준), ISO/CD 23247-6(디지털 트윈 컴포지션 표준)
정부 지원 정책	<ul style="list-style-type: none"> 미국, 중국, 독일 등은 산업 경쟁력 확보 목표로 스마트 제조에 디지털 트윈 적용 및 확산 지원 영국과 싱가포르 등은 디지털 트윈을 미래 국가 경쟁력을 좌우할 핵심 기술로 선정하고, 이를 도시, 행정, 국토 등 공공사회 서비스 분야에 적용하는 정책을 추진 한국은 디지털 트윈을 통해 재난 재해, 사회문제 등을 해결하고, 행정 혁신을 이룩하겠다는 목표로 민관합동의 '디지털 트윈 코리아 전략 수립 중
원격 모니터링 및 제어 수요 증가	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 팬데믹 이후 원격으로 시스템 및 장비 모니터링/제어 요구 증가 전세계적으로 자연재해 발생 빈도가 높아짐에 따라, 원격으로 위험 지역 시설 및 장비 상태 모니터링/제어 필요 확대 기업 공급망 글로벌화로 중앙 집중 관리 필요성 증가
지속가능성 및 에너지 효율 강조	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 저감 등의 환경 목표 설정한 국가 및 기업 증가함에 따라, 에너지 자원 및 사용 관리 최적화 수요 증대 예측적 유지 보수 통해 자원 낭비 감소 필요성 확대

제조업, 에너지, 건설, 방위, 헬스케어, 물류, 농업 등의 산업 뿐만 아니라 스마트 시티, 에너지 등으로 디지털 트윈 사용 확대

글로벌 디지털 트윈 시장 현황 및 전망은?

요소 기술 및 소프트웨어 발전 등에 힘입어 적용 분야가 확대되면서, 디지털 트윈의 글로벌 시장은 연평균 37.29% 성장할 것으로 전망되며, 아시아-태평양(AP) 지역은 37.79%로 글로벌 평균을 소폭 상회할 것으로 예상된다.

글로벌 디지털 트윈 시장 규모 전망 ('24~'34년)



*자료: Precedence Research

디지털 트윈 시장의 지역별 성장 특징

북미

- 글로벌 최대 시장
- 미국 중심으로 산업 적용 확대
- 공급망 복잡성과 불확실성 증가 → AI 기반 디지털 트윈을 통해 수요 예측, 재고 최적화, 물류 시뮬레이션 수요 증가
- 북미 대기업 70% 이상 디지털 트윈 도입

유럽

- EU는 2020년 'Twin Transition 전략'을 통해 디지털 전환과 친환경 전환 동시 추진 → 2050 탄소중립 목표 달성위해, 디지털 트윈 활용한 에너지 효율화 적극 추진 중
- 유럽 디지털 트윈 기술의 40.7%는 자동차 및 운송 분야

중동·아프리카

- 석유·가스 기업의 45% 이상이 디지털 트윈을 활용해 예측 유지보수와 설비 최적화 추진
- 국가 전략에 디지털 트윈을 핵심 기술로 지정한 국가 대다수 (예, 사우디아라비아의 Vision 2030, 남아프리카공화국의 Smart Infrastructure Plan 등)

아시아-태평양(AP)

- 정부 주도의 디지털 트윈 전환 정책 활발 → 디지털 트윈 기반 스마트 시티 프로젝트 60% 이상이 아시아에 집중
- 한국, 중국, 일본 등 제조업 강국 중심으로 디지털 트윈 기반 스마트 팩토리 확산 중

한국의 디지털 트윈 현황 및 시장 전망은?

정책 현황

한국은 국가 차원에서 디지털 트윈 활용 기반을 구축하고, 신시장 창출 및 산업 생태계 조성을 위해 2021년부터 본격적으로 관련 정책을 추진하고 있다.

- 한국 정부는 디지털 트윈을 한국판 뉴딜 대표 과제로 선정하여, 요소 기술 강화와 산업 적용을 위한 투자 확대를 목표로 한 '디지털 트윈 활성화 전략'을 '21년 발표함.
- '23년 대통령 산하 디지털플랫폼정부위원회를 조직하여, 산학연 합동의 '디지털트윈TF' 통해 범정부 디지털 트윈 전략 수립과 국민체감형 디지털 트윈 시범·실증 사업을 추진 중임.
- 한국 정부는 건축물, 지하 시설물 등의 국토 공간을 디지털 트윈으로 연결하여, 위험 요소를 발견하고 미래 예측이 가능한 '디지털 트윈 국토' 사업을 진행 중이며, '25년 5,800억원 예산을 투입함.

기술 현황

한국은 디지털 트윈 구축에 필수적인 초연결, 초지능, 초성능 등 첨단 ICT 기술 수준이 미국 대비 약 91% 수준으로 평가된다.

- 디지털 트윈은 현실의 물리적 객체와 가상의 디지털 객체 간의 양방향 정보 교환이 바탕이 되어 작동되기 때문에, 초연결, 초지능, 초성능 관련 첨단 ICT 기술이 요소 기술로 필수적임.
- 디지털 트윈의 요소 기술 관련하여 최고 수준의 기술 보유국은 미국이며, 한국은 미국 대비 91% 수준임. 특히, AI, 네트워크, 컴퓨팅 시스템 등에 기술 취약성이 다소 존재함.

전망

요소 기술 중심의 정책 추진에 힘입어, 한국의 디지털 트윈 시장은 2030년까지 연평균 33%의 성장률(GAGR)을 기록할 것으로 전망된다.

- '24년 한국의 디지털 트윈 시장 규모는 1,386백만 달러로 평가되며, '30년 8,201백만 달러 성장 전망됨.

디지털 트윈 요소기술 분야별 기술 수준 및 기술 격차 현황

성능	기술 분야	기술 수준					미국 대비 한국 기술 격차
		미국	한국	일본	중국	유럽	
초연결	이동통신(5G)	100%	97.5%	94.7%	98.5%	97.4%	0.3년
	네트워크	100%	89.2%	89.8%	93.9%	95.1%	1.2년
	사물인터넷	100%	93.8%	89.6%	92.5%	95.1%	0.6년
초지능	인공지능(AI)	100%	88.9%	86.2%	92.5%	92.4%	1.3년
	빅데이터	100%	89.2%	79.9%	92.9%	87.7%	1.0년
	응용 SW	100%	92.8%	91.1%	92.9%	92.9%	0.8년
	지능형 반도체	100%	90.7%	85.8%	92.3%	89.9%	08년
초성능	클라우드	100%	89.5%	86%	90.8%	90.5%	1.2년
	컴퓨팅 시스템	100%	87.5%	88.7%	90.7%	89.5%	1.3년
	시스템 SW	100%	91.3%	87.4%	91.6%	91.0%	1.0년

* 기술 수준은 세계 선두인 미국을 100% 기준으로 설정하고, 주요국의 18개 핵심 기술을 평가. 해당 평가는 2년 주기로 실시되며, 가장 최근 평가는 '22년임

자료: 정보통신기획평가원

03

디지털 트윈 생태계: 수요 측면



디지털 트윈, 어느 산업에 주로 적용되고 있을까?

디지털 트윈 기술은 아직 해결해야 할 기술적 과제와 고도화가 필요한 영역이 존재하지만, **현재 기술 수준에서도 제조업, 바이오·헬스케어, 에너지, 건설, 항공·우주, 공공 및 도시 관리 등 다양한 산업 분야에서 폭넓게 활용되고 있다.**

- 디지털 트윈 기술은 자율형 트윈으로의 진화를 위해 다수의 기술적 과제와 고도화가 필요한 영역을 안고 있으며, 특히 데이터 정확성 확보, 실시간 처리 능력, AI 기반 의사결정 모델의 신뢰성 강화 등이 주요 도전 과제로 남아 있음
- 이처럼 기술 고도화는 여전히 필요한 상황이지만, 현재 디지털 트윈 기술은 실시간 데이터 수집, 시뮬레이션, 예측 분석 등의 기능을 안정적으로 구현할 수 있는 수준에 도달했으며, 이러한 기능 구현이 필요한 제조업, 바이오·헬스케어, 에너지, 건설, 우주 항공, 공공 및 도시 관리 분야에서 디지털 트윈 활용이 빠르게 확대 중임

디지털 트윈 적용 주요 산업군



3-1. 제조업

디지털 트윈이 제조업에서 주목받고 있는 이유는?

제조업은 생산성과 비용 절감을 위해 디지털 전환을 가속화하고 있으며, 그 중심에 디지털 트윈이 자리잡고 있다. 디지털 트윈을 활용하면 디지털 환경에서 장비 고장을 사전 예측하고, 공정을 시뮬레이션하며, 품질 이상을 실시간으로 감지할 수 있기 때문이다. 이 외에도 다양한 영역에서 디지털 트윈이 적용되고 있으며, 특히 기존의 사후 대응 방식에 비해 **선제적이고 정밀한 운영**이 가능하다는 점에서 높은 효율성을 인정받고 있다.

제조업에서의 디지털 트윈 주요 활용 영역

활용 영역	주요 기능 및 목적	기대 효과
장비 고장 사전 예측	물리적 객체(장비, 기계 등)에 부착된 센서 데이터를 기반으로 물리적 객체 상태 실시간 모니터링 및 이상 감지	다운타임 감소, 유지보수 비용 절감
공정 시뮬레이션	공장 생산 라인 전체를 가상으로 복제하여 시나리오별* 운영 테스트	생산성 향상, 병목 현상 제거, 설계 최적화
품질 이상 감지	제품 생산 중 실시간 품질 데이터 분석 및 이상 패턴 감지	불량률 감소, 품질 안정성 확보
신제품 개발 및 테스트	CAD 모델과 디지털 트윈을 연계해 가상 테스트 및 성능 검증	개발 시간 단축, 테스트 비용 절감
에너지 효율 최적화	설비 운영 데이터를 분석해 에너지 소비 패턴 최적화	에너지 비용 절감, 탄소배출 감소
안전 시뮬레이션	작업 환경을 가상으로 재현해 위험 요소 분석 및 교육 활용	산업재해 예방, 교육 효과 향상
공급망 시뮬레이션	물류 흐름과 재고 데이터를 통합해 공급망 운영 시뮬레이션	납기 안정화, 재고 최적화

* 생산 과정에서 발생가능한 시나리오를 가상 환경에서 테스트 (예, 생산량 30% 증가 시 생산 라인 처리 능력과 병목 현상 파악)

실제로, 제조업 분야는 디지털 트윈 도입을 통해 생산 비용 절감 및 생산량 증가, 투자 대비 수익률(ROI) 향상 등 가시적인 성과를 창출하고 있다.

<p>생산 비용 절감</p> <p>공정 최적화와 에너지 효율 개선을 통해 생산 비용 최대 30% 절감 사례</p> <p>- McKinsey & Company</p>	<p>생산량 증가</p> <p>병목 제거와 시뮬레이션을 통해 생산량이 평균 10~25% 증가 사례</p> <p>- McKinsey & Company</p>	<p>ROI 향상</p> <p>디지털 트윈 도입 후 ROI 3~5배 향상된 사례 다수 보고</p> <p>- McKinsey & Company</p>	<p>에너지 소비 절감</p> <p>에너지 흐름 최적화 통해 에너지 소비 15~20% 절감 확인</p> <p>- WEF</p>
<p>불량률 감소</p> <p>품질 이상 감지를 통해 불량률 최대 25% 감소한 사례 확인</p> <p>- McKinsey & Company</p>	<p>신제품 개발 시간 단축</p> <p>가상 테스트와 설계 검증을 통해 제품 개발 주기 30~50% 단축 보고</p> <p>- Gartner</p>	<p>설비 가동률 제고</p> <p>예측 유지보수와 실시간 모니터링 통해 설비 가동률 20~40% 향상 사례</p> <p>- WEF</p>	

자동차 산업에서 디지털 트윈은 어떻게 사용될까?

자동차 산업은 디지털 기술의 발전과 시장 수요의 변화에 따라 빠르게 진화하고 있다. 소비자들은 획일화된 차량보다 다양한 기능과 맞춤형 서비스를 제공하는 차량을 선호하고 있으며, 이에 따라 전통적인 대량 생산 방식만으로는 복잡해진 수요에 효과적으로 대응하기 어려운 상황이다.

이러한 변화 속에서 자동차 산업은 디지털 트윈 기술을 가장 적극적으로 도입하고 있는 분야로 평가받고 있으며, 실제로 시장도 빠르게 성장하고 있다. 특히 **2030년까지 연평균 34.3%의 성장률이 예상되면서, 디지털 트윈은 자동차 산업의 핵심 기술로 자리잡고 있다.**

- 자동차 산업의 디지털 트윈 시장은 2024년 기준 약 39억 달러 규모로 추정되며, 2030년까지 연평균 34.3%의 성장률(CAGR)을 기록해 약 228억 달러에 이를 것으로 전망됨 (Global Industry Analysts)

디지털 트윈은 자동차의 제품 수명 주기 전반에 걸쳐 적용되며, 각 단계에서 생성되는 방대한 데이터를 기반으로 효율적인 의사결정을 가능하게 한다. 특히 IoT 센서, 빅데이터 분석, 시뮬레이션 기술을 활용해 차량의 성능을 실시간으로 모니터링하고, 고장 예측, 품질 개선, 생산 최적화 등 다양한 기술적 과제 해결이 가능하다.

자동차 산업의 밸류체인 전반에서 디지털 트윈은 다음과 같은 방식으로 활용되고 있다.

- ① **개발 단계:** 차량의 가상 모델을 통해 구조적 안정성, 공기역학, 부품 간 간섭 등을 사전에 검증함으로써 설계 품질을 높이고 개발 시간을 단축
- ② **생산 단계:** 생산 라인의 디지털 트윈을 활용해 병목 현상을 제거하고 공정 흐름을 최적화 하여 생산 효율을 극대화
- ③ **판매 및 서비스 단계:** 차량 운행 데이터를 기반으로 실시간 상태를 모니터링하고, 고객의 사용 패턴을 분석하여 맞춤형 유지보수 및 서비스 제공

자동차 산업 내 디지털 트윈 적용 범위



① 개발 단계

일반적으로 새로운 자동차 모델을 개발해 출시하기까지는 약 2~3년이 소요될 만큼, 자동차 제품 개발에는 막대한 시간과 비용이 투입된다. 디지털 트윈은 이러한 개발 과정의 각 단계에서 작업 효율성을 높이고, 개발 기간을 단축하며, 성능 개선에도 기여하는 핵심 기술로 활용되고 있다.

자동차 개발 라이프 사이클 각 단계의 도전 과제와 디지털 트윈의 역할

	자동차 콘셉트 확정	디자인 구체화	디자인 검증
주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> 타겟 시장 정의 경쟁 모델 벤치마킹 설계 확장 (기능적 독창성) 차량 콘셉트 확정 	<ul style="list-style-type: none"> 제품 설계 정제 (기능, 외관, 스타일링, 구성 매개변수) 상업적 생산 시 사용될 도구 및 장비 개발 제품 및 시제품을 원하는 성능에 맞추는 시뮬레이션 테스트 	<ul style="list-style-type: none"> 소량 생산을 통한 상세 설계의 타당성 및 검증 차체 테스트 (다양한 기후 조건에서의 도로 테스트) 마케팅 활동 (티저, 언론보도, 미디어 홍보 등)
도전 과제	<ul style="list-style-type: none"> 조직 내 다양한 부서에 산재된 데이터의 통합 부족 이전 세대 모델의 기능 사용 이력, 피드백, 오류 정보 부족 디자이너 중심의 의사결정으로 인해 최종 사용자 관점 반영이 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 현실 조건을 반영한 시나리오 검증이 어려움 반복적인 시뮬레이션 테스트로 인한 시간과 비용 부담 	<ul style="list-style-type: none"> 소량 시험 생산을 통한 설계 검증으로 일정 지연 및 비용 증가 다양한 환경 조건에서의 테스트 필요성
디지털 트윈 역할	<ul style="list-style-type: none"> 과거 모델과 현재 콘셉트 간의 데이터를 통합하여 분석 디자이너, 이해관계자, 최종 사용자 간의 소통을 가속화 데이터 기반 의사결정을 통해 콘셉트 확정의 정확성과 속도 향상 	<ul style="list-style-type: none"> 제품 수명 주기 전반의 데이터를 기반으로 성능 예측 가능 현실 조건을 반영한 시뮬레이션으로 문제 조기 발견 설계 완성도 향상 및 테스트 효율성 증대 	<ul style="list-style-type: none"> 실제 테스트 이전에 가상 환경에서 설계 타당성 검증 마케팅 및 고객 피드백 반영을 위한 시뮬레이션 기반 자료 제공 제품 출시 일정 단축 및 재무적 리스크 감소

개발 단계에서 디지털 트윈 적용 사례

기업명	적용 내용	성과/효과
르노	설계 초기부터 가상 모델을 생성하고 다양한 테스트를 클라우드 기반 SDV(Software-Defined Vehicle)*로 협업	신차 설계 기간을 기존 1년에서 약 3개월로 단축
포드	헤드라이트 시스템 설계 시 반사 및 조명 범위를 디지털 시뮬레이션	야간 안전 기능 및 곡선 조명 성능 개선
테슬라	차량 설계 후 센서 기반 실시간 가상 복제본 생성 및 수천 대의 충전기 데이터와 연동	설계 검증 자동화 및 에너지 관리 최적화
BMW	공장 전체를 가상으로 복제하여 설계 검증(공정과 작업자 동선 포함)	생산 공정 설계 시간 25% 이상 단축
닛산	예측형 디지털 트윈을 활용해 생산 시나리오를 사전 시뮬레이션	병목 구간 식별 및 설계 효율성·생산성 향상

* 차량 기능과 성능을 소프트웨어 업데이트만으로 유연하게 변경할 수 있는 소프트웨어 중심 아키텍처

자료: 언론종합

② 생산 단계

자동차 생산 단계는 부품 품질 확보, 공정 효율성 향상, 그리고 제조 비용 절감 등 복합적인 과제를 안고 있으며, 디지털 트윈은 이러한 과제를 해결하는 데 핵심적인 역할을 하고 있다.

글로벌 자동차 기업들은 실제 부품이나 생산 시스템을 디지털로 복제한 모델을 활용해 다양한 조건에서 시뮬레이션과 분석을 수행하고 있으며, 이를 통해 설계 및 공정상의 오류를 사전에 식별하고 생산 환경을 최적화한다.

특히 디지털 트윈은 부품 테스트, 차체 설계 분석, 로봇 조립 경로 최적화, 장비 모니터링 및 예측 유지보수 등 생산 전반에 걸쳐 적용되어 품질과 효율성을 동시에 향상시키고 있다.

디지털 트윈의 자동차 생산 단계 적용 및 역할

적용 영역	디지털 복제 대상	활용 방식	주요 효과 및 기대
부품 품질 향상	차체, 엔진, 샤프트, 구동계, 전기 및 전자 장치 등	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 환경(고온, 저온, 습도, 진동 등)에서 성능 시뮬레이션 내구성, 열변형, 마모 등 사전 결함 예측 다양한 조건을 자동으로 반복 시뮬레이션 하여 부품 성능 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 불량을 감소 품질 안정화 테스트 비용 및 시간 절약
차체 설계 및 조립 최적화	차체 구조물(BIW)*1, 산업용 조립 로봇 등	<ul style="list-style-type: none"> 유한 요소 분석(FEA)*2을 통한 구조 강도 및 안전성 평가 로봇 동작 경로 시뮬레이션 공정 간 간섭 및 충돌 사전 식별 및 수정 	<ul style="list-style-type: none"> 차체 구조 안정성 확보 조립 정확도 향상 공정 안정성 강화
생산 공정 효율화	생산 설비, 검사 장비, 공장 전체 시스템 등	<ul style="list-style-type: none"> 설계 단계: 제품 요구사항 기반 3D 모델링 및 성능 시뮬레이션 사전 생산 단계: 검사 장비 배치 최적화, 자동 검사 알고리즘 개발 양산 단계: 장비 상태 실시간 모니터링, 로봇 경로 자동 조정, 예측 유지보수(PdM) 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 생산 공정 최적화 생산 장비 고장 예방 운영 효율성 및 생산성 향상

*1 Body in White(BIW)는 자동차 생산 과정에서 도장이나 내장재가 부착되기 전의 차체 프레임 상태를 의미하며, 차량의 강도와 안전성을 결정짓는 핵심 구조물

*2 복잡한 구조물이나 부품에 가해지는 힘, 열, 진동 등의 물리적 영향을 수치적으로 예측 분석하여, 자동차 차체, 서스펜션, 프레임 등의 강도, 내구성, 충돌 안전성을 사전에 검증하는 시뮬레이션 기반

3-1. 제조업: 자동차

생산 단계에서의 디지털 트윈 적용 사례

기업명	적용 내용	성과/효과
현대 자동차	<ul style="list-style-type: none"> 현대차그룹 싱가포르 글로벌 혁신센터(HMGICS) 공장에 메타팩토리(설비·로봇·물류 3D 가상 복제) 구축 메타팩토리를 통해 가상에서 실시간으로 공장 모니터링 및 시뮬레이션 진행 및 차량 설계 검증 및 전체 생산라인 최적화 Unity 메타팩토리 플랫폼*1 활용하여 로봇들이 최적 타이밍과 경로 계산해 작업 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 최적화된 가동률을 산정하고 물류까지 통합 관리하여 원격 공장 모니터링 및 제어 디지털 설계로 프로토타입 횟수 대폭 절감 및 자원 낭비와 탄소배출도 크게 감소 센서 데이터를 기반으로 장비 고장을 사전에 예측하고 선제적으로 대응함으로써, 비가동 시간을 줄이고 유지보수 비용 절감
BMW	<ul style="list-style-type: none"> 전 세계 31개 공장의 가상 모델을 구축하여 생산 시스템을 정밀하게 시뮬레이션 NVIDIA Omniverse 플랫폼*2을 활용해 공장 설비와 공정을 하나의 가상 공간에서 모델링하여 협업하며, 실시간으로 라인 배치와 작업 순서 검토 AI 기반의 예지보전과 품질 분석을 디지털 트윈과 연계하여 비가동 시간과 품질 문제 최소화 	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈으로 생산 계획 시간을 약 30% 단축하고, 신차 출시 리드타임 감소 혼류 생산 환경에서도 최소한의 다운타임으로 유연한 생산 운영 확보 초기 생산 품질 불량률 약 30% 개선 및 공정 최적화와 예방정비로 제조 비용 절감, 설비 가동률 개선
테슬라	<ul style="list-style-type: none"> 자사 기가팩토리*3와 생산 공정 전반에 디지털 트윈을 활용해 실시간 모니터링 및 생산 최적화 구현 배터리 셀과 파워트레인 생산라인의 센서 데이터를 기반으로 가상 공장 모델을 운영하며, 병목 현상 제거와 라인 밸런싱 최적화 자사 전기차의 디지털 트윈을 통해 실시간 데이터 분석 수행 및, 제품 설계 및 공정 개선 	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈 도입으로 기가팩토리의 생산성을 30% 향상시켜 배터리와 차량 생산량 증가시키고 수요 대응 속도 개선 예측 유지보수를 통해 잠재적인 설비 고장을 미리 감지하여 다운타임을 최소화하고 설비 가동률 제고 실시간 품질 데이터 피드백을 기반으로 제품 결함을 조기에 발견하고 설계에 반영함으로써 품질 문제를 줄이고 고객 만족도 향상
르노	<ul style="list-style-type: none"> 전 공장과 공급망에 디지털 트윈을 구축하여 100% 센서 연결과 실시간 데이터 수집을 기반으로 가상 공장 운영 디지털 제어탑을 통해 생산 현황과 물류 흐름을 통합 관리하며, 수요 변화에 실시간으로 대응하고 최적의 운송 시나리오 제시 ID@Scale*4 기반의 데이터 수집 표준화를 추진하며, 글로벌 규모의 디지털 트윈 생태계 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈과 산업 메타버스를 통해 약 7억8천만 유로의 비용을 절감하고, 공장 가동률 제고 차량 인도 리드타임 60%, 탄소발자국 50% 감축

*1 글로벌 메타버스 환경 구축 및 실시간 3D 콘텐츠 개발·운영 플랫폼 기업이 Unity가 개발한 실시간 3D 메타버스 플랫폼

*2 NVIDIA가 개발한 산업용 디지털 트윈 및 실시간 3D 시뮬레이션 플랫폼으로, 산업의 복잡한 시스템을 가상 환경에서 정밀하게 재현하고 협업할 수 있도록 지원

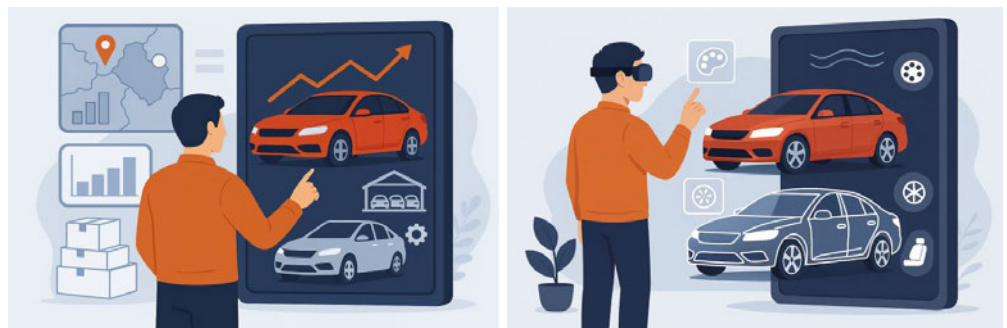
*3 기존 자동차 공장과 차별화된 테슬라의 초대형 스마트 제조 시설로, 전기차 및 배터리 생산의 효율성과 혁신을 극대화하기 위해 설계

*4 르노와 Atos가 공동 개발한 플랫폼으로, 제조업체가 산업 데이터를 수집·구조화해 생산성과 품질을 높이고 에너지 소비를 줄일 수 있도록 지원

③ 판매 및 서비스 단계

디지털 트윈은 자동차 산업의 판매 및 서비스 단계에서도 핵심 기술로 활용되며, 실시간 차량 데이터를 기반으로 고객 행동 분석과 수요 예측을 통해 판매 전략을 정교하게 개선하고, 맞춤형 서비스 제공과 유지보수 최적화에도 기여하고 있다.

적용 영역	도전 과제	적용 방식	예시
수요 예측 및 재고 최적화	지역, 연령, 성별에 따라 자동차 수요가 상이한 상황에서 수요 예측의 부정확성은 재고 과잉 또는 부족을 초래하며, 이는 결국 비용 손실로 연결	<ul style="list-style-type: none"> 과거 판매 데이터, 시장 트렌드, 지역 특성 등을 기반으로 가상 시뮬레이션 모델 생성 각 지역의 수요를 예측하고, 이에 맞춰 차량 모델별 생산 및 물류 계획 최적화 	디지털 트윈을 활용해 지역별, 연령별, 성별의 과거 자동차 구매 데이터와 경제 상황, 경쟁사 활동 등을 시뮬레이션한 결과를 기반으로, SUV 수요가 높은 지역에는 해당 모델의 재고를 확대하고, 세단 수요가 낮은 지역에는 공급을 축소
고객 체험 향상	자동차는 고가의 제품이기 때문에, 고객은 차량을 직접 보거나 경험하지 않고서는 구매 결정을 내리기 어려움	디지털 트윈은 실제 차량의 구조와 옵션을 정밀하게 반영한 가상 모델을 기반으로, AR/VR 기술을 활용한 디지털 쇼룸 구현 → 고객은 태블릿 또는 매장 내 디지털 장비를 통해 자동차 체험 및 맞춤형으로 변경	고객은 온라인 쇼룸에서 디지털 트윈으로 구현된 차량을 360도로 둘러보고, 원하는 색상, 인테리어 옵션을 실시간으로 변경
마케팅 전략 시뮬레이션	마케팅 캠페인 효과를 사전에 예측하기 어려움	<ul style="list-style-type: none"> 고객 행동 데이터를 기반으로 가상 고객 프로필 생성 특정 마케팅 메시지가 어떤 고객군에 효과적인지 시뮬레이션하여 전략 수립 	20대 고객에게는 SNS 광고가, 50대 고객에게는 이메일 캠페인이 보다 효과적이라는 분석 결과 도출
판매 네트워크 운영 최적화	자동차 전시장 및 판매 인력 배치가 비효율적일 경우 운영 비용 증가함	<ul style="list-style-type: none"> 지역별 방문자 수, 구매 전환율 등을 시뮬레이션하여 전시장 위치 및 인력 배치 최적화 	특정 지역의 전시장에 고객 유입 적다면, 소형 쇼룸으로 전환하거나 온라인 판매로 대체



* 삼일PwC 경영연구원이 이해를 돕기 위해 시를 활용하여 작성함

3-1. 제조업: 자동차

서비스 단계에서의 디지털 트윈 적용 및 역할

적용 영역	도전 과제	디지털 트윈 적용 방식	예시
예측 유지보수	차량 고장이 갑자기 발생하면 고객 불만이 증가하고, 정비소 운영에도 부담이 커짐	자동차의 주요 시스템 (예: 배터리, 브레이크, 엔진 등)을 디지털 트윈으로 실시간 모니터링하고, 센서 데이터를 분석하여 고장 징후 사전에 감지	배터리 온도 상승이나 충전 속도 저하가 감지되면, 디지털 트윈이 '2주 내 정비소 방문 권장' 알림을 고객에게 전송하여 고장 예방
부품 수명 관리	부품 교체 주기가 일률적이면 불필요한 교체가 발생하거나, 반대로 고장을 유발할 수 있음	실제 주행 거리, 운전 습관, 환경 조건 등을 반영하여 부품의 상태를 디지털 트윈으로 추적하고, 교체 시점을 예측	고속 주행이 많은 자동차의 타이어는 빠르게 마모되므로, 디지털 트윈이 이를 감지해 교체 시점을 조정함으로써 부품 수명을 연장하고 유지보수 비용을 절감
서비스 네트워크 운영 최적화	정비소의 위치, 인력 배치, 부품 재고가 수요와 맞지 않으면 고객 대기 시간 증가 및 운영 비용 상승함	고객 방문 패턴, 차량 고장 빈도, 지역별 서비스 수요 등을 시뮬레이션하여 정비소 운영 최적화	특정 지역에서 정비 수요가 급증할 것으로 예측되면, 해당 지역 정비소에 인력을 미리 배치하거나 부품을 사전 확보하여 고객 대기 시간 줄이고 서비스 품질 향상
고객 맞춤형 서비스 제공	고객의 차량 사용 방식이 다양해 일률적인 서비스로는 만족도를 높이기 어려움	개별 차량의 운행 데이터와 상태 정보를 기반으로 고객 맞춤형 정비 일정과 서비스 제안 제공	도심 주행을 많은 고객에게는 브레이크 패드 점검을 우선 안내하고, 장거리 운행이 많은 고객에게는 엔진 오일 교체를 먼저 추천

자료: 언론종합

3-1. 제조업: 화학

화학 산업에서 디지털 트윈은 어떻게 사용될까?

탄소중립 등 지속가능한 목표를 수립하는 화학사가 늘어나면서, 디지털 기술을 활용한 공정 최적화와 에너지 효율 개선에 대한 관심이 높아지고 있다.

특히 화학 공정에서는 스마트 플랜트와 디지털 트윈 기술 도입이 활발히 진행되고 있으며, 이를 통해 물리적 자산을 실시간으로 모니터링하고 AI 기반 예측 분석으로 공정 효율을 극대화하는 사례가 확산되고 있다.

디지털 트윈은 공정 복잡성과 안전 리스크가 큰 화학 산업에서 특히 효과적이다. 가상 공장을 활용해 다양한 시나리오를 시뮬레이션함으로써 운영 효율을 높이고, 비용을 절감하며, 안전성을 강화할 수 있다. 이 기술은 화학 공장의 전체 생애주기뿐 아니라 밸류체인 전반에 걸쳐 폭넓게 적용되며, 각 단계별 주요 활용 방식은 다음과 같다.

화학 산업 밸류체인에서의 디지털 트윈 활용

밸류체인	디지털 트윈 활용 방식	예시
연구개발 (R&D)	신소재 개발 초기 단계에서 실험 데이터를 기반으로 물리·화학적 특성을 예측하고, 반응 메커니즘을 시뮬레이션 하는데 활용 • 예측 모델링: 분자 구조와 반응 경로를 디지털로 재현하여 실험 없이도 반응 결과를 예측 • 시뮬레이션 기반 설계: 다양한 조건에서의 반응 시나리오를 가상 실험으로 검증 • 효율성 향상: 실험 횟수를 줄이고, 개발 기간과 비용을 단축	BASF는 디지털 트윈을 통해 신소재의 특성을 사전에 예측하고, 실험 반복을 최소화하여 개발 속도 제고
생산	생산 공정의 실시간 모니터링과 시뮬레이션을 통해 공정 최적화 및 에너지 효율 개선에 기여 • 공정 시뮬레이션: 가상 공장에서 다양한 운전 조건을 실험하여 최적의 생산 조건 도출 • 에너지 최적화: 열분해 반응 등 고에너지 공정에서 연료 소비를 최소화하는 조건을 탐색 • 설비 구조 개선: 설비 내 구성 요소의 위치나 작동 조건을 조정하여 효율 향상	AGC는 염화비닐 (VCM) 생산 공정에 디지털 트윈을 적용해 열효율을 분석하고, 가상 시뮬레이션을 통해 화구 위치를 조정하여 에너지 소비 절감
설비 운영 및 유지보수	설비 상태를 실시간으로 모니터링하고, 고장 가능성을 예측하여 유지보수 계획 최적화 • 예측 유지보수: 센서 데이터를 기반으로 이상 징후를 조기에 감지 • 설비 가상 점검: 설비 내부를 직접 점검하지 않아도 가상 환경에서 상태 확인 가능 • 운영 안정성 강화: 고장 발생 전 대응 가능해 다운타임 최소화	한화솔루션은 수소 첨가 석유수지 생산 공정에 디지털 트윈을 적용해 설비 이상을 조기에 감지하고 유지보수 일정을 최적화
유통 및 공급망 관리	공급망의 흐름을 시뮬레이션하고 병목 현상을 예측하여 물류 효율 제고 • 수요 예측: ERP·MES·센서 데이터를 통합해 지역별 수요 변화 분석 • 재고 최적화: 실시간 재고 수준과 수요를 비교하여 적정 재고 유지 • 물류 시뮬레이션: 운송 경로, 배차 계획 등을 가상 환경에서 검증	BASF는 Siemens와 협력해 디지털 트윈 기반 공급망 시뮬레이션을 구축하여 물류 병목을 사전에 예측하고 대응
품질 관리 및 고객 대응	제품 품질을 실시간으로 분석하고, 고객 맞춤형 생산 전략을 수립하는 데 활용 • 품질 예측: 센서 및 머신비전 데이터를 기반으로 품질 이상 탐지 • 고객 맞춤형 생산: 고객 요구에 따라 생산 조건을 조정하고 품질 기준을 설정 • 지속적 개선: 품질 데이터 분석을 통해 공정 개선 방향 도출	SABIC은 주요 유틸리티 설비에 디지털 트윈을 적용해 품질 데이터를 실시간 분석하고, 운영 전략 최적화

자료: 언론종합

화학 산업에서의 디지털 트윈 적용 사례: 해외

기업명	디지털 트윈 적용 사례
BASF	<ul style="list-style-type: none"> 대형 화학설비에 디지털 트윈 기반 예지보전을 도입해 설비 고장을 사전에 예측하고, 계획 정비 시점을 최적화하여 가동 안정성 확보 → 이를 통해 핵심 장비의 수명을 연장하고 가동률을 극대화해 운영 효율과 신뢰성을 강화하며, 축적된 데이터를 활용해 공정을 최적화함으로써 에너지와 자원 효율성 향상
Dow Chemical	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈과 AI 알고리즘*1을 접목해 화학제품 생산 공정을 실시간으로 최적화 가상 모델을 통해 생산 설비의 동작을 시뮬레이션하고, 센서 데이터를 분석해 발생 가능한 비효율을 사전에 감지하고 조치 프로세스 변수를 자동으로 조정해 에너지 소비와 원자재 사용을 최소화하고, 제품 품질 일관성을 향상시킴으로써 비용 절감과 운영 효율 증대 효과를 창출
GE Digital	<ul style="list-style-type: none"> 자산 성능 관리(APM)*2 솔루션에 디지털 트윈 기술을 적용해 화학 플랜트의 예지보전과 성능 모니터링을 지원 예를 들어, 사우디의 Sipchem사는 GE의 APM을 도입해 위험 기반 검사(RBI) 등 핵심 프로세스를 최적화함으로써 검사 작업을 약 31.5% 줄이고 운영 효율을 향상
Shell	<ul style="list-style-type: none"> 전 세계 자산 사업장에 디지털 트윈을 도입해 기존 설비의 경쟁력을 강화하고, 운영 신뢰성과 안전성 제고 중 특히 노르웨이 Nyhamna 가스 처리 플랜트에 구축된 디지털 트윈은 가동 조건이 수시로 변하는 복잡한 공정에서도 최적 운영 상태를 실시간으로 제공하며, 다양한 시나리오에서 안전한 운영 한계 검토와 안정적인 생산 진행 → 이를 시작으로 업스트림과 가스 자산을 포함해 전사 자산에 디지털 트윈 적용 확대 중
Tata Chemicals	<ul style="list-style-type: none"> 인도 구자라트 주 Mithapur 공장의 탄산화 파워와 보일러에 TCS와 협력하여 32,000여 개 센서 데이터를 활용한 디지털 트윈 구축 → 이를 통해 예지보전, 에너지 관리, 자산 추적, 품질 관리를 진행 또한, 디지털 트윈에 AI 기반 실시간 제어 시스템을 적용하여 보일러 효율을 높이고 연료 소비를 줄임으로써, 연간 약 60만 달러 비용 절감 효과를 달성

*1 AI가 특정 문제를 해결하기 위해 사용하는 규칙, 절차, 또는 수학적 모델을 뜻함. 즉, 데이터를 분석하고 패턴을 학습해 예측·판단·최적화 같은 작업을 수행하는 것임

*2 산업 자산의 신뢰성과 가용성을 극대화하기 위해 데이터 분석과 예측 유지보수를 활용하는 GE Digital의 소프트웨어로, 운영 효율 향상과 비계획적 다운타임 감소, 비용 절감을 지원함

자료: 언론종합

화학 산업에서의 디지털 트윈 적용 사례: 국내

기업명	디지털 트윈 적용 사례
한화토탈 에너지스	<ul style="list-style-type: none"> 현실 공장의 데이터를 가상의 공장과 연결한 공정 디지털 트윈을 통해 시나리오별 시뮬레이션을 수행하고, 데이터 분석으로 생산 공정, 품질 및 설비를 지속적으로 개선 전 공정을 2D·3D 디지털 맵으로 구현하여 6000여 개에 설비 정보를 시각화하고, 엔지니어링 데이터와 정비 이력을 통합 관리함으로써, 예방 정비와 비상 대응 역량을 강화 이러한 디지털 전환(DX) 혁신은 에너지 절감과 휴먼 에러 감소를 통해 효율성과 안정성을 높여 스마트 플랜트 도약을 가속화
한화솔루션	<ul style="list-style-type: none"> 석유수지 제조공정에 디지털 트윈을 적용하여, Aspen Plus* 기반의 정적·동적 모델로 공정을 가상 재현 → 이를 통해 촉매 성능 저하나 제품 품질 변화 등의 시나리오를 시뮬레이션하고, 최적의 운영 전략을 도출하며 위험 상황에 대비한 가상 훈련 수행 그 결과, 용제 회수 공정 개선으로 용제 폐기물 약 29% 감소하고, 연간 약 50만 달러 비용 절감 등의 성과 달성
LG화학	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈 기술을 활용해 제조 공정을 실시간 모니터링하고 최적화 AI 기반의 예지보전 솔루션을 접목하여 설비 이상을 사전에 감지함으로써 비가동 시간을 최소화하고 운영 효율 향상가상 공장에서 다양한 생산 조건을 시뮬레이션해 공정 개선안을 도출함으로써 에너지 소비를 절감하고 생산성을 향상시키는 효과 창출
롯데케미칼	<ul style="list-style-type: none"> 화학 공정에 특화된 디지털 트윈 솔루션을 도입해 생산 공정을 가상 공간에 그대로 재현하고 시뮬레이션함으로써 공정 최적화를 선제적으로 추진. 실제 가동 중에는 온도, 압력 등 주요 데이터를 실시간으로 수집·분석하여 중앙제어실에서 이상 여부를 모니터링하고, 현장 작업자의 수동 점검 없이 설비 상태를 파악 → 축적된 데이터는 향후 공정 개선에 활용되어 제품 수율과 운영 효율 향상에 사용
SK 이노베이션	<ul style="list-style-type: none"> 울산CLX 사업장은 AI와 디지털 트윈 기반의 스마트플랜트 2.0을 도입해 공정 운전, 설비 관리, 안전 분야에서 40여 개 과제를 추진하고 있으며, 이를 통해 연간 100억 원 이상의 비용 절감 효과 창출 전망 공정 자동운전 프로그램과 AI 기반 고급제어(APC)를 적용해 생산성을 높이고, 설비 고장 예측 모델을 활용해 예방정비를 시행하며, 통합 안전 모니터링 체계를 구축해 설비 이상과 위험을 조기에 감지

* 화학 공정 시뮬레이션을 위한 공정 모델링 소프트웨어로, 주로 화학, 석유화학, 정유, 에너지, 환경 산업에서 사용. 이 소프트웨어는 복잡한 공정 시스템을 가상으로 설계하고 분석할 수 있도록 도와주는 디지털 트윈 기반의 시뮬레이션 도구

자료: 언론종합

바이오·헬스케어 산업에서 디지털 트윈은 어떻게 사용될까?

AI 기반 분석 및 예측 기술의 발전과 함께 의료 데이터 수집·활용 환경이 고도화되면서, 바이오·헬스케어 산업에서도 디지털 트윈 기술의 활용이 확대되고 있다. 현재 기술 수준에서 디지털 트윈이 크게 ① 의료기기, ② 의료기관, ③ 사람, ④ 바이오 제약을 대상으로 적용되고 있으며, 대상별 적용 사례가 증가하고 있다.

이 네 가지 영역은 모두 물리적 객체(예: 의료기기, 병원 시설, 환자, 생산 설비)와 이를 기반으로 생성된 가상 객체로 구성되며, 센서·IoT 장치, 전자의무기록(EMR), 웨어러블 기기 등 다양한 데이터 소스에서 실시간 정보를 수집해 양자 간 동기화를 유지한다. 이를 통해 현실과 가상의 상호작용이 가능해지고, 예측·최적화 기반의 의사결정이 구현된다.

이를 통해 의료기기는 상태 모니터링과 예지 정비가 가능해지고, 의료기관은 환자 흐름, 자원 배치 등을 시뮬레이션 하여 운영 효율을 극대화할 수 있다. 또한 사람을 대상으로 생체 신호, 유전체, 생활 습관 데이터를 통합한 디지털 환자 모델을 통해 맞춤형 치료 설계, 질병 예측, 신약 반응 시뮬레이션 등 정밀 의료와 신약 개발에 활용되고 있다.

바이오·헬스케어 산업의 디지털 트윈 적용 현황

적용 대상별	적용 방안	주요 기업
① 의료기기	<ul style="list-style-type: none"> 의료기기 성능, 내구성, 작동 조건 등의 시뮬레이션 	Siemens & MxD, Stryker, GE Healthcare 등
	<ul style="list-style-type: none"> 제품 설계 최적화, 고장 예측, 유지 보수 효율화 	
② 의료기관	<ul style="list-style-type: none"> 병원 내 환자 흐름, 자원 배치, 응급 대응 시나리오 등 시뮬레이션 (스마트 병원) 	삼성서울병원, Children's Mercy Kansas City, Mayo Clinic 등
	<ul style="list-style-type: none"> 병원 운영 최적화, 감염병 대응 전략 수립, 의료 서비스 품질 향상 	
③ 사람 (사용자)	<ul style="list-style-type: none"> 질병 예측 및 예방 	Siemens, Q Bio, Dassault Systèmes, Twin Health 등
	<ul style="list-style-type: none"> 맞춤형 치료 시뮬레이션 	
	<ul style="list-style-type: none"> 약물 반응 시뮬레이션 	
④ 바이오 제약	<ul style="list-style-type: none"> 품질 예측, GMP(우수 의약품 제조관리기준) 준수 강화 등 생산 공정 최적화 	삼성바이오로직스, 종근당, 대웅제약, Unlearn, DeepLife, 오프리메드 등
	<ul style="list-style-type: none"> 가상 환자·대조군 생성, 임상시험, 약물 반응 예측 등 제약 R&D 혁신 	

디지털 트윈 적용 사례: ① 의료기기

기업명	디지털 트윈 적용 사례
Siemens & MxD	<ul style="list-style-type: none"> COVID-19 팬데믹 기간 동안 인공호흡기 부족 문제를 해결하기 위해, Siemens와 MxD는 디지털 트윈 기술을 활용해 하나의 인공호흡기로 두 명의 환자를 안전하게 치료할 수 있는 가능성을 시뮬레이션을 통해 검증함 인공호흡기 디지털 트윈을 구축하여, IoT 센서와 연동된 실시간 모니터링 시스템을 통해 인공호흡기의 상태를 지속적으로 추적하고, 안정성 및 성능 향상 지점을 예측할 수 있도록 설계함 특히, 폐 기능이 서로 다른 두 환자에게 동일한 인공호흡기를 사용할 경우 발생할 수 있는 위험 요소를 디지털 트윈 기반 시뮬레이션으로 분석하고, 각 환자에게 전달되는 공기 흐름을 개별적으로 조절할 수 있는 능동형 분배기(active splitter) 시스템을 구현함
Stryker	<ul style="list-style-type: none"> 자사 의료기기 및 제조 공정 등에 디지털 트윈을 적용하여 성능 최적화, 품질 향상, 환자 맞춤형 의료기기 개발 목적으로 활용함 - 성능 최적화: <ol style="list-style-type: none"> 환자의 CT 데이터를 기반으로 수술 전 디지털 트윈을 생성하여, 수술 경로와 절삭 범위를 시뮬레이션 함으로써 수술 정확성과 예측 가능성 개선 로봇 장비의 센서 데이터를 디지털 트윈에 반영하여, 부품의 마모나 고장 가능성 사전 예측하고 유지보수 계획 수술 중 발생한 데이터와 외과의사의 피드백을 디지털 트윈에 반영해, 다음 버전의 의료 기기 설계에 활용 - 품질 향상: <ol style="list-style-type: none"> 제조 장비와 공정 흐름을 디지털 트윈으로 모델링하여, 생산 중 발생할 수 있는 병목 현상 또는 품질 저하 요인을 사전 파악 로봇 팔과 자동화 장비의 동작을 디지털 트윈으로 시뮬레이션 하여, 최적의 경로와 속도 설정 센서 데이터를 통해 제품의 치수, 표면 상태 등을 실시간으로 분석하고, 기준에서 벗어난 제품 자동 분류 - 환자 맞춤형 의료기기 개발: <ol style="list-style-type: none"> 환자의 뼈 구조를 디지털 트윈으로 모델링하여, 맞춤형 인공관절이나 임플란트 설계 환자의 활동 패턴과 생체 데이터를 기반으로, 장기적인 임상 결과를 예측하고 최적의 치료 계획 제시 등
GE Healthcare	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈을 적용하여 MRI 및 CT 장비의 유지보수 효율화, 장비 성능 최적화 등을 실현함 특히, 동작 데이터를 기반으로 한 시뮬레이션을 통해 아래와 같은 성과를 창출함 - 의료기기 상태 예측: 디지털 트윈을 통해 센서 및 운영 로그 데이터를 실시간으로 수집하여, 장비의 부품 마모나 이상 징후를 조기에 감지함으로써, 고장 발생 전에 수리 또는 교체 진행 - 다운타임 최소화: 디지털 트윈을 활용해 의료기기 작동 조건을 시뮬레이션 하여 고장 가능성이 높은 시나리오를 사전 테스트하고, 예기치 않는 의료기기 중단을 예방 - 품질 및 생산성 향상: 의료기기 성능을 지속적으로 모니터링하고 최적화함으로써 진단 정확도를 높이는 동시에, 유지보수 주기를 효율화해 기기 수명을 연장

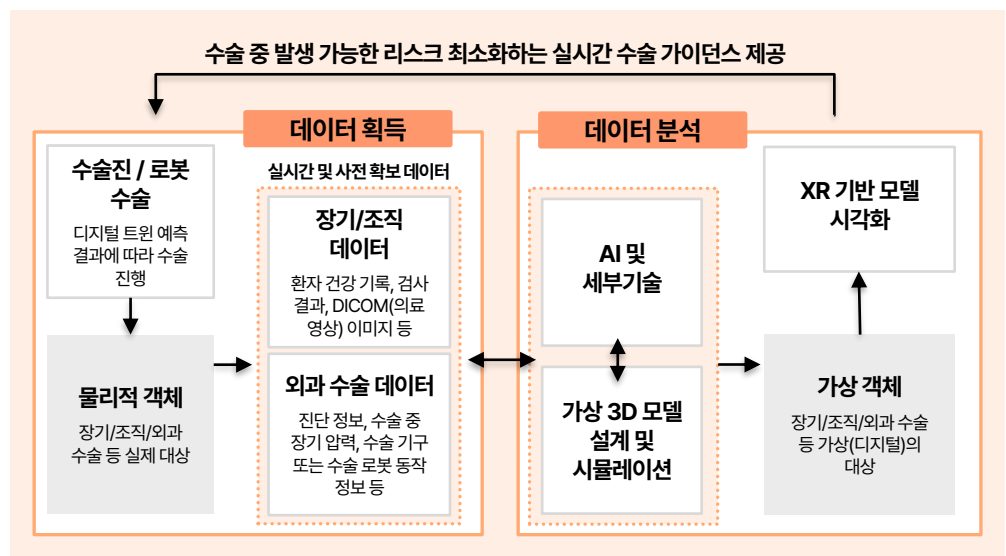
자료: 언론종합

디지털 트윈 적용 사례: ② 의료기관

기업명	디지털 트윈 적용 사례
삼성서울병원	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈 기술을 기반으로 한 DOCC(Data-based Operation & Communication Center) 시스템을 도입함 DOCC는 병원 내 의료 장비, 병실, 수술실, 의료진 등의 모든 가용 자원에 대한 가상 객체를 구축하여, 실시간으로 병원 상황을 시뮬레이션하고 이를 통해 자원을 적시 적소에 배치할 수 있도록 돕는 시스템임 일례로, 채혈이나 CT 등 검사에 환자가 몰리는 상황을 고려해, 가상병원에서 기존 진료 데이터를 기반으로 시뮬레이션을 수행하고 인력과 공간을 사전 재배치함으로써 환자 대기 시간을 최소화하고 있음 → 이를 통해, 검사 및 진료 대기 시간을 사전 조정하여 병목 현상 해소 삼성서울병원의 디지털 트윈에 적용된 DOCC는 국내 특허를 득한 상태이며, 미국 및 유럽 특허 출원 중에 있음
Children's Mercy Kansas City	<ul style="list-style-type: none"> 미국의 어린이 병원인 'Children's Mercy Kansas City'는 GE HealthCare의 디지털 트윈 기술을 적용하여 겨울철 소아과 환자 수요 급증에 대비한 병상 확보와 자원 배분을 사전에 계획하고 있음 특히, 병원 운영의 복잡성과 변동성을 반영한 Discrete Event Simulation (DES)* 기반의 디지털 트윈을 통해 실시간 데이터를 통합하고, 수요 예측을 바탕으로 병상과 인력 자원을 최적화하며, 부서 간 협업을 강화함으로써 운영 효율성과 진료 품질을 동시에 향상시킴
Mayo Clinic	<ul style="list-style-type: none"> CT 또는 MRI 등의 영상 데이터를 기반으로 환자의 장기(심장, 간, 폐 등)를 3D로 모델링하여 장기에 대한 디지털 트윈을 생성하여, 수술 전 디지털 트윈을 통해 절개 위치, 수술 경로, 장기 반응 등을 사전 테스트함으로써 수술 성공률을 향상시키고 있음 이를 통해, 의사는 수술 전 디지털 트윈을 통해 출혈 가능성, 장기 손상 등의 위험 요소를 사전 예측하고 수술 중 발생할 수 있는 다양한 변수에 대한 사전 준비가 가능해짐

* 시간이 흐르면서 발생하는 사건들을 하나씩 처리하면서 시스템을 시뮬레이션 하는 방법

디지털 트윈 기반 수술 가이드스 흐름



자료: npj Digital Medicine (2025)

디지털 트윈 적용 사례: ③ 사람

기업명	디지털 트윈 적용 사례
Siemens	<ul style="list-style-type: none"> 관상동맥질환(CAD) 등의 심장병 예방 및 치료를 위해, 환자 개인의 영상 데이터, 생체 신호, 병력 등을 기반으로 디지털 트윈인 가상 심장 모델을 구축 → 이를 통해 의사는 다양한 치료 시나리오를 디지털 트윈으로 시뮬레이션 하고, 가장 효과적인 치료법을 선택함 해당 디지털 트윈을 통해, 환자 맞춤형 치료와 예방이 가능할 뿐 아니라 불필요한 시술 감소와 의료 자원 효율화, 생존율 향상 등에 기여하고 있음
Q Bio	<ul style="list-style-type: none"> 자사의 Q Bio Gemini 플랫폼*1과 Mark I 스캐너*2를 활용하여 사용자의 전신 디지털 트윈을 구축하고, 이를 기반으로 만성질환의 조기 진단, 개인 맞춤형 치료, 건강 관리에 활용되고 있음 특히, 실시간 생체 데이터를 기반으로 분석된 디지털 트윈 결과를 시각적으로 요약해주는 Gemini 대시보드를 제공함으로써, 사용자는 자신의 건강 상태를 직관적으로 확인할 수 있으며, 의료진은 이를 바탕으로 정밀 진단 및 맞춤형 치료 설계 수립이 가능함
Dassault Systèmes	<ul style="list-style-type: none"> 개인 맞춤형 디지털 심장 모델을 디지털 트윈으로 생성하여 해부학적 구조, 생리학적 반응, 혈류역학 등을 시뮬레이션 → 해당 기술은 심장 수술 시뮬레이션을 비롯해, 의대생 수술 연습 교육, 심장 임상 시험 등에 적극 활용되고 있음 심장 디지털 트윈 구축 사례를 기반으로, 뇌를 포함한 주요 장기로 디지털 트윈을 확대 중임. 특히, 뇌 디지털 트윈 구축을 통해 아래와 같은 분야에 적용 중임 <ul style="list-style-type: none"> - 뇌혈류 시뮬레이션: 뇌졸중, 뇌동맥류 등 혈류 관련 질환 예측 및 치료 시뮬레이션 - 신경 반응 예측: 약물, 신경 치료 등에 대한 뇌 반응을 디지털 트윈을 통해 사전 예측 - 정신건강 분야 적용: 뇌 기능 모델링을 통해 우울증, 불안장애 등 정신 질환 분석
Twin Health	<ul style="list-style-type: none"> 자사의 AI 기반 '전신 디지털 트윈 플랫폼(Whole Body Digital Twin, WBDT)'을 토대로, 사용자의 생체 데이터*3를 기반으로 신진대사 상태를 디지털로 재현함 웨어러블을 통해 실시간으로 혈당, 심박수, 수면, 활동량, 체중 등 신진대사 관련 데이터를 획득하여 분석을 실시 → 해당 실시간 데이터를 AI가 학습하여 정밀한 건강 개선 조치를 제안하여 개인 건강 관리 및 치료에 활용됨 해당 디지털 트윈을 통해, 사용자 A1C(당화혈색소) 수치가 크게 개선된 것으로 보고됨 → 당뇨병 환자가 해당 디지털 트윈을 통한 관리 후 90일만에 A1C가 평균 8.0에서 6.0이하로 감소하고, 메트포르민(당뇨병 치료제) 사용 중단

*1 상용 전신 디지털 트윈 플랫폼으로, 개인의 해부학적 구조와 생물학적 데이터를 통합하여 디지털화 해주며, 사용자의 생활 습관, 유전적 위험 요인을 반영해 개인 맞춤형 생체 모델을 생성. 해당 모델은 시간이 지남에 따라 변화하는 생체 데이터를 기반으로 실시간 업데이트되며, 건강 상태 변화를 예측하고 조기 경고를 제공

*2 방사선 노출 없이 10분 이내에 전신 스캔이 가능하며, 사용자의 디지털 트윈 데이터를 기반으로 주요 변화나 위험 요소를 감지할 경우 자동으로 추가 데이터를 수집

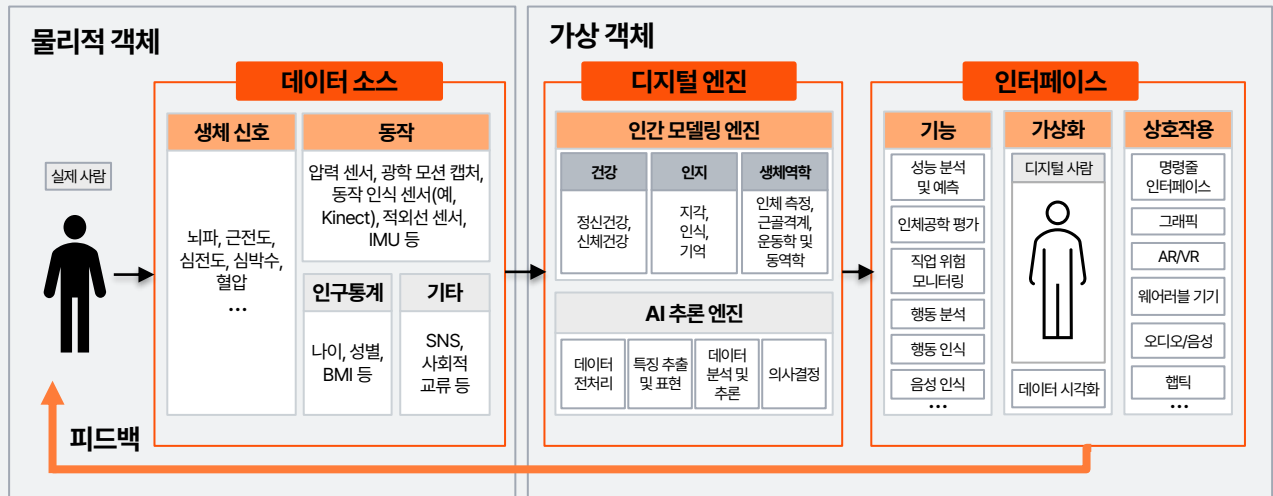
*3 생체 데이터는 자사의 Twin Kit라고 불리는 웨어러블(스마트 워치, 혈압/혈당 측정기 등)기기를 통해 실시간으로 확보

자료: 언론종합

3-2. 바이오·헬스케어

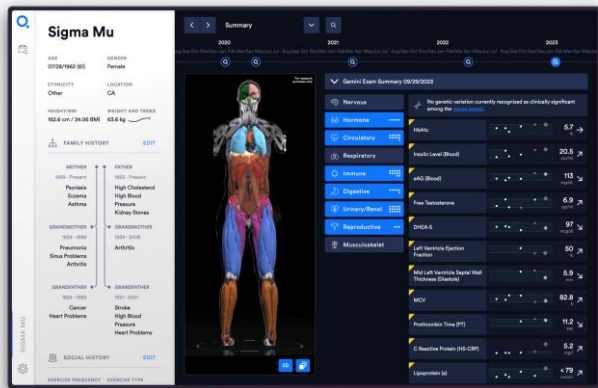
사람 디지털 트윈(Human Digital Twin, HDT)

- HDT란 실제 사람을 디지털로 그대로 재현하여, 생리적·행동적·심리적 데이터를 실시간으로 디지털 공간에서 제공하고 분석할 수 있는 기술이다.
- 구체적으로, 실제 사람(물리적 객체)으로부터 뇌파, 심전도, 심박수, 혈압 등의 생리 신호와 동작 센서, 소셜 미디어, 인구통계 정보 등을 통해 데이터를 수집하고, 디지털 사람(가상 객체)은 수집된 데이터를 바탕으로 건강, 인지, 생체역학 모델링을 수행하는 인간 모델링 엔진과, AI 기반의 데이터 전처리 및 특징 추출을 담당하는 추론 엔진을 구축한다.
- 최종적으로 해당 디지털 트윈은 성능 분석, 예측, 디지털 아바타 시각화, 명령 기반 상호작용 등의 기능을 통해 사용자와 상호작용하며, 인간 중심의 정밀한 분석과 시뮬레이션을 가능하게 한다.



자료: Chinese Journal of Mechanical Engineering (2024)

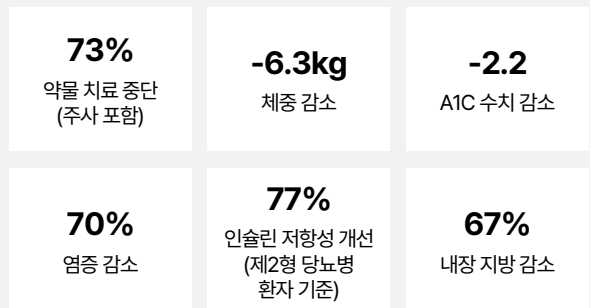
Q Bio: 사람 디지털 트윈 플랫폼



자료: Q Bio 홈페이지

Twin Health: 디지털 트윈 사용 변화

디지털 트윈을 활용한 당뇨병 환자의 평균 건강 개선 효과



자료: Twin Health 홈페이지

디지털 트윈 적용 사례: ④ 바이오 제약

바이오 산업은 본질적으로 복잡한 실험과 반복을 기반으로 한다. 세포 배양, 약물 반응 검증, 임상시험 설계 등 각 단계는 수많은 변수와 반복 실험을 요구하며, 그 과정에서 막대한 시간과 비용이 소요된다. 디지털 트윈은 이러한 한계를 극복하기 위한 핵심 기술로 부상하고 있다. 실제 공정과 실험 환경을 정밀하게 가상화하고 다양한 시나리오를 시뮬레이션함으로써 연구 효율성을 높이고 실패 가능성을 줄인다. 그 결과, 신약 개발 주기를 단축하고 비용을 절감하는 동시에, 보다 정밀한 의사결정을 가능하게 한다.

특히, 바이오 분야에서 디지털 트윈은 'R&D 혁신(임상시험)'과 '생산 공정 최적화'라는 두 가지 영역에서 그 활용이 빠르게 확산되고 있다.

- **R&D 혁신(임상 시험)** : 가상 환자 모델을 활용해 약물 반응을 예측하고, 임상시험 설계를 최적화함으로써 개발 기간을 단축하고 비용을 절감한다. 글로벌 제약사들은 이미 디지털 트윈 기반의 가상 임상시험을 통해 후보 물질 검증 속도를 높이고 있으며, 국내 굴지 제약사들도 AI 기반 플랫폼을 활용해 맞춤형 임상 시험 설계와 시뮬레이션을 고도화하고 있다.

R&D 혁신 (임상 시험) 관련 기업 사례

기업명	디지털 트윈 적용 사례
DeepLife (프랑스)	<ul style="list-style-type: none"> • 약물 효능을 정밀하게 평가할 수 있는 인간 세포 기반 디지털 트윈 플랫폼 개발함 • '25년 1월, 프랑스 국립보건연구원(INSERM)과 손잡고 간세포암 치료제 개발 프로젝트를 시작했으며, 해당 협력은 딥라이프의 암세포 디지털 트윈 모델을 활용해 신약 후보물질을 검증하고, 개발 가능성을 사전에 분석하는 것을 목표로 하고 있음
Unlearn (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 의약품 임상시험을 위한 디지털 트윈 플랫폼 제공. 해당 기술은 실제 환자와 통계적으로 유사한 가상 환자군을 생성해, 약물 반응이 기대되는 환자를 사전에 선별하거나 임상시험에서 대조군 규모를 줄이는 데 활용됨 • 최근, 벨기에 바이오기업 레마인드가 진행한 알츠하이머 치료제 임상 2상에서, 언런은 가상 대조군을 생성해 실제 환자 반응을 보다 정밀하게 분석하는 데 성공함
오프라메드 (한국)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 최초로 AI 기반 휴먼 디지털 트윈 '옵티비스'를 개발했으며, 특히 세계에서 유일하게 동양인 가상환자 모델을 구현할 수 있다는 점에서 글로벌 경쟁사와 차별화됨. 이러한 기술은 지역 특화 맞춤형 임상시험 설계와 시뮬레이션을 가능하게 하여, 임상 효율성과 정확성을 크게 높이고 있음

3-2. 바이오·헬스케어

- **생산 공정 최적화**: 대규모 바이오리액터의 세포 배양 조건을 가상으로 재현해 최적화하거나, 공정 데이터를 기반으로 품질 변동을 예측해 리스크를 사전에 차단하고 있다. 이를 통해 생산 수율을 높이고, GMP(우수 의약품 제조관리기준) 준수와 품질 일관성을 확보 중이다.

생산 공정 최적화 관련 국내 기업 사례

기업명	디지털 트윈 적용 사례
삼성 바이오로직스	<ul style="list-style-type: none"> • '25년 가동된 5공장에 디지털 트윈 기술과 CFD(전산유체역학) 시스템을 적용함. • CFD를 통해 바이오리액터 내부 유체 흐름을 분석하고, 공정 조건을 최적화하며, 예측 값이 실제 공정 데이터와 약 95% 일치시킴 → 생산성 향상, 품질 안정성 확보, 공정 리스크 사전 대응 제고
종근당	<ul style="list-style-type: none"> • 업계 최초 '메타버스 팩토리'를 구축하여, AI, 빅데이터, 자동화 시스템을 활용해 실제 공장과 동일한 가상 환경을 구현하고, 공정 시뮬레이션 및 품질 예측 체계를 마련 • 현재는 규제상 제약으로 시뮬레이션 및 모니터링 중심으로 운영 중임
대웅제약	<ul style="list-style-type: none"> • '25년, 산업통상자원부 국책과제로 '디지털 트윈 기반 바이오 의약품 차세대 제조공정 기술 개발'에 선정됨 • 목표는 세포 배양부터 정제까지 전 공정을 통합한 디지털 트윈 시스템 구축이며, 오송 스마트팩토리에서 실증 연구를 진행 중임

자료: 각 사, 언론종합



에너지 산업(에너지원별)에서 디지털 트윈은 어떻게 사용될까?

에너지 산업은 복잡하고 대규모의 물리적 시스템을 운영하는 특성상, 설비의 상태를 실시간으로 파악하고 운영 효율을 극대화하며 환경적 리스크를 최소화할 수 있는 기술적 수단으로 디지털 트윈을 적극 도입하고 있다.

특히, 디지털 트윈은 현재 에너지 산업 내에서 원자력 발전소, 석유·가스, 재생에너지(풍력, 태양광), 에너지 저장 시스템(ESS), 스마트 그리드 등 다양한 세부 분야에 적용되고 있으며, 각 분야별로 고유한 방식으로 활용되고 있다.

이처럼 디지털 트윈의 활용은 단순한 운영 효율 개선을 넘어, ESG(Environmental, Social, Governance) 관점에서도 중요한 역할을 하고 있다. 에너지 손실을 줄이고 탄소 배출을 효과적으로 관리하며, 재생에너지의 통합을 지원함으로써 지속가능한 에너지 시스템 구축에 기여하고 있다.

적용 세부 산업별	적용 방식	ESG 관련 효과
원자력 발전소	설비 상태 실시간 모니터링, 고장 예측, 안전 시뮬레이션	안전성 강화, 방사능 누출 예방, 에너지 효율 향상
석유·가스	시추 장비 상태 모니터링, 생산 최적화, 위험 예측	환경 리스크 감소, 에너지 효율 향상
풍력 발전	풍속 예측, 터빈 성능 분석, 유지보수 최적화	재생에너지 효율 향상, 운영비 절감
태양광 발전	발전량 예측, 패널 오염/고장 감지, 유지보수 자동화	재생에너지 활용 극대화, 탄소 배출 감소
에너지 저장 시스템 (ESS)	충방전 시뮬레이션, 배터리 수명 예측, 운영 최적화	재생에너지 저장 효율 향상, 자원 절약
스마트 그리드	전력망의 효율적인 운영, 예측 유지보수, 에너지 수요 관리, 재생에너지 통합	탄소배출 관리, 재생에너지 통합, 에너지 효율화, 사회적 가치 창출

에너지 산업(기업별)에서 디지털 트윈은 어떻게 사용될까?

기업명	디지털 트윈 적용 사례
두산 에너지빌리티	<ul style="list-style-type: none"> • 풍력 블레이드*1의 피로 손상 예측을 위해 디지털 트윈 기반 시뮬레이션을 적용하고, 실제 기후 조건과 운전 데이터를 반영한 물리 기반 모델을 활용하여 유지보수 주기 최적화 • Microsoft Azure*2 및 Bentley iTwin*3 플랫폼과 연동된 가상 풍력발전기 운영 시뮬레이터를 개발하고, 블레이드 각도 조정 및 회전속도에 따른 전력 효율을 사전 예측 <p>→ 이를 통해, 유지보수 비용 15% 이상 절감 및 발전소 다운타임 최소화 달성</p>
한화솔루션	<ul style="list-style-type: none"> • 태양광 패널 생산 공정에 디지털 트윈을 접목하여 품질 예측 모델을 운영하고, 실시간 생산 데이터를 기반으로 불량률을 사전에 예측·제어 • AI 기반 공정 최적화 알고리즘과 연계해 재료 손실률을 10% 이상 절감하고, IoT 기반 장비 연결로 가상-물리 연동 완성 • 에너지 효율 추적과 ESG 측면의 탄소배출량 실시간 계산에도 디지털 트윈을 활용
Siemens Energy	<ul style="list-style-type: none"> • MBD(Model-Based Design)*4 기반 시뮬레이션과 Topsides 4.0*5을 활용해 발전소 설비의 가상 조립·유지보수 시뮬레이션을 구현하고, 전 세계 30여 개 발전소에 디지털 트윈 적용하여 유지보수 비용 25% 절감 • 또한, 엔비디아 Omniverse*6와 Modulus*7를 활용해 HRSG(배열회수보일러) 디지털 트윈을 구축 → 실시간 데이터 기반 부식 예측과 시뮬레이션을 통해 정지 검사 기간 단축 및 연간 최대 17억 달러 절감 예상
EDF	<ul style="list-style-type: none"> • 영국 서남부에 위치한 원자력 발전소인 Hinkley Point C의 원자로에 디지털 트윈을 적용해 물리 기반 구조 시뮬레이션을 구현하여, 설계와 운영 단계에서 안정성 강화 • 센서와 광섬유 데이터를 활용해 열응력과 반복 하중에 따른 구조 피로도를 디지털 트윈으로 정밀 분석하고, 설계부터 해체까지 전 수명주기를 가상 환경에서 시뮬레이션해 유지보수 계획 최적화와 비용 절감 지원
ABB	<ul style="list-style-type: none"> • 전력망 디지털 트윈을 기반으로 CCUS(탄소 포집·활용·저장) 네트워크 모니터링 시스템 구축 진행 • 전력 설비 및 데이터센터 전력망 설계에 디지털 트윈 적용 확대

*1 풍력발전기의 핵심 부품으로, 바람의 힘을 받아 회전 운동을 발생시키는 날개

*2 클라우드 플랫폼으로, 데이터 저장·분석, AI 모델 학습, IoT 연동 등 디지털 트윈 구현을 위한 확장성과 안정성 제공

*3 인프라 및 산업 설비의 디지털 트윈 생성·관리하는 플랫폼으로, 실시간 데이터 통합과 3D 모델 기반 시뮬레이션을 지원하여 운영 효율과 의사결정 정확성 향상

*4 모델 기반 설계 기법으로, 실제 시스템을 구현하기 전에 가상 모델을 통해 설계·시뮬레이션·검증을 수행하는 방식

*5 해양 플랜트나 대형 산업 설비의 상부 구조물(탑사이드) 설계 및 유지보수를 디지털 트윈과 가상 시뮬레이션으로 지원하는 차세대 엔지니어링 시스템

*6 실시간 3D 협업 및 시뮬레이션 플랫폼으로, 디지털 트윈 구축과 가상 시뮬레이션을 지원하며 GPU 기반의 고성능 렌더링과 물리 기반 모델링을 제공

*7 물리 기반 머신러닝(Physics-ML) 프레임워크로, 유체역학·열전달 등 물리 현상을 반영한 AI 모델을 생성해 디지털 트윈의 정밀한 예측과 시뮬레이션을 제공

3-3. 에너지

에너지 시스템의 밸류체인별 디지털 트윈의 적용 상황은?

에너지 산업은 발전(생산) → 송전/배전(전달) → 저장 → 소비의 밸류체인으로 구성되며, 각 단계는 대규모 설비와 복잡한 인프라, 실시간 수급 변동, 높은 안정성 요구 등 고유한 도전 과제를 안고 있다.

특히 신재생에너지 확대, 탈탄소화, 노후 설비 관리, 수요 예측 정교화 등의 흐름 속에서 디지털 트윈은 에너지 시스템의 전주기 최적화를 가능하게 하는 핵심 기술로 자리잡고 있다.

밸류체인	활용 방식	예시	효과
발전 (생산)	<ul style="list-style-type: none"> 발전소의 터빈, 보일러, 태양광 패널, 풍력 터빈 등의 실시간 운영 데이터를 기반으로 디지털 트윈 모델 생성 → 발전 효율, 고장 가능성, 유지보수 시점 등을 시뮬레이션 	<ul style="list-style-type: none"> 풍력 발전소에서 각 터빈의 회전 속도, 진동, 온도 데이터를 분석하여 예측 정비(PM) 수행 태양광 패널의 일사량, 온도, 출력 데이터를 기반으로 발전량 예측 및 최적 배치 	<ul style="list-style-type: none"> 발전 효율 향상 고장 예방 운영비 절감
송전/배전 (전력망)	<ul style="list-style-type: none"> 전력망의 흐름, 부하, 장애 발생 가능성을 디지털 트윈으로 시뮬레이션 실시간 수급 변동에 대응하는 스마트 그리드 운영 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> 특정 지역에서 전력 수요 급증 시, 디지털 트윈이 전력 흐름을 재조정하여 과부하 방지 송전선로의 온도, 전류, 외부 환경 데이터를 기반으로 설비 과열 및 고장 예측 	<ul style="list-style-type: none"> 전력 품질 안정화 정전 위험 감소 유지보수 효율 향상
저장 (에너지 저장)	<ul style="list-style-type: none"> 배터리, 수소 저장소, 열 저장 시스템 등의 상태를 디지털 트윈으로 모니터링 → 충방전 사이클, 열화 상태, 저장 효율 등을 예측 	<ul style="list-style-type: none"> ESS(에너지 저장 시스템)의 충전 상태와 열화 속도를 분석하여 최적의 충방전 전략 수립 수소 저장 탱크의 압력과 온도 데이터를 기반으로 안전성 평가 및 유지보수 계획 수립 	<ul style="list-style-type: none"> 저장 효율 향상 저장 설비 수명 연장 안전성 확보
소비 (수요)	<ul style="list-style-type: none"> 산업, 상업, 가정 등 다양한 소비처의 에너지 사용 패턴을 디지털 트윈으로 분석 수요 예측, 에너지 절감 전략, 탄소 배출 모니터링 등 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 빌딩에서 HVAC 시스템*의 운전 데이터를 기반으로 에너지 소비 최적화 공장 내 설비의 운전 조건을 시뮬레이션하여 피크 전력 사용 시간 조정 	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 비용 절감 탄소 배출 감소 수요 반응(DR) 전략 강화

* 난방(Heating), 환기(Ventilation), 그리고 공기 조절(Air Conditioning)의 약자로, 실내 환경의 온도, 습도, 공기 질 등을 관리하는 시스템

항공우주 산업에서 디지털 트윈은 어떻게 사용될까?

항공우주 산업은 고도의 기술 집약도와 매우 높은 수준의 안전성이 요구되는 분야로, 디지털 트윈의 중요성이 점점 커지고 있다. 특히 우주 개발은 막대한 비용과 높은 리스크가 수반되기 때문에, 디지털 트윈은 이를 줄이고 기술 혁신을 가속화하는 핵심 수단으로 주목받고 있다.

- 위성, 발사체, 우주정거장과 같은 시스템은 수만 개 이상의 부품으로 구성되며, 진공, 고온, 방사선 등 극한 환경에서 장시간 안정적으로 작동해야 함. 단 한 번의 임무 실패가 인명 피해와 자산 손실로 이어질 수 있기에, 설계 단계에서 오류를 최소화하고 운용 중 발생 가능한 리스크를 관리하는 것이 필수적임
- 그러나 이러한 시스템을 지상에서 실제 환경과 동일하게 시험·검증하는 것은 물리적·기술적 제약이 큼. 이를 극복하기 위해 NASA, ESA 등 선도 기관들은 디지털 트윈을 활용해 복잡한 우주 시스템의 작동 특성을 예측하고, 설계 검증·운용 시뮬레이션·유지보수 최적화를 수행함으로써 임무 성공률을 높이는 데 집중하고 있음

항공우주 산업은 위성, 발사체, 우주정거장/우주선, 지상 통제 및 지원 시스템 등으로 구성되며, 설계·제조·시험·발사·운용·유지보수에 이르는 밸류체인 전 단계에서 디지털 트윈 적용이 가능하다. 이를 통해 전체 시스템을 가상 환경에서 통합 관리하고, 실제 운용 중 발생할 수 있는 다양한 상황을 사전에 예측·대응할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

항공우주 산업 밸류체인 상 디지털 트윈의 활용 및 기대효과

*다음 장 계속

설계	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 트윈을 활용해 고충실도(High-Fidelity) 시뮬레이션을 수행함으로써 설계안을 정밀 검증하고, 잠재적 결함을 초기 단계에서 발견·수정하여 개발 기간과 비용을 단축 • 가상 모델에 실제 운용 조건(온도, 압력, 진동 등)을 적용해 설계안의 성능을 사전에 검증하고, 물리적 시제품 제작 및 반복 테스트의 필요성을 최소화 • 엔지니어들이 동일한 디지털 모델을 공유해 병렬 작업을 수행함으로써 협업 효율을 높이고, 설계 반복 주기를 단축
제조	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 트윈을 활용해 생산라인과 설비를 가상 공간에 정밀 재현하고, 실시간 데이터를 연동하여 병목현상과 비효율을 사전에 식별·개선. 이를 통해 생산 계획 최적화, 자원 활용 극대화, 다운타임 최소화 • 제조 공정에서 발생 가능한 변수를 가상 환경에서 반복 시뮬레이션해 불량률을 낮추고, 물리적 시제품 제작 횟수를 줄여 개발 비용 절감

3-4. 항공우주

항공우주 산업 밸류체인에서 디지털 트윈의 활용 및 기대효과

<p>시험 및 검증</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 트윈을 활용해 지상에서 재현하기 어려운 우주 시스템의 실제 운용 환경을 가상으로 구현하고, 열진공·진동·충격·방사선 등 가혹한 조건을 시뮬레이션함으로써 물리 시험을 보완하거나 일부 대체 • 가상 시험을 반복적으로 수행할 수 있어 다양한 시나리오를 검증하는 것이 가능 • 시뮬레이션을 통해 확보한 데이터는 설계 보완과 인증 과정에 활용되어, 물리적 시험 대비 비용과 시간을 절감하고 최종 제품의 신뢰도를 향상
<p>발사·운용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 운용 단계에서 디지털 트윈을 활용해 실시간 의사결정과 제어 최적화를 지원하고, 수집된 상태 데이터를 관제 센터의 가상 모델에 반영하여 지상에서 운용 상태를 지속적으로 추적 • 궤도 비행 중 자세, 구조 하중, 추진계 상태를 실시간 모니터링해 응력과 이상 징후를 즉시 감지하고, 문제 발생 시 신속히 대응 • 비행 중 수집되는 센서 데이터를 디지털 트윈 모델에 실시간 반영해 장비 상태를 분석하고, 고장 가능성을 사전에 예측. 이를 통해 계획 정비 시점을 최적화하고 불필요한 정비를 줄여 장비 수명을 연장하며, 운용 비용 절감
<p>유지보수</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 트윈을 활용해 예지 정비를 가능하게 함으로써 우주·항공 시스템의 유지보수 비용을 절감하고 안전성 제고. 특히, 센서 데이터를 분석해 부품의 마모와 성능 저하 추이를 실시간으로 파악하고, 고장 발생 전에 교체를 예측하여 비정상 상황을 예방 • 계획 정비 시점을 최적화해 불필요한 정비를 줄이고, 정비 자원 활용 효율을 제고. 또한 운용 데이터를 설계 단계로 피드백하여 차세대 제품의 품질 향상과 개발 효율성을 높이는 선순환 구조를 촉진

항공우주 산업에서의 디지털 트윈 도입 효과 및 고려사항은?

디지털 트윈 기술을 도입함으로써 우주항공 산업에서 기대할 수 있는 기술적·산업적 효과는 다음과 같다.

- ① **설계 최적화 및 개발 기간 단축:** 가상 환경에서의 고충실도 시뮬레이션*1을 통해 설계 오류를 조기에 발견하고, 물리적 프로토타입 제작 횟수를 줄여 제품 개발 사이클을 크게 단축
- ② **리스크 감소 및 안전성 향상:** 디지털 트윈은 실제 장비를 사용하지 않고도 가혹한 운용 조건을 가상 시험할 수 있어, 위험 요소를 사전에 파악하고 제거하는 데 효과적
- ③ **비용 절감:** 기존에는 반복적인 물리 시험과 파괴 검사*2가 필요했으나, 이를 디지털 환경에서 대체함으로써 비용을 크게 줄이고, 고장 예측으로 불필요한 정비와 가동 중단을 최소화
- ④ **운영 효율성 증대 및 정비 최적화:** 실시간 상태 모니터링과 예지정비를 통해 시스템 가용성을 높이고, 필요한 시점에만 정비를 수행해 효율성을 극대화. 또한 운용 데이터를 설계 단계로 피드백해 차세대 제품의 품질 향상과 개발 효율성을 높이는 선순환 구조를 형성

디지털 트윈 기술을 항공우주 산업에 실제 도입할 때 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- ① **기존 시스템과의 통합:** 오랜 기간 사용해온 기존 IT 시스템과의 데이터 연계 및 호환성 확보가 필요. 예를 들어, 기존 제조 실행 시스템(MES)*3과 최신 IoT 센서 플랫폼 간 데이터 교환을 위해 추가 인터페이스 개발과 시스템 개조가 필요하며, 부서별로 분절된 데이터 사일로(Silo)*4를 통합하기 위해 전사적 협업과 표준화 작업이 요구
- ② **데이터 정확성 및 관리:** 수많은 센서에서 발생하는 데이터를 정확하게 처리하고 분석할 수 있는 체계 필요. 이를 위해 빅데이터 플랫폼과 AI 분석 인프라를 구축하고, 노이즈 제거·보정, 데이터 품질 관리, 보안 강화 등 데이터 거버넌스 체계 구축 필수적
- ③ **사이버 보안 및 기밀성:** 디지털 트윈은 실제 시스템의 모든 정보를 집약하므로 보안 위협에 매우 취약. 항공기·위성 설계 데이터, 제조 공정 조건, 운용 데이터 등 민감한 정보가 플랫폼에 저장·처리되기 때문에, 사이버 공격 시 핵심 지적 자산 유출이나 운영, 시스템 교란 위험이 존재. 특히 국방·우주 산업처럼 기밀 유지가 중요한 분야에서는 클라우드 활용 시 데이터 주권과 해킹 위험에 대한 면밀한 검토가 필요

*1 실제 환경과 매우 유사한 조건을 가상으로 구현해 설계안의 성능을 정밀하게 검증하는 시뮬레이션 기법. 항공우주 산업에서는 열, 압력, 진동 등 복잡한 물리 현상을 반영해 설계 오류를 조기에 발견하고 개발 리스크를 줄이는 데 활용

*2 부품이나 구조물을 실제로 파손될 때까지 시험해 강도, 내구성, 안전성을 평가하는 물리적 시험 방식. 디지털 트윈을 활용하면 이러한 반복적 파괴 시험을 가상 환경에서 대체해 비용과 시간을 절감 가능

*3 제조 실행 시스템으로, 생산 현장에서 작업을 관리·모니터링하는 시스템. 생산 계획, 자재·품질·설비 관리 등을 포함하며, ERP 등 상위 시스템과 연계해 실시간 데이터 수집·분석을 수행

*4 부서 간 정보나 자원이 고립된 상태를 의미. 사일로 현상은 협업 부족과 데이터 단절을 초래해 효율성을 저해

3-4. 항공우주

항공우주의 디지털 트윈 기술 사례

기업명	디지털 트윈 적용 사례
NASA	<ul style="list-style-type: none"> NASA의 제임스 웹 우주망원경은 크기와 구조적 복잡성으로 인해 지상에서 물리 시험을 수행하기 어려운 한계가 존재. 이를 해결하기 위해 디지털 트윈을 활용하여 열환경 시험과 전개 과정을 가상 시뮬레이션으로 수행하고, 차폐막 전개 등 344개 실패 가능 시나리오를 실시간 모니터링하여 위험 요소를 제거 또한 NASA는 디지털 트윈을 미래 미션에 적극 통합하는 디지털 전환 전략을 추진 중. 현재 진행 중인 아르테미스(Artemis) 프로그램에서는 로켓·우주선·지상 관제 시스템을 아우르는 통합 디지털 시뮬레이션 환경을 구축하여, 실제 하드웨어 조립 전 가상 공간에서 상호작용을 종합적으로 테스트 향후에는 우주선뿐 아니라 우주비행사 자체의 디지털 트윈까지 적용할 계획. 유전 정보, 생체 신호, 의료 기록을 통합한 가상 인간 모델을 통해 장기간 우주 비행에서 발생할 건강 문제를 사전에 예측하고 맞춤형 의료 대응을 준비함으로써, 달·화성 유인 탐사에서 방사선 노출, 뼈 밀도 감소 등 다양한 의학적 리스크를 관리하는 데 기여할 전망
한화 에어로스페이스	<ul style="list-style-type: none"> 창원 항공기 엔진 부품 공장은 운영 효율화를 위해 디지털 트윈 기반 모니터링 시스템을 구축하고, 공정·설비·재고·품질 데이터를 IoT 센서를 통해 실시간으로 수집하여 3D 가상공장에 시각화 → 이를 통해 운영자는 공장 상황을 한눈에 파악하고 이상 발생 시 즉각 대응할 수 있어 품질 편차가 감소하고 생산성이 향상 향후에는 AI 분석을 접목해 불량 예측과 무인화 수준의 공장 관리 체계를 구현하는 것을 목표로 함
Boeing	<ul style="list-style-type: none"> 모델 기반 시스템 엔지니어링(MBSE)과 디지털 트윈을 활용해 777X의 항전장치(ADRF)*를 개발 → 초고정밀 가상 모델을 통해 성능을 사전에 검증하여 개발 비용과 시간을 40% 이상 절감하고, 초기 시제품의 품질을 향상 또한 부품 단위부터 기체 전체까지 디지털 라이프사이클을 구축해 설계·제조·정비 데이터를 통합 관리함으로써 전사적 품질 개선을 실현
SpaceX	<ul style="list-style-type: none"> 국제우주정거장(ISS) 왕복 및 유인 임무용 우주선인 드래곤의 실시간 운용을 위해 디지털 트윈을 적용 수백 개 센서 데이터를 활용해 궤도, 자세, 엔진 등 캡슐 상태를 지상에서 실시간 추적하여 비행 중 이상 징후를 즉시 감지 및 대응함으로써 안전성 향상 디지털 시뮬레이션 중심 개발 문화 정착으로 로켓 개발 생산성 50% 향상, 발사 비용 1/10 절감 효과 창출
Airbus	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈 기반의 개발·운용 통합 플랫폼인 Skywise를 구축 → A320과 A350 등 항공기 설계 단계에서 3D 디지털 마스터 모델을 활용해 가상 검증을 수행함으로써 물리적 시제품 없이 개발 속도를 가속화 운용 단계에서는 전 세계 12,000대 항공기를 Skywise 플랫폼에 연결해 실시간 성능 데이터를 디지털 트윈에 반영하고, 이를 기반으로 부품 예지 정비를 실시 → 그 결과, 불시 결함으로 인한 운항 중단 시간을 줄이고 부품 수명을 연장하며, 운용 비용 절감 효과를 달성

* 항공기 전자장비 시스템의 핵심 구성 요소 중 하나로, 항공기 통신·항법·감시 기능을 지원하는 장비

디지털 트윈 적용하여 기술 구현한 사례



NASA의 차세대 우주망원경인 제임스 웹은 빅뱅 이후 초기 우주의 빛 관측, 은하·별·행성 형성 과정 연구, 외계 행성 대기 분석 수행



SpaceX가 개발한 재사용 가능한 우주선으로, 국제우주정거장 왕복 및 화물, 유인 임무 수행이 가능

자료: 각 사, 언론 종합, NASA, SpaceX

3-5. 건설

건설산업에서 디지털 트윈은 어떻게 활용될까?

건설업은 복잡한 프로세스와 높은 불확실성을 지닌 분야로, 프로젝트마다 다양한 공정이 제한된 공간에서 동시에 진행된다. 이러한 특성 때문에 시공 전 모든 작업 환경과 위험 요소를 완벽히 파악하기 어렵고, 준공 후에도 시설의 보수·보강 및 안전진단 등 지속적인 유지관리가 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 핵심 기술로 디지털 트윈이 주목받고 있다.

- 건설 프로젝트는 예산, 일정, 품질 관리 등 다양한 위험 요소를 내포함. 디지털 트윈은 실시간 데이터와 AI 분석을 기반으로 다양한 시나리오를 사전에 테스트하고 최적의 방안을 도출함으로써 위험을 감소시킴
- 예를 들어, 가상 시뮬레이션으로 설계 오류를 미리 잡고, 안전 시나리오 검증으로 사고를 예방함. IoT 센서를 통해 현장을 실시간 모니터링해 공정 지연과 비용 초과를 막기도 함
- 결과적으로 디지털 트윈은 효율성, 안전성, 비용 절감을 동시에 실현하며, 가상 모델을 통해 현장 방문 없이도 실시간 모니터링과 의사결정이 가능하게 함

디지털 트윈은 건설 프로젝트의 기획 → 설계 → 시공 → 운영·유지보수 전 단계에서 다양한 방식으로 활용된다.

- (기획) 사업 시행자나 건물 소유주는 디지털 트윈을 활용해 다양한 설계·비즈니스 시나리오를 검토하고, 투자 대비 효과를 분석하여 의사결정을 최적화
- (설계) 빌딩 정보 모델링(BIM)과 결합해 설계 충돌을 사전에 검토하고, 4D 시뮬레이션으로 공정 계획을 시각화하여 설계 오류를 감소
- (시공) IoT 센서와 드론, 로봇과 연계해 현장 상태를 실시간 모니터링하고, 공정 진척도를 추적
- (운영 및 유지보수) 준공 후에도 디지털 트윈은 가상의 모니터링 플랫폼으로 가능하며, 건물 내부의 온도, 습도, 에너지 소비, 설비 상태를 실시간 감시하고, AI 기반 예측 분석으로 설비 고장 및 유지보수 시점을 사전에 파악해 비용을 절감

건설업 밸류체인에서 디지털 트윈의 활용 및 기대효과

	기획	설계	시공	운영	유지보수
활용	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물 배치, 일조권, 풍향 등을 가상 환경에서 시뮬레이션해 최적의 계획을 도출 	<ul style="list-style-type: none"> • BIM 기반 설계를 디지털 트윈과 연계해 구조, 배관, 전기 등 설계 간섭 검토 • 에너지 성능과 환기시뮬레이션으로 설계 품질을 평가 • 협업 플랫폼에서 관계자 간 실시간 수정과 검토 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 4D 공정 시뮬레이션으로 시공 순서와 자재 투입 최적화 • IoT, 드론, CCTV연계해 현장 상황 실시간으로 반영·분석하고, 공정 간 충돌과 안전 사고 사전 시뮬레이션 	<ul style="list-style-type: none"> • 시설 내 센서 데이터를 기반으로 공조, 조명, 에너지 사용을 실시간 모니터링 • 사용자 움직임과 환경 데이터를 반영해 편의성 및 만족도 제고 	<ul style="list-style-type: none"> • 구조체와 설비 상태를 지속적으로 모니터링해 이상 징후 감지 • 과거 데이터를 기반으로 AI 예지정비 모델 운영 • 모바일과 연동된 디지털 트윈으로 현장 점검 자동화
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> • 개발 계획의 타당성 검토와 투자 효율성 증대 • 환경·사회적 영향 분석으로 사전 리스크 감소 	<ul style="list-style-type: none"> • 설계 변경 최소화 및 충돌 오류 사전 제거 • 건물의 에너지, 공조, 방재 등을 정량적으로 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 공사 기간 단축 및 자재 낭비 최소화 • 현장 실시간 모니터링해 품질 확보하고 안전사고 예방 	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 효율 제고 • 운영 데이터를 기반으로 문제 사전인지 및 조치 • 자동화된 관리 체계 구현 	<ul style="list-style-type: none"> • 시설 고장 사전 예측해 가동 중단 최소화 • 장비 주기 최적화해 유지비용 절감 • 구조물 수명 연장 및 사고 예방

건설산업에서 디지털 트윈 구현에 필요한 핵심 기술은?

건설업에 도입하는 디지털 트윈은 단순한 3D 모델이 아니라, 실제 건설 현장의 데이터를 실시간으로 반영하고 분석해 예측과 최적화를 수행하는 지능형 시스템이다. 이를 구현하기 위해서는 ① BIM(빌딩 정보 모델링), ② IoT(사물인터넷), ③ 빅데이터 및 AI(인공지능) 분석, ④ AR/VR/MR(증강/가상/혼합현실), ⑤ BMS 등의 핵심 기술이 유기적으로 작동해야 한다.

BIM은 정밀한 3D 모델과 건축 정보를 제공해 디지털 트윈의 기반을 마련하고, IoT는 센서를 통해 현장의 실시간 데이터를 수집한다. 이렇게 모인 방대한 데이터는 빅데이터 기술로 저장·처리되며, AI 분석을 통해 예측 유지보수, 에너지 최적화, 공정 개선 등 고도화된 의사결정을 지원한다.

여기에 AR/VR/MR 기술은 BIM 모델을 몰입형으로 시각화하여 설계 검토, 시공 정확도 향상, 유지보수 훈련을 가능하게 하고, BMS(빌딩 관리 시스템)는 건물 내 HVAC, 조명, 전력, 보안 등 주요 설비를 통합 관리하여 디지털 트윈과 연계된 자동 제어와 에너지 효율화를 실현한다.

이러한 핵심 기술은 상호 보완적으로 작동하여, 건설업의 디지털 트윈 완성도를 높이고, 설계-시공-운영 전 주기에서 효율성과 안정성을 혁신하는 핵심 역할을 한다.

건설 디지털 트윈의 핵심 기술 한눈에 보기

	기술	정의	주요 기능	기대 효과
①	BIM	건축물의 물리적·기능적 특성을 3D로 표현하는 정보 모델링 기술	3D 모델링, 설계 데이터 관리, 설계 충돌 검토	설계 오류 감소, 협업 강화, 초기 품질 확보
②	IoT	센서와 네트워크를 통해 물리적 객체에서 데이터를 수집·전송하는 기술	현장 데이터 실시간 수집, 장비·환경 모니터링	공정 지연 방지, 안전성 강화, 실시간 의사결정 지원
③	빅데이터	대규모 데이터를 저장·처리하고 패턴을 분석하는 기술	데이터 통합·분석, 시뮬레이션 기반 의사결정 지원	리스크 예측, 운영 효율성 향상, 데이터 기반 전략 수립
	AI 분석	머신러닝·딥러닝을 활용해 데이터에서 인사이트를 도출하고 예측·최적화를 수행하는 기술	예측 모델링, 자동화 분석, 최적화 알고리즘 적용	유지보수 예측, 에너지 최적화, 비용 절감, 생산성 향상
④	AR/VR/MR	증강·가상·혼합현실 기술로 BIM 모델을 몰입형으로 시각화하고 현장과 연동하는 기술	가상으로 설계 검토, 시공 정확도 향상, 유지보수 훈련	설계 오류 사전 제거, 작업 효율성 향상, 교육 비용 절감
⑤	BMS	건물 내 HVAC, 조명, 전력, 보안 등 설비를 통합 관리하는 시스템	실시간 모니터링, 자동 제어, 에너지 최적화	운영 비용 절감, 쾌적성 향상, 설비 수명 연장

① BIM과 디지털 트윈

BIM(Building Information Modeling, 빌딩 정보 모델링)은 건축물의 물리적·기능적 특성을 3D 모델로 표현하고 관련 속성 데이터를 통합 관리하는 기술이다. 기존의 2D CAD나 단순 3D 모델링과 달리, BIM은 구조 부재, 설비, 자재, 비용, 일정 등 프로젝트 전 과정의 정보를 포함해 설계·시공·운영 단계에서 활용되는 디지털 자산 데이터베이스 역할을 한다.

이러한 BIM은 디지털 트윈에서 현실과 가상 모델을 연결하는 핵심 데이터 허브로, 설계부터 운영까지 전 주기에 걸쳐 다양한 기능을 수행한다. 특히, 디지털 트윈 구축 시 BIM은 정밀한 디지털 복제 모델 제공, 데이터 연계 및 실시간 동기화, 예측 기반 의사결정 지원을 담당하게 된다.

디지털 트윈에서 BIM 역할

구분	주요 역할	적용 사례
정밀한 디지털 복제 모델 제공	<ul style="list-style-type: none"> BIM은 건축물의 구조, 설비, 자재, 비용 등 물리적·기능적 정보를 모두 포함한 3차원 모델을 제공함 이 모델은 디지털 트윈 뼈대가 되어, 현실 자산을 가상 공간에 정확히 재현하고, 설계 변경이나 시공 간섭을 사전에 검토할 수 있게 함 	<ul style="list-style-type: none"> 현대건설은 카타르 국립박물관 프로젝트에서 BIM을 활용해 설계 오류를 사전에 발견하고, 복잡한 곡선 구조물의 시공 리스크를 최소화
데이터 연계 및 실시간 동기화	<ul style="list-style-type: none"> BIM은 IoT 센서, AI 분석, BMS 시스템과 연계되어 실시간 데이터를 반영하는 디지털 트윈 플랫폼의 중심 역할을 함 이를 통해 건물의 상태, 에너지 사용량, 설비 가동 현황이 BIM 모델에 실시간으로 업데이트되며, 가상 모델과 현실 세계 간의 동기화가 이루어짐 	<ul style="list-style-type: none"> 네이버는 제2사옥 1784에서 BIM 기반 디지털 트윈과 IoT, BMS를 통합해 스마트 빌딩 운영을 구현함. 5G 특화망과 클라우드 기반으로 로봇, HVAC, 조명, 보안 시스템을 BIM 모델과 연계했으며, 실시간 데이터 기반으로 공간별 에너지 최적화, 로봇 자율주행 경로 자동 조정하고 있음. 또한, 긴급 상황 시 BIM-디지털 트윈 연동으로 화재 모드 전환 및 대피 안내 자동화 진행함
예측 기반 의사결정 지원	<ul style="list-style-type: none"> BIM 기반 디지털 트윈은 단순한 시각화에 그치지 않고, AI-머신러닝과 결합해 예측 유지보수, 공정 최적화, 에너지 효율 분석을 가능하게 함 이를 통해 운영자는 설비 고장을 사전에 예방하고, 공사 일정과 비용을 최적화함 	<ul style="list-style-type: none"> Robert Bird Group은 BIM과 4D 시뮬레이션을 결합한 자사의 Reveal 플랫폼을 활용해 호주 시드니의 70층 초고층 빌딩 One Sydney Harbour의 디지털 트윈을 구축함. 이를 통해 시공 순서를 최적화하고, 설계 변경 의사결정 속도를 향상시켜 공사 기간을 단축하고 비용 초과를 방지함



Robert Bird Group의 BIM·4D 시뮬레이션 플랫폼인 Reveal은 클라우드 기반으로 설계·시공을 실시간 탐색·분석·시뮬레이션해 공정 충돌을 예방하고 의사결정을 가속화함

자료: Robert Bird Group, 언론종합

② IoT와 디지털 트윈

IoT(사물인터넷)는 센서와 네트워크를 통해 물리적 객체에서 데이터를 수집·전송하는 기술이다. 건설 현장에서는 장비, 자재, 환경, 작업자 등에 센서를 부착해 실시간 상태 데이터를 확보하고, 이를 디지털 트윈과 연계해 현실(예, 실제 건물)과 가상 객체(예, 실제 건물의 가상 모델) 간 동기화를 실현한다.

특히, 디지털 트윈에서 IoT는 현실 세계의 데이터를 실시간으로 수집하고 BIM 모델과 연계해 상황 인식, 자동화 제어, 예측 분석을 가능하게 하는 핵심 엔진으로, 이를 통해 안전성 강화, 공정 효율화, 에너지 최적화를 지원한다.

디지털 트윈에서 IoT 역할

구분	주요 역할 및 사례	예시
실시간 데이터 수집 및 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> IoT는 건설 현장과 건물 운영 단계에서 온도, 습도, 진동, 에너지 사용량, 장비 가동 상태 등 다양한 데이터를 실시간으로 수집함 이 데이터는 BIM 기반 디지털 트윈 모델에 반영되어 현실 세계의 상태를 가상 모델에 즉시 업데이트함 	<ul style="list-style-type: none"> Trimble: 토공·포장·말뚝 작업용 IoT 기반 기계 제어 시스템 설치 → 장비 위치·작업 정확도 향상, 연료 절감 EquipmentShare: RFID*1 태그 기반 중장비 추적 → 장비 가동률 분석, 도난 방지
안전 관리 및 작업자 보호	<ul style="list-style-type: none"> IoT 웨어러블 기기는 작업자의 위치, 활동 상태, 생체 신호를 모니터링하고, 낙상·조난 상황을 감지해 즉시 경보를 발령함 이를 통해 현장 안전성을 강화하고, 사고 발생 시 골든타임 내 대응이 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> SolePower: 스마트 부츠에 GPS*2, RFID, IMU*3 센서 탑재 → 작업자 위치·활동 모니터링, 낙상 감지 Triax: Spot-r Clip으로 작업자 위치 추적 및 비상 상황 알림 → 안전사고 대응 속도 향상
예측 기반 운영 및 에너지 최적화	<ul style="list-style-type: none"> IoT는 BMS(빌딩 관리 시스템)와 연계해 HVAC, 조명, 전력 사용을 자동 제어하고, AI 분석과 결합해 설비 고장 예측, 에너지 효율 최적화를 지원 	<ul style="list-style-type: none"> Brookfield: IoT 센서로 HVAC·조명·보안 데이터 수집 → 에너지 비용 20~30% 절감

*1 RFID(Radio Frequency Identification): 무선 주파수를 활용해 태그와 리더 간 데이터를 송수신하여 자산이나 장비를 식별·추적하는 기술

*2 GPS(Global Positioning System): 위성 신호를 이용해 장비나 작업자의 위치를 실시간으로 측정하는 기술

*3 IMU(Inertial Measurement Unit): 가속도계와 자이로스코프를 이용해 이동체의 속도, 가속도, 방향을 측정하는 센서 장치



Triax의 Spot-r Clip은 IoT 기반 웨어러블 장치로, 작업복에 부착되어 작업자의 위치와 활동 데이터를 실시간으로 수집하고 디지털 트윈에 반영함.

이를 통해 낙상이나 조난 등 위험 상황을 즉시 감지하고 경보를 발령해, 현장 관리자가 신속하게 대응할 수 있도록 지원하며, 네트워크 기반으로 추가 센서나 CCTV와 연계해 안전 모니터링을 강화할 수 있음.

자료: Triax, 언론종합

③ 빅데이터 & AI 분석과 디지털 트윈

디지털 트윈에서는 실시간으로 쏟아지는 방대한 데이터를 의미 있는 정보로 전환하기 위해 빅데이터와 AI 분석 기술이 핵심적으로 활용된다. 빅데이터 플랫폼은 IoT 센서, 장비, 사용자로부터 수집된 정형·비정형 데이터를 저장·관리하고, 분산 처리 기술로 빠르게 분석한다. 이후 AI 기법을 적용해 패턴과 이상치를 탐지하고, 설비 고장·공정 지연·에너지 사용량 등 향후 상황을 예측하여, 설계·시공·운영 단계에서 데이터 기반 의사결정을 지원한다.

건설 디지털 트윈에서 빅데이터와 AI 분석 기술을 사용한 사례는 다음과 같다.

- Brookfield: One Manhattan West 빌딩의 실시간 데이터를 AI로 설비 고장을 예측해 다운타임을 40% 줄이고, 에너지 비용을 20~30% 절감
- Siemens 스마트 오피스: HVAC 부하를 AI로 예측해 에너지 비용을 15~25% 절감

④ AR/VR/MR과 디지털 트윈

디지털 트윈에서는 AR(증강현실), VR(가상현실), MR(혼합현실) 기술이 BIM 모델을 몰입형으로 시각화하여 설계 검토, 시공 정합, 유지보수 훈련을 지원한다. 이를 통해 이해관계자는 가상 환경에서 설계안을 검토하고, 시공 단계에서는 AR로 현장에 BIM 모델을 중첩해 정확도를 높이며, 운영 단계에서는 MR로 설비 상태를 실시간 확인하고 원격 지원을 받을 수 있다. 이러한 기술은 설계 오류 사전 제거, 재작업 감소, 교육 효율 향상에 기여한다.

건설 디지털 트윈에서 AR/VR/MR 기술을 활용한 사례는 다음과 같다.

- One Sydney Harbour: VR 기반 설계 검토로 고객 의사결정 속도 향상
- AECOM: MR로 유지보수 훈련을 진행해 작업 효율 향상

⑤ BMS와 디지털 트윈

BMS(빌딩 관리 시스템)는 건물 내 HVAC(난방·환기·냉방), 조명, 전력, 보안 등 주요 설비를 통합 관리하는 시스템이다. 기존에는 단순 모니터링과 제어에 그쳤지만, 디지털 트윈과 결합하면서 실시간 데이터 연계, 자동화 제어, 시뮬레이션 기반 운영 최적화가 가능해졌다. 이를 통해 건물의 생애주기 전반에서 에너지 효율 향상, 운영비 절감, 쾌적성 개선을 실현한다.

건설 디지털 트윈에서 BMS를 활용한 사례는 다음과 같다.

- 네이버 1784: BMS와 IoT, AI를 연계해 공간별 에너지 사용을 최적화하고, 실시간 환경 제어를 구현
- One Manhattan West: BMS 데이터를 디지털 트윈에 통합해 HVAC·조명 자동 제어, 에너지 비용 절감

3-5. 건설

건설산업에서의 디지털 트윈 기술 사례: 해외

국내에서는 주로 단기 프로젝트의 시공 품질 확보 및 안전 관리에 초점이 맞춰져 있는 반면, 해외는 운영 단계까지 확장된 생애주기 기반 전략을 통해 다양한 도메인에서 디지털 트윈을 적극 활용하고 있다.

기업명	디지털 트윈 기술 사례
Turner (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 샌프란시스코의 세일즈포스 타워 프로젝트에서 디지털 트윈 기반의 3D·4D 모델을 적용해 자재와 장비의 동선을 시뮬레이션 이를 통해 공정 충돌, 자재 대기 시간, 장비 효율성 등 다양한 요소를 분석하고, 현장배치를 최적화하여 지연 요인을 제거 그 결과, 약 1,500만 달러의 비용을 절감하고 무사고를 달성했으며, 고객·설계사·감리기관 간 실시간 협업 진행
Skanska (스웨덴)	<ul style="list-style-type: none"> 스톡홀름 지하철 프로젝트에서 BIM과 디지털 트윈을 결합해 시공 진행 상황을 실시간으로 확인할 수 있도록 구현 또한 3D 모델 기반 공정 시뮬레이션을 통해 시공 중 발생할 수 있는 충돌과 재작업을 방지하고, 시공 간섭을 최소화 더불어 디지털 플랫폼을 활용해 발주처, 감리, 협력업체 간 의견을 실시간으로 공유함으로써 대응 시간을 단축
Landlease (호주)	<ul style="list-style-type: none"> One Sydney Harbour 프로젝트에서 실시간 3D 시뮬레이션 플랫폼인 Unity를 활용해 디지털 트윈 모델을 구축하고, 4D 시공 시뮬레이션을 제공 이를 통해 공정별 시간 흐름과 실제 구조물을 가상으로 중첩해 설계 변경 사항을 실시간으로 반영 또한, 건축주, 디자이너, 엔지니어가 동일한 3D 환경에서 협업함으로써 설계 오류와 이해 관계자 간 갈등을 최소화
Royal BAM Group (네덜란드)	<ul style="list-style-type: none"> 도로, 터널, 병원 등 다양한 시설에 BIM과 센서를 결합한 디지털 트윈을 도입해 상태 변화를 실시간으로 추적 설계 도면이 아닌 실제 사용 환경을 반영한 트윈 모델을 기반으로 시공 중 설계 변경 사항을 자동으로 적용할 수 있었으며, 유지보수와 안전 진단 업무를 트윈 플랫폼에서 통합 관리함으로써 프로젝트 생애주기 전 과정을 명확하게 파악하고 관리
Balfour Beatty (영국)	<ul style="list-style-type: none"> 자회사인 Guildhawk는 AI와 대용량 데이터 저장소(데이터 레이크)를 활용해 매뉴얼과 도면 같은 문서 정보를 디지털 트윈으로 변환해 건물 운영 절차의 자동화를 확대 또한 디지털 트윈 플랫폼을 통해 안전한 유지보수, 에너지 절약, 데이터 기반 서비스 개선을 구현했으며, AI 아바타를 활용한 훈련 시스템을 도입해 작업자 교육 효율을 높이고 운영의 일관성을 확보
BESIX (벨기에)	<ul style="list-style-type: none"> 통신 및 디지털 서비스 기업인 Proximus와 함께 스마트 빌딩에 디지털 트윈을 도입해 에너지 효율을 높이고, 실내 환경을 쾌적하게 유지하며, 보안 수준을 강화 네덜란드 도르드레흐트(Dordrecht)에서 첫 스마트 빌딩을 시범 운영하며 실시간 데이터 기반의 시설 모니터링을 구현 또한 국제 BIM 표준(ISO) 인증을 준수해 디지털 시공 품질을 관리하고, 설계의 정확성을 확보하는 데 기여
Akselos (스위스)	<ul style="list-style-type: none"> 자체 시뮬레이션 플랫폼을 활용해 원자로, 선박, 풍력 터빈 등 다양한 인프라의 정밀한 구조 분석을 기반으로 디지털 트윈 모델을 구축 실제 운영 데이터를 반영해 설비 상태를 예측하고, 정비 시기를 미리 파악하며, 수명을 연장하기 위한 전략을 수립할 수 있도록 지원 또한 범용 플랫폼을 통해 글로벌 인프라 사업 전반에 디지털 트윈 솔루션을 확산

자료: 각 사, 언론종합

3-5. 건설

건설산업에서의 디지털 트윈 기술 사례: 국내

국내 건설사들은 디지털 트윈 기술을 적극 도입해 현장 효율성, 안전성, 공간 활용성을 높이며 건설업계의 디지털 전환 속도를 높여 나가고 있다.

기업명	디지털 트윈 기술 사례
삼성물산	<ul style="list-style-type: none"> 부산광역시 에코델타시티(EDC)의 스마트빌리지 건설에 디지털 트윈 기술을 적극 도입 드론으로 촬영한 2D 현장 이미지를 3D로 변환해 외부 구조뿐만 아니라 내부 인테리어 구성까지 시뮬레이션하는 방식을 채택 최적의 공간 동선을 설계하고, 공간 활용도를 극대화하여 입주민에게 높은 공간 관리 편의성 제공 주거단지의 물리적 공간을 가상으로 구현하여 설계 및 시공 과정에서의 효율성을 극대화
현대건설	<ul style="list-style-type: none"> GTX-C 노선 및 양재역 구간에 디지털 트윈을 활용해 지하구조물 충돌 위험을 사전에 검토하고 선형 최적화 BIM 모델을 활용한 시공 전 시뮬레이션으로, 굴착 단계의 위험도 예측 및 대안 시공 방안 비교 가능 유지관리 단계에서는 설비 배치, 공조 흐름 등을 트윈으로 시각화해 점검 및 보수 시뮬레이션 수행
GS건설	<ul style="list-style-type: none"> CupixWorks 솔루션*을 활용해 매주 공정별 영상을 촬영하고, 위치-시간 데이터를 자동으로 연동하여 프로젝트 전 과정을 기록 → 이를 통해 기존의 수기 보고서 및 사진 관리 방식 대비 정확성과 추적성이 크게 향상되며, 준공 이후 하자보수 기록 자료로도 활용 또한 클라우드 기반 공유 기능을 통해 협력사, 감리 등 이해관계자가 진행 상황을 직관적으로 확인
포스코 이앤씨	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 안전 관리 시스템을 통해 디지털 트윈 기술을 현장 안전 분야에 접목 → 대표적인 사례로는 스마트폰, 드론, CCTV, 센서를 통합한 '스마트 상황판' 스타트 상황판 시스템은 작업자가 위험 지역에 접근할 경우 착용 장비를 통해 경고를 전달하고, 동시에 관리자가 3D 모델에서 위험 위치를 즉시 확인할 수 있도록 지원 하며, 사고 발생 가능성을 분석해 작업 공정 변경을 제안함으로써 사고 발생률을 낮추고, 안전 보증 인증 획득에도 기여
DL이앤씨	<ul style="list-style-type: none"> 남해-여수 해저터널 건설 프로젝트에 BIM과 지리정보체계(GIS) 데이터를 활용한 설계 자동화 기술 적용 해당 기술은 해저 지반 조건을 시로 정밀 분석해 최적의 터널 선형을 탐색하고, 이를 기반으로 발파 설계를 자동으로 수행. 또한 BIM 모델과 연동된 디지털 트윈 상에서 다양한 시공 시나리오를 시뮬레이션하여 설계안의 안정성과 경제성을 검토 그 결과, 기존 수작업 기반 발파 설계 대비 정확도가 향상되고 전체 설계 기간이 30% 이상 단축되며, 설계 인력 의존도 역시 감소
LX한국 국토정보 공사	<ul style="list-style-type: none"> 국토·도시 문제 해결을 위해 전주시 전역에 3D 지도와 공간정보 융합 기반의 디지털 트윈 모델을 구축하고, 실시간으로 하천·도로·건축물을 모니터링하는 시스템을 구현 이를 통해 교통, 소방, 재난 예측, 환경 분석 등 10개 행정 서비스에 디지털 트윈을 접목하여 정책 수립의 효율성을 높이고 응급 대응 시간을 단축 또한 남해, 기장, 완주 등 지자체로의 확산을 추진 중이며, 공공 인프라 디지털 트윈 구축의 표준 모델 및 플랫폼 역할을 수행

* AI 기반 4D 디지털 트윈 플랫폼으로, 건설 현장을 360° 카메라 영상만으로 손쉽게 디지털화할 수 있는 솔루션
 자료: 각 사, 언론종합

스마트 시티에서 디지털 트윈은 어떻게 사용될까?

스마트 시티(Smart City)는 첨단 정보통신기술(ICT)을 활용해 도시 생활에서 발생하는 교통, 환경, 주거, 시설 비효율 등의 문제를 해결하여 시민이 편리하고 쾌적한 삶을 누릴 수 있게 설계·운영되는 도시를 의미한다.

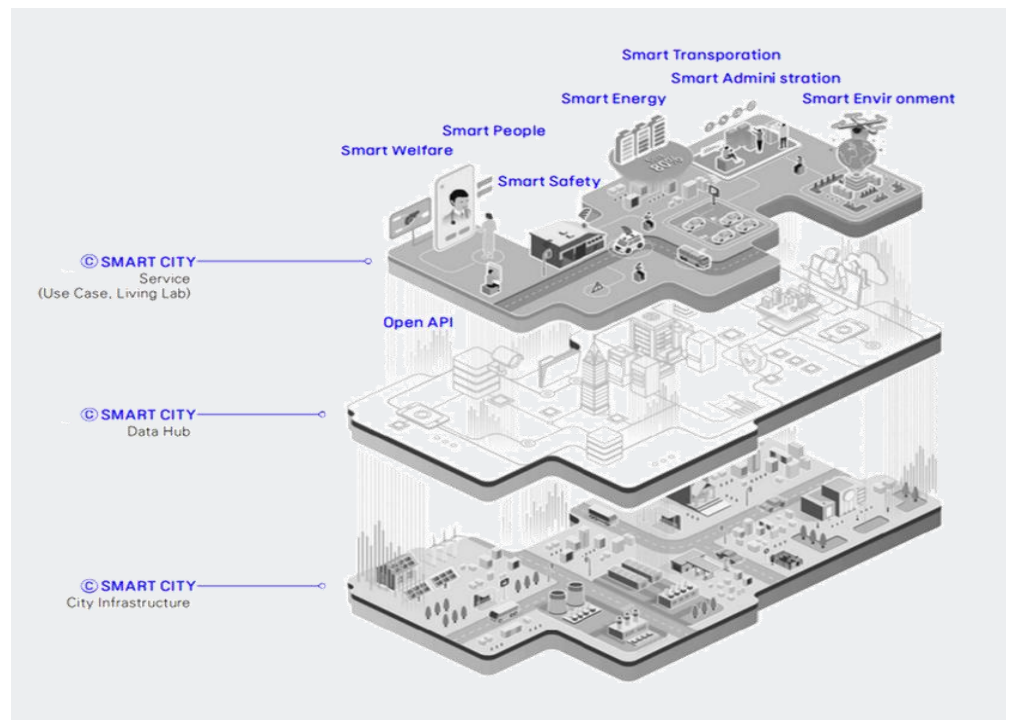
스마트 시티의 핵심은 현실 세계의 복잡성을 가상공간에 정밀 복제하고, 실시간(또는 준실시간) 데이터로 상태를 추적하며, 각종 시나리오를 사전에 시험·검증하는 것이다. 디지털 트윈은 바로 이 기능을 제공한다.

디지털 트윈은 스마트시티 상에서 1) 협업 플랫폼, 2) 운영 플랫폼, 3) 예측 플랫폼의 역할을 수행한다.

- **협업 플랫폼:** 도시계획과 구축 단계에서 시민, 공공기관, 민간 기업 등 다양한 이해관계자가 동일한 가상공간에서 의견을 제시하고 반영할 수 있도록 지원 → 이를 통해 계획안의 시뮬레이션과 영향 분석을 사전에 수행하고, 갈등을 줄이며 의사결정의 투명성을 제고
- **운영 플랫폼:** IoT 기술을 기반으로 도시 전역의 시설과 인프라에서 발생하는 데이터를 실시간으로 수집·연계·유통 → 이를 통해 교통, 에너지, 환경, 안전 등 다양한 분야의 상황을 모니터링하고, 필요 시 원격 제어까지 수행
- **예측 플랫폼:** 빅데이터와 AI 기술을 활용해 도시에서 발생할 수 있는 다양한 상황을 분석하고 미래 예측 → 이를 통해 교통 혼잡, 에너지 수요, 설비 고장 등 문제를 사전에 파악하고, 정책이나 운영 방안을 시뮬레이션으로 검증

즉, 디지털 트윈은 스마트시티에서 계획 단계의 협업, 운영 단계의 통합 관리, 발전 단계의 예측과 최적화를 가능하게 하는 핵심 기술로, 도시를 더 안전하고 효율적으로 만들고 시민의 삶의 질을 높이는 데 중요한 역할을 한다.

디지털 트윈 기반 스마트시티 개념도



자료: 국토교통부 스마트시티 혁신성장동력 사업단

스마트 시티에서의 디지털 트윈 적용 영역은?

과거의 스마트시티는 주로 도로, 교통, 통신망 등 물리적 인프라 구축에 초점을 맞췄다. 그러나 현재의 스마트시티는 한 단계 더 나아가, 첨단 기술을 기반으로 도시 인프라와 데이터 플랫폼을 통합하고, 이를 통해 실시간 데이터 수집·분석·관리가 가능한 체계로 발전하고 있다.

이 변화의 중심에는 디지털 트윈 기술이 있으며, 디지털 트윈은 도시 내 물리적 인프라를 가상 공간에 실시간으로 복제하여, 도시의 상태를 정밀하게 모니터링하고 관리할 수 있도록 한다. 이를 통해 도시 전체의 설계, 시공, 유지보수를 가상 환경에서 시뮬레이션하고, 다양한 시나리오를 사전에 검증할 수 있다.

결과적으로, 디지털 트윈은 스마트시티에서 다음과 같은 영역에 적용되어 활용되고 있다.

적용 영역	내용
도시계획 및 설계 최적화	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈은 도시계획 단계에서 가상 모델을 활용한 영향 분석을 가능하게 함 교통 혼잡, 환경 변화, 에너지 수요 등 다양한 시나리오를 사전에 시뮬레이션하여 계획의 타당성을 검증할 수 있으며, 이해관계자가 동일한 3D 환경에서 의견을 공유함으로써 참여형 의사결정을 촉진하고, 설계 변경에 따른 비용과 갈등을 최소화시킴
인프라 운영 및 유지보수 효율화	<ul style="list-style-type: none"> IoT 센서와 연계된 디지털 트윈은 도시 인프라의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 이상 징후를 조기에 감지함. 이를 기반으로 예지보전(Predictive Maintenance)을 수행하여 설비 고장과 사고를 예방하고, 유지보수 비용을 절감할 수 있음 예를 들어, 교량이나 전력망의 상태 데이터를 분석해 위험 요소를 사전에 파악하고 대응 계획을 수립할 수 있음
재난·안전 관리 강화	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈은 재난 상황에서 위기 대응 시뮬레이션을 통해 의사결정의 신속성과 정확성을 높임 폭우로 인한 침수, 화재, 정전 등 긴급 상황을 가상 환경에서 재현하고, 자원 배분과 대응 경로를 최적화함으로써 피해를 최소화할 수 있음
정책 및 서비스 시뮬레이션	<ul style="list-style-type: none"> 교통 정책, 에너지 절감 전략 등 다양한 정책을 시행하기 전에 디지털 트윈을 활용해 효과를 사전 검증할 수 있음 예를 들어, 혼잡 통행료 도입 시 교통량 변화나 대중교통 배차 전략의 효율성을 가상 실험을 통해 분석함으로써 정책의 성공 가능성을 높임
에너지 관리	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈은 건물 및 지역 단위의 에너지 사용 데이터를 실시간으로 수집·분석하여 소비 패턴을 시각화하고, 효율적인 운영 전략을 도출함 → 이를 통해 탄소 배출 저감 목표를 설정하고, 다양한 절감 시나리오를 가상 환경에서 검증 예를 들어, 냉난방 부하 조정이나 재생에너지 활용 비율을 시뮬레이션하여 최적의 에너지 관리 방안 제시함
환경 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> 대기질, 소음, 온실가스 등 환경 데이터를 IoT 센서와 연계해 실시간으로 추적하고, 디지털 트윈 상에서 공간적·시간적 변화를 분석함 → 이를 통해 특정 지역의 오염 원인을 파악하고, 정책 효과를 사전에 검증 예를 들어, 교통량 감소 정책이 미세먼지 농도에 미치는 영향을 시뮬레이션하여 환경 개선 전략을 최적화할 수 있음
스마트 모빌리티	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈은 교통 흐름과 차량 이동 데이터를 기반으로 자율주행차 경로를 최적화하고, 혼잡 구간을 사전에 예측함 → 이를 통해 교통 체증을 완화하고, 대중교통 배차 효율 제고 예를 들어, 출퇴근 시간대 교통량을 분석해 우회 경로를 제안하거나, 자율주행차의 안전 운행을 위한 시뮬레이션을 수행함

스마트 시티의 디지털 트윈 활용 사례: 해외

국가	내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> • Open Mobility Foundation은 도시 교통 시스템의 안전하고 효율적인 실시간 관리 및 시뮬레이션을 위한 디지털 트윈 개발 추진 중임 • Smart America는 도로 교통 시스템의 디지털 트윈화를 통한 여정 시간 단축, 안전성 향상, 도로 혼잡도 감소, 도로 시스템 성능을 개선함 • 보스턴에서는 Withrop Square Tower 건설 과정에서 Boston Planning Development Agency의 디지털 트윈 시뮬레이션 활용을 통한 주변 공원 일조권 영향 분석을 실시함 • 미시간 주 Ontwa에서는 폐수관 유지보수를 위한 디지털 트윈 기반 실시간 정보 업데이트 및 작업 흐름 투명성 강화함
영국	<ul style="list-style-type: none"> • 영국은 도시 단위를 넘어 국가 인프라의 디지털 트윈 구현 추진하고 있음 • 이에 따라, 영국 국가인프라위원회(British National Infrastructure Commission)는 데이터 공유와 디지털 트윈 필요성 강조 및 '국가 디지털 트윈 (National Digital Twin)' 개념을 제시함 • 국가 디지털 트윈의 목표는 국가 인프라 성능·서비스·가치 향상을 통한 사회·기업·환경·경제 전반의 혜택 제공하는 것임
핀란드	<ul style="list-style-type: none"> • 핀란드는 수도 헬싱키를 대상으로 가상현실(VR) 기반 디지털 트윈 구축 프로젝트를 추진하여, 이를 관광, 쇼핑, 교육·훈련, 콘서트, 시뮬레이션, 가상 시민권 서비스 등 다양한 분야에 활용하고 있음. 이러한 접근은 도시를 단순히 물리적 공간이 아닌 디지털 경험 플랫폼으로 확장함으로써, 시민과 방문객에게 새로운 형태의 서비스와 참여 기회를 제공하는 것을 목표로 함 • 또한, 헬싱키의 칼라사타마(Kalasadama) 지역에서는 도시 환경 개선과 지속가능성 확보를 위해 디지털 트윈을 도입함. 이를 통해 도시 전체의 라이프사이클 (설계-테스트-적용-운영)을 가상 환경에서 시뮬레이션하고, 실제 정책과 서비스에 반영함으로써 도시 운영의 효율성과 시민 만족도 향상을 동시에 추구하고 있음
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 중국은 항저우를 시작으로 알리바바(Alibaba) 클라우드 기반의 'ET City Brain' 플랫폼을 다수의 도시에 적용하고 있음. ET City Brain은 도시 인프라의 효율적 관리와 복잡한 도시 문제 해결을 목표로, 디지털 트윈, IoT, AI 등 첨단 기술을 통합한 스마트시티 운영 플랫폼임 • 이 플랫폼은 교통 흐름 최적화, 긴급 상황 대응, 공공 안전 강화 등 다양한 기능을 제공하며, 실시간 데이터 분석을 통해 교통 혼잡 완화, 사고 예방, 에너지 효율 향상과 같은 가시적 성과를 창출하고 있음
인도	<ul style="list-style-type: none"> • 인도는 100개 스마트시티 개발을 목표로 약 33조 원 규모의 자금을 투자하고 있으며, 이 프로젝트는 도시 인프라 현대화와 디지털 기반 도시 운영 체계 구축을 핵심 목표로 하고 있음 • 특히, 안드라프라데시 주의 아마라바티(Amaravati)는 대표적인 사례로, 디지털 트윈 구현을 위해 약 65억 달러를 투자함. 이를 통해 도시 설계, 교통 관리, 에너지 효율화, 공공 서비스 개선 등 다양한 분야에서 데이터 기반의 시뮬레이션과 최적화 전략을 적용하고 있음
싱가포르	<ul style="list-style-type: none"> • Virtual Singapore를 통해 국가 단위 3D 디지털 트윈을 구축해 도시계획, 재난 대응, 환경 분석 등 정책 시뮬레이션에 활용하고 있음 • OneMap3D는 국가 공식 3D 지도 플랫폼으로 실시간 데이터 기반 서비스를 제공하며, Open Digital Platform(ODP)는 푸동골 디지털 디스트릭트에서 에너지·물류·자산 운영을 최적화함

자료: 언론종합

04

디지털 트윈 생태계: 공급 측면

특화 솔루션 제공업체 및 컨설팅

센서 및 IoT
기술
제공업체



물리적 객체

기술 플랫폼 제공업체



가상 객체

소프트웨어
제공업체

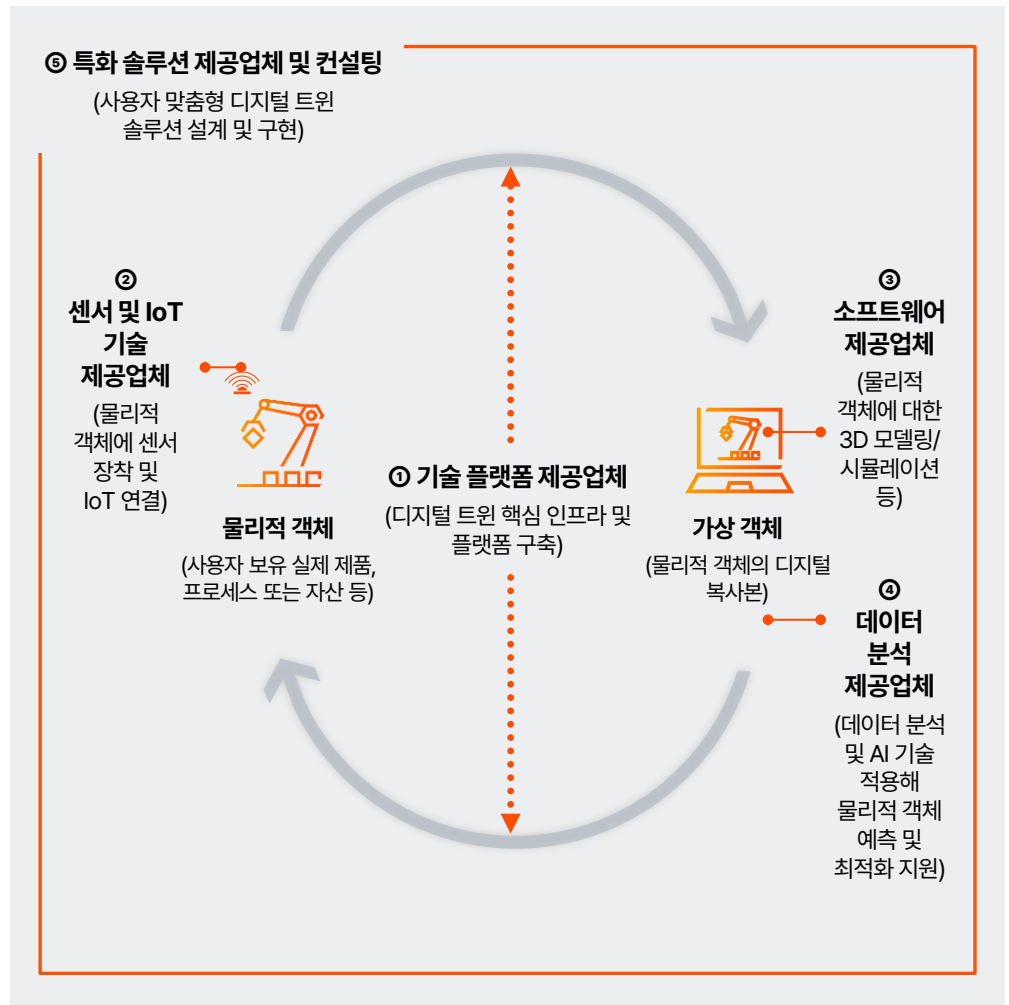
데이터 분석
제공업체

디지털 트윈 공급자 지형(Supplier Landscape)

공급자 측면에서 디지털 트윈 비즈니스 생태계는 아래와 같이 크게 5가지 유형으로 구분할 수 있다.

- ① **기술 플랫폼 제공업체:** 핵심 소프트웨어와 하드웨어 인프라를 제공하여 디지털 트윈 구현. 일반적으로 클라우드 플랫폼 및 IoT 솔루션을 구축하여 사용자가 실시간 데이터 수집과 분석이 가능함
- ② **센서 및 IoT 기술 제공업체:** 시스템이나 장비 등 실시간 데이터가 필요한 물리적 객체에 센서와 IoT 기술을 연결하는 솔루션을 제공함. 이를 통해 다양한 물리적 객체로부터 데이터를 수집하고, 이를 디지털 시스템으로 전송함으로써 실시간 모니터링과 제어가 가능함
- ③ **소프트웨어 제공업체:** 3D 모델링 및 시뮬레이션을 위한 소프트웨어를 제공함. 물리적 객체를 가상 객체로 시각화하는 소프트웨어 제공을 통해 다양한 산업에서 설계, 분석, 관리가 가능함
- ④ **데이터 분석 제공업체:** 고급 데이터 분석 및 AI 기술을 제공함. 디지털 트윈이 더 나은 예측과 최적화 기능 수행할 수 있도록 지원함
- ⑤ **특화 솔루션 제공업체 및 컨설팅:** 특정 산업 또는 기능에 특화된 솔루션을 설계하고 구현할 뿐 아니라, 고객 맞춤형 디지털 트윈 구축 전략 및 구현을 지원함

디지털 트윈 공급 지형



자료: 언론종합

① 기술 플랫폼 제공업체

기술 플랫폼 제공업체는 사용자가 디지털 트윈을 구축하고 운영할 수 있도록 종합적인 환경을 플랫폼 형태로 제공한다. 주로, 클라우드 컴퓨팅과 IoT 기능을 결합한 플랫폼을 구축하여, 물리적 객체에서 실시간으로 생성되는 데이터를 안정적이고 빠르게 저장하고 처리할 수 있는 환경을 조성한다.

- 클라우드 컴퓨팅 기능 및 역할: 대량의 데이터를 안정적으로 저장하고, 고속으로 처리할 수 있는 환경을 제공할 뿐 아니라, 데이터 보안과 컴퓨팅 파워와 네트워크 자원을 용도에 맞게 사용할 수 있도록 기능
 - IoT 기능 및 역할: 물리적 객체에 장착된 센서와 IoT 기기 연결을 지원하여 실시간으로 필요한 데이터를 수집할 수 있는 환경을 조성하고, 서로 다른 장치와 원활하게 통신할 수 있도록 해 수집된 데이터를 적시에 클라우드로 전송하고 처리할 수 있도록 기능
- 두 개의 기능을 결합하여, 디지털 트윈의 구축과 운영에 필요한 모든 기술적 요구를 충족시키는 통합 솔루션을 제공함

기술 플랫폼 대표 기업 및 제공 기술

기업명	제공 기술
Microsoft	<ul style="list-style-type: none"> • (기술명) Azure Digital Twins • (기술 특징) 건물, 공장, 에너지 그리드 등 전체 환경(전체 도시)의 디지털 모델을 기반으로 트윈 그래프를 생성할 수 있는 PaaS(Platform as a Service)*1로, 물리적 객체의 실시간 모니터링과 분석을 위한 환경 제공. 이와 더불어 Azure IoT Hub*2를 통해 물리적 객체의 데이터를 원활히 수집하고 관리할 수 있도록 하며, AI 및 머신러닝 기술 통합시켜 예측 분석과 운영 효율성을 제고
Siemens	<ul style="list-style-type: none"> • (기술명) MindSphere • (기술 특징) 클라우드 기반 개방형 IoT 플랫폼으로, 다양한 제조 장비와의 원활한 연결과 실시간 데이터 통합 기반을 제공 → MindSphere를 통해 하나의 중심 위치에서 물리적 객체와 웹 시스템, 엔터프라이즈 기반 시스템 연결이 가능하며, 강력한 데이터 분석과 시각화를 할 수 있는 환경 제공
Amazon Web Services	<ul style="list-style-type: none"> • (기술명) AWS IoT TwinMaker • (기술 특징) 물리적 객체의 디지털 복제본인 디지털 트윈을 쉽게 구축할 수 있도록 지원하는 플랫폼 → 물리적 객체의 가상 객체화, 기존 3D 모델을 실제 데이터와 결합하는 등의 디지털 트윈 구축에 필요한 도구 제공
PTC	<ul style="list-style-type: none"> • (기술명) ThingWorx • (기술 특징) IIoT 플랫폼*3으로, 제조업체들이 시스템의 성능과 효율성을 관리하고 향상시키는데 초점을 맞춰, 디지털 트윈 구현에 필요한 물리적 자산 연결, IoT 구축, 분석 환경 마련, 중앙 집중식 장치 관리 등을 제공

*1 클라우드 컴퓨팅 서비스의 한 종류로, 애플리케이션 구축, 실행 및 관리하는 데 필요한 플랫폼을 제공하는 서비스
 *2 Microsoft에서 제공하는 클라우드 플랫폼인 Azure의 서비스 중 하나로, 다양한 IoT 장치들(예, 센서, 스마트 기기 등)이 클라우드에 데이터를 보낼 수 있도록 중개 역할을 하는 서비스
 *3 산업용 사물 인터넷(Industrial Internet of Things)
 자료: 각 사, 언론 종합

② 센서 및 IoT 기술 제공업체

센서 및 IoT 기술 제공업체는 디지털 트윈이 작동하는 데 필요한 핵심 기술 기반을 제공한다. 이들은 센서 및 IoT 연결을 통해 물리적 객체의 상태 변화나 동작을 지속적으로 감지하고, 이를 정량화된 데이터로 수집·전송함으로써 가상 객체와의 실시간 연결을 가능하게 한다.

센서 및 IoT 기술 제공업체의 주요 공급 기술

구분	제공 기술
센서 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 센서 기술 제공업체는 물리적 객체의 특성에 따라 아래 다섯 가지 방식 중 적합한 센서를 설치해 실시간 데이터 수집 및 전송이 가능한 기술과 제품을 제공 • 센서 부착 및 데이터 확보 방식 <ol style="list-style-type: none"> ① 직접 부착형: 센서를 기계, 설비, 구조물 등에 부착 (예, 제조 시설에 진동 센서 부착 → 설비 이상 감지) ② 내장형: 제품이나 장비 내부에 센서 부착 (예, 전기차 배터리 셀 내부에 온도 및 전압 센서 내장 → 배터리 수명 예측 및 안전성 분석) ③ 무선 센서 네트워크형: 센서들이 무선으로 연결되어 데이터를 중앙 시스템으로 전송 (예, 스마트빌딩에 설치된 온도, 습도 등의 센서들이 LoRa*로 연결) ④ 웨어러블/이동형: 사람 또는 동물이 착용하거나 이동 가능한 장비에 센서 탑재 (예, 웨어러블 헬스 디바이스 → 심박수, 체온 측정) ⑤ 환경 설치형: 실내외 환경에 설치되어 지속적으로 데이터 수집 (예, 스마트시티의 공기질 센서 → 미세먼지 모니터링)
IoT 기술	<ul style="list-style-type: none"> • IoT 기술 제공업체는 Wi-Fi, BLE, Zigbee, LoRa, NB-IoT, 5G 등 다양한 IoT 연결 기술을 통해 센서 데이터를 디지털 트윈 플랫폼으로 전송하며, 디바이스 관리·보안·펌웨어 업데이트까지 아우르는 통합 네트워크 솔루션을 구현 • IoT 기술의 디지털 트윈 내 주요 역할 <ul style="list-style-type: none"> - 데이터 수집 자동화: 센서 데이터 실시간 수집 - 연결성 확보: 다양한 통신 기술을 활용해 물리적-가상 객체 간 연결 - 확장성 지원: 다수의 디바이스를 안정적으로 연결 및 관리 - 실시간 반영: 가상 객체에 물리적 객체 변화 즉시 반영

* 저전력 장거리 무선 통신 기술(Long Range)

센서 기술 주요 제공업체

기업명	주요 제품/기술	특징
Siemens	<ul style="list-style-type: none"> SITRANS 시리즈 (산업용 센서) 	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 산업용 물리적 데이터(압력, 공정 온도, 유량, 재고 등) 실시간 감지 및 전송 → 디지털 팩토리 및 자동화 분야 사용
Bosch	<ul style="list-style-type: none"> MEMS* 센서 	<ul style="list-style-type: none"> 센서 크기가 작고 전력 소모가 낮아, 장비나 제품 내부에 쉽게 내장되어 지속적 데이터 수집 용이 자동차, 기계, 전자기기 등의 물리적 객체의 변동 데이터 수집에 최적화
Honeywell	<ul style="list-style-type: none"> HumidCon 시리즈 (환경 센서) 	<ul style="list-style-type: none"> 공조(HVAC), 스마트 빌딩, 산업 설비 등에서 온도 및 습도 데이터 실시간 수집 환경 변화에 따른 설비/건물 이상 감지 가능
BSS	<ul style="list-style-type: none"> Ability 시리즈 (스마트 센서) 	<ul style="list-style-type: none"> 모터와 베어링의 진동, 온도, 에너지 설비, 작동 시간, 부하율 등 실시간 감지

* Micro Electro Mechanical System (미세 전자기계 시스템)

센서 기술 주요 제공업체

기업명	주요 제품/기술	특징
Cisco Systems	<ul style="list-style-type: none"> Cisco Edge Intelligence (산업용 IoT 연결) 	<ul style="list-style-type: none"> 산업용 센서로부터 추출된 데이터를 수집·처리·제어·전달하며, 실시간 분석과 보안성을 강화하고 클라우드 연동을 간소화 → 스마트 제조, 에너지, 스마트 시티 등 다양한 산업에 특화
Verizon	<ul style="list-style-type: none"> ThingSpace IoT Platform (셀룰러 기반 IoT 연결) 	<ul style="list-style-type: none"> 센서에서 수집된 데이터를 셀룰러 네트워크 기반으로 전송하며, eSIM 기술을 통해 전 세계 어디든 자동으로 로컬 네트워크에 연결하도록 지원 단일 포털에서 디바이스 연결 상태를 모니터링 하고 제어할 수 있는 기능을 제공하며, API와 개발 도구를 통해 디지털 트윈 연동 개발을 간소화
IBM	<ul style="list-style-type: none"> Watson IoT Platform (AI 기반 IoT 연결) 	<ul style="list-style-type: none"> 센서에서 수집된 데이터를 연결하고, AI 기반 분석 기능을 통해 디지털 트윈에 실시간 반영할 수 있도록 지원 특히, 자사의 생성형 AI 플랫폼인 WatsonX와 연계를 통해 예측 유지보수, 고장 진단, 시뮬레이션 등 고도화된 디지털 트윈 운영이 가능하며, IoT 연결부터 데이터 처리, AI 분석 까지 엔드투엔드 솔루션 제공

③ 소프트웨어 제공업체

소프트웨어 제공업체는 물리적 객체의 디지털 복제본을 효과적으로 구축하고 운영할 수 있게 해주는 3D 모델링, 고급 시뮬레이션, 데이터 분석, 제품생애주기관리(PLM) 기능, 협업 툴 등의 소프트웨어를 제공하고 있다.

- ① **3D 모델링:** 복잡한 구조의 물리적 객체의 디지털 모델을 생성 → 정밀한 시각적 표현으로 이해관계자가 물리적 객체를 쉽게 이해하고 분석
- ② **고급 시뮬레이션:** 물리적 객체를 탐색하고 검토할 수 있는 고급 시뮬레이션 지원 → 문제 발생 전 사전 예측과 운영 최적화 가능
- ③ **데이터 분석:** 다양한 물리적 객체로부터 전송 받는 데이터를 통합하고 분석 → 물리적 객체의 상태 및 성능에 대한 직관적 인사이트 제시
- ④ **제품생애주기관리(PLM) 기능:** 설계, 생산, 유지보수 각 단계에서 필수적인 관리 기능을 제공 → 물리적 객체의 수명주기를 관리하고 최적화하여 전체 운영 효율성 제고
- ⑤ **협업 툴:** 물리적 객체에 장착된 센서와 IoT 기기 연결을 지원하여 실시간으로 필요한 데이터를 수집할 수 있는 환경을 조성하고, 서로 다른 장치와 원활하게 통신할 수 있도록 해 수집된 데이터를 적시에 클라우드로 전송하고 처리할 수 있도록 기능

소프트웨어 공급 주요 제공업체

기업명	제공 기술
Autodesk	<ul style="list-style-type: none"> • (기술명) Autodesk Tandem • (기술 특징) AEC* 특화 디지털 트윈 소프트웨어로, 공간 설계와 관리에 3D 모델링하고, BIM(Building Information Modeling) 기능을 통해 공간 라이프사이클을 관리하고 최적화 → 건설부터 유지보수 단계까지 모든 운영을 통합적으로 관리할 수 있도록 시각화하여 제공
Dassault Systèmes	<ul style="list-style-type: none"> • (기술명) 3DEXPERIENCE Platform • (기술 특징) 모델링(CAD)과 시뮬레이션(CAE)을 통합하는 MODSIM을 활용해 물리적 객체를 정확하게 디지털로 시각화함으로써 현실과 가상 사이의 거리를 0으로 줄이고, 이해관계자가 실시간으로 안전하게 협업 가능한 툴 제시
Bentley	<ul style="list-style-type: none"> • (기술명) OpenBuildings Designer • (기술 특징) 건물 등의 물리적 객체의 몰입형 3D 모델링을 제공해, 설계, 분석, 시뮬레이션, 문서화를 BIM(Building Information Modeling, 건물 정보 모델링) 워크플로우 기반으로 제공
Siemens	<ul style="list-style-type: none"> • (기술명) Simcenter 3D software • (기술 특징) 복잡한 성능을 가진 물리적 객체의 다중 물리 현상을 이해하여 모델링 및 시뮬레이션을 제공. 특히, 디지털 객체의 구조를 시뮬레이션 하여 응력, 변형 및 기타 조건에서의 성능을 확인하고 테스트 할 수 있는 환경 조성

* 건축·엔지니어링·건설 (Architecture, Engineering & Construction)

④ 데이터 분석 제공업체

데이터 분석 제공업체는 가상 객체의 예측 분석과 의사결정을 지원한다. 이들 기업은 수집된 센서 및 IoT 데이터를 토대로 AI 기반 분석, 머신러닝 모델링, 시뮬레이션, 최적화 알고리즘 등을 통해 디지털 트윈 가치를 극대화한다.

해당 기업들이 물리적 객체의 실시간 데이터를 토대로 제공하는 주요 기술 및 제품은 아래와 같이 5가지 범주로 분류할 수 있으며, 앞서 구분한 '㉓ 소프트웨어 제공업체'도 실시간 데이터를 활용하여 분석 및 처리 기능을 포함한 기술을 제공한다.

- **예측 분석(Predictive Analytics):** 장비 고장 예측, 유지보수 시점 예측, 생산성 향상 등
- **의사결정 지원 시스템(Decision Support Systems):** 시뮬레이션 결과 기반의 운영 전략 수립, 리스크 분석
- **AI/ML 기반 모델링:** 실시간 데이터 학습을 통한 동적 모델 생성 및 최적화
- **데이터 시각화 및 대시보드:** 운영 상태, KPI, 이상 탐지 등을 직관적으로 표현
- **통합 분석 플랫폼:** 다양한 소스(센서 등)의 데이터를 통합하여 분석 가능한 환경 제공

데이터 분석 주요 제공업체

기업명	주요 제품/기술	특징
SAP SE	<ul style="list-style-type: none"> • SAP Predictive Engineering Insights 	<ul style="list-style-type: none"> • 센서로 수집한 실시간 데이터를 Ansys 시뮬레이션과 결합해, 물리적 객체의 상태를 예측하고 운영 전략을 지원
Oracle	<ul style="list-style-type: none"> • Digital Twin for Asset Monitoring 	<ul style="list-style-type: none"> • IoT 센서 데이터를 기반으로 자산의 디지털 트윈을 생성하고, AI 기반 분석을 통해 고장 예측과 운영 최적화를 지원
Ansys	<ul style="list-style-type: none"> • Twin Builder 	<ul style="list-style-type: none"> • 물리 기반 시뮬레이션과 센서 데이터를 결합하여 물리적 객체 성능을 예측하고 운영을 최적화하는 하이브리드 디지털 트윈 분석 플랫폼
PTC	<ul style="list-style-type: none"> • ThingWorx Analytics 	<ul style="list-style-type: none"> • IoT 장치에서 수집된 데이터를 기반으로 AI/ML 모델을 통해 예측 분석과 이상 탐지를 수행하며, 디지털 트윈 환경에서 실시간 의사결정을 지원하는 산업 특화형 분석 플랫폼

자료: 각 사, 언론 종합

⑤ 특화 솔루션 제공업체 및 컨설팅

디지털 트윈의 설계, 구현, 운영 전략 수립을 지원하며, 산업별 특성 맞춤형 솔루션을 제공한다. 이들 기업은 물리적 객체와 가상 객체를 연결하는 핵심 기술을 통합하고, 고객이 디지털 트윈을 효과적으로 활용할 수 있도록 전략적 컨설팅을 수행한다.

주로, 아래와 같은 솔루션 및 컨설팅을 제공해, 디지털 트윈이 안정적이고 효율적으로 운영되도록 지원한다.

- **디지털 트윈 모델링 및 시뮬레이션 설계:** 물리적 객체의 가상 객체 생성, 동적 시뮬레이션을 통한 운영 예측 및 최적화
- **산업 맞춤형 컨설팅:** 제조, 에너지, 헬스케어 등 산업별 디지털 트윈 적용 전략 수립 및 고객 요구사항 기반의 기술 로드맵 구축
- **통합 플랫폼 구축:** AI 등과 연계된 디지털 트윈 플랫폼 설계, 다양한 기술 스택* 통합 및 운영 환경 구성
- **데이터 연계 및 실시간 운영 지원:** 센서 및 IoT 데이터를 실시간 수집·처리하여 디지털 트윈에 반영, 운영 중 발생하는 이벤트 기반 의사 결정 지원
- **기술 구현 및 유지보수 서비스:** 디지털 트윈 시스템의 구축·테스트·운영·유지보수, 디지털 트윈 성능 개선 및 확장

* 소프트웨어나 시스템을 개발·운영하기 위해 사용하는 기술들의 조합. 즉, 어떠한 서비스를 만들 때 필요한 프레임워크, 언어, 라이브러리, 데이터베이스, 서버, 클라우드 등 기술 요소들의 집합

특화 솔루션 및 컨설팅 주요 제공업체

기업명	제공 솔루션	특화분야	대표 사례
Siemens	• Xcelerator, MindSphere 기반 디지털 트윈 플랫폼 구축	• 제조업, 인프라, 에너지, 헬스케어 등	• 지멘스 난징 공장에 디지털 트윈 자체 구축하여 생산성 20%, 제조 유연성 30%, 공간 효율성 40% 개선
Dassault Systèmes	• 3DEXPERIENCE 플랫폼을 통한 제품 설계 및 시뮬레이션	• 항공우주, 자동차, 바이오 제약 등	• Boeing과 협력해 항공기 설계 및 유지보수 디지털 트윈 구축
Bentley Systems	• iTwin 플랫폼을 통해 인프라 객체의 디지털 트윈 구축 및 관리	• 도시 인프라(스마트 시티), 토목, 철도, 수자원 등	• 싱가포르 정부와 협력하여 도시 전체의 디지털 트윈 구축
PwC	• 산업 맞춤형 디지털 트윈 전략 수립, 기술 로드맵, 구현 컨설팅	• 제조업, 헬스케어, 에너지, 스마트시티 등	• 유럽 제조업 대상 디지털 트윈 기반 운영 효율화 프로젝트, 도시 인프라 최적화 컨설팅 등

자료: 각 사, 언론 종합

(참고) 디지털 트윈 기술관련 한국의 스타트업

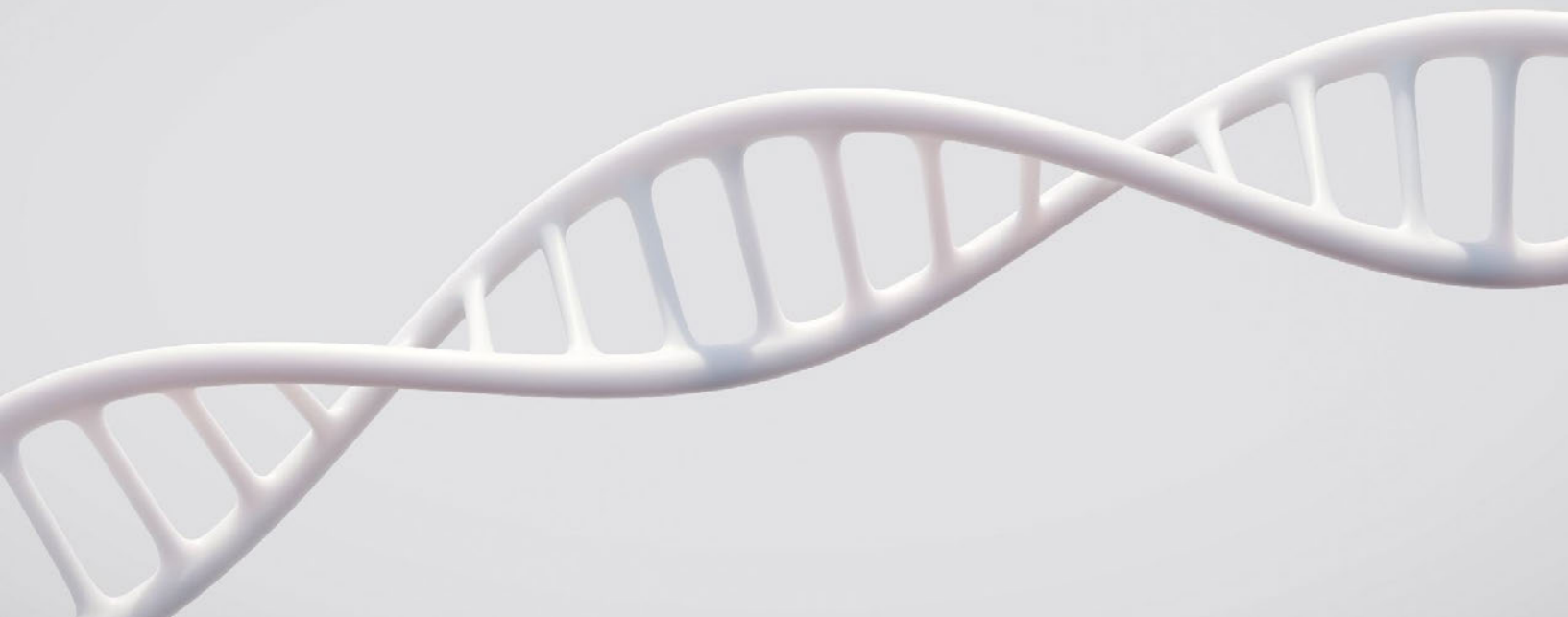
기업명	기업 개요	투자 단계	누적투자금액	매출	키워드
이에이트	입자 기반 시뮬레이션 및 디지털 트윈 솔루션을 제공하는 기업	IPO	383.0억원 이상	22.9억원	프로그래밍개발, VR/AR/메타버스, SaaS/엔터프라이즈
심투리얼	디지털트윈 가상환경 기술 기반 우주항공 분야 재난 AI 합성데이터를 생성하는 기업	Seed	비공개	2.8억원	재난, AI, 비전센싱/영상인식/센서
공간의파티	웹 기반 디지털트윈 및 AI 기반 안전 솔루션을 제공하는 기업	-	-	3.2억원	IoT, 안전, AI, VR/AR/메타버스
브이알크루	디지털트윈 기반 공간컴퓨팅 기술을 개발하는 기업	비공개	19.0억원	9.3억원	VR/AR/메타버스
위엠비	빅데이터 기반 IT 솔루션 및 디지털트윈, AI 솔루션을 제공=	비공개	40.0억원	179.0억원	AI, 빅데이터, SaaS/엔터프라이즈
프리딕티브 에이아이	AI 디지털트윈 기술 기반 고위험성 질병 진단 솔루션을 제공	Seed	18.9억원 이상	-	바이오/의료, 진단/검사, AI
데이터메타카	데이터 가공 서비스 기반 자율주행 및 디지털트윈 등의 서비스를 제공하는 기업	비공개	비공개	26.2억원	지도/네비게이션/GPS, 자율주행, AI, 빅데이터
이지스	디지털트윈 클라우드 서비스를 제공하는 기업	pre-IPO	130.0억원	302.8억원	데이터, 클라우드, 플랫폼/마켓플레이스, SaaS/엔터프라이즈
슈타겐	디지털트윈, 디지털 트랜스포메이션, 실감형 콘텐츠 제작 서비스를 제공하는 기업	-	-	17.6억원	VR/AR/메타버스
심시스글로벌	디지털트윈 및 공간정보 솔루션 등을 제공하는 기업	series A	30.0억원	96.0억원	건축/설계, 스마트시티
무브먼츠	스마트건설 및 디지털트윈 솔루션을 제공하는 기업	series A	35.0억원 이상	25.8억원	건축/설계, 안전, VR/AR/메타버스, SaaS/엔터프라이즈
버넥트	AR/디지털트윈기술 기반 산업 안전 및 업무 효율성 향상 솔루션을 제공하는 기업	IPO	707.2억원	46.0억원	VR/AR/메타버스, SaaS/엔터프라이즈
시마크로	화학, 바이오 공정 모델링 및 시뮬레이션 기술 기반 디지털트윈 솔루션을 개발하는 기업	Seed	-	14.0억원	바이오/의료, 화학, AI, 빅데이터, SaaS/엔터프라이즈
인포인	웹기반 3D 콘텐츠 구현 솔루션 '쓰리디알' 및 디지털트윈 솔루션 'Beyond'를 제공하는 기업	-	-	31.0억원	프로그래밍개발, 3D그래픽/CG
가우스랩	산업용 디지털 트윈 솔루션 및 데이터 분석 서비스를 제공하는 기업	Seed	-	10.9억원	스마트시티, 프로그래밍개발, AI, VR/AR/메타버스
비트리	AI 기반 디지털트윈 솔루션 및 공간 시뮬레이션 솔루션을 제공하는 기업	-	-	3.8억원	스마트시티, AI

자료: 혁신의 숲, 더브이씨 (25년 11월 6일 기준)

05

시사점 및 제언

“현실을 복제하는 기업,
제조업의 미래를 선도하고 글로벌 경쟁력을
확보한다.”



산업별 활용 수준 진단 (1/2)

디지털 트윈은 항공우주에서 시작해 자동차, 화학, 에너지, 건설 등으로 확산되며 설계·생산 최적화, 안전성 강화, 탄소 저감 등 다양한 가치를 창출하고 있다. 그러나 각 산업은 고정밀 모델링, 실시간 데이터 정확성, 시스템 간 표준화, 개인정보 보호 등 고유한 과제에 직면해 있어, 기업은 데이터·AI 역량 강화와 플랫폼 통합 전략을 통해 기술 도입의 비즈니스 성과를 극대화해야 한다.

산업별 디지털 트윈 활용 현황

산업	활용 효과	도전 과제
자동차	<ul style="list-style-type: none"> 차량 개발 및 생산 시간과 비용 절감 및 친환경 설계 가능 불량을 감소 및 유지보수비 절감 생산 공장 에너지 효율 개선 고객 만족도 제고 	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 시나리오 예측을 위한 연산 자원 확보 이종 시스템 간 인터페이스 표준화 고객 데이터 보안 및 개인정보 보호 실시간 차량 상태 데이터 정확성 확보
화학	<ul style="list-style-type: none"> 신제품 개발 시간 단축 공정 안정성 향상 생산성 향상 및 불량률 감소 친환경 소재 개발 에너지 절감 및 사고 예방 	<ul style="list-style-type: none"> 화학 반응 모델링의 복잡성 실험 데이터 기반 예측 정확도 확보 시뮬레이션과 실험 간 정합성 고정밀 예측 모델의 높은 유지 비용
바이오·헬스케어	<ul style="list-style-type: none"> 임상 실패율 감소 R&D 비용 절감 및 효율성 향상 치료 정확도 향상 병원 운영비 절감 및 서비스 품질 향상 	<ul style="list-style-type: none"> 생물학적 이질성 반영 어려움 개인정보 보호 및 윤리 문제 실시간 생체 데이터 처리 기술 AI 기반 진단의 신뢰성 확보
에너지	<ul style="list-style-type: none"> 설비 설계 정확도 향상 설비 고장 감소 및 유지보수 비용 절감 에너지 효율 향상 및 탄소중립 	<ul style="list-style-type: none"> 고정밀 시뮬레이션 모델 구축 다양한 설비 간 통합 플랫폼 구축 분산 에너지 자원(DER) 통합 기술 AI 예측 모델의 정확도 확보
항공우주	<ul style="list-style-type: none"> 개발 기간 단축 및 비용 절감 비행 안전성 향상 유지보수 효율성 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 초정밀 센서 데이터 확보 실시간 데이터 동기화 (고속 통신) AI 기반 예측 모델 신뢰성
건설	<ul style="list-style-type: none"> 공사 기간 단축 및 비용 절감 안전사고 예방 유지관리 효율성 향상 	<ul style="list-style-type: none"> BIM·IoT 데이터 통합 표준화 대규모 3D 모델 연산 성능 실시간 협업 플랫폼 보안
공공 및 도시관리	<ul style="list-style-type: none"> 도시 운영 효율성 향상 에너지 절감 및 탄소 저감 재난 대응 속도 향상 	<ul style="list-style-type: none"> 도시 단위 데이터 거버넌스 개인정보 보호 및 보안 이기종 시스템 간 상호운용성

산업별 활용 수준 진단 (2/2)

한편, 금융을 비롯한 광업, 섬유·패션 등 일부 산업에서는 디지털 트윈의 적용이 여전히 제한적이다. 이러한 산업들은 물리적 자산이 적거나 데이터 인프라가 부족하고, 환경 변수의 복잡성 또는 투자 대비 효과의 불확실성으로 인해 기술 도입이 더딘 상황이다.

그러나 이는 곧 새로운 기회의 영역이 될 수 있다. 예를 들어, 금융업은 물리-가상 연계가 어렵지만, 고객 행동 분석이나 리스크 관리 시뮬레이션 등 데이터 중심의 디지털 트윈 개념을 적용할 수 있다. 광업은 IoT 센서와 원격 모니터링 기술을 결합해 안전성과 생산성을 높이는 방향으로 점진적 도입이 가능하다. 섬유·패션 산업은 빠른 트렌드 변화에 대응하기 위해 가상 프로토타입과 공급망 시뮬레이션을 활용하면 제품 개발 리드타임을 단축할 수 있다.

따라서 기업은 전면적 도입이 아닌, 산업 특성에 맞는 단계적 전략을 통해 초기 리스크를 줄이고, 데이터 기반 의사결정 역량을 강화하는 것이 중요하다.

디지털 트윈 도입 더딘 산업: 이유와 전략 방향

금융업	
이유	<ul style="list-style-type: none"> 제조업처럼 물리적 설비 등이 없어, 디지털 트윈(물리-가상) 필요성 낮음 개인정보·거래 데이터 규제로 데이터 공유·클라우드 활용 제한됨
전략 방향	<ul style="list-style-type: none"> 고객 행동 분석이나 리스크 관리에 가상 시뮬레이션 활용 데이터 보안 강화(암호화, 클라우드 보안) 작은 파일럿 프로젝트로 시작해 효과 검증
광업·채굴	
이유	<ul style="list-style-type: none"> 지하 환경에서 센서 설치·통신 어려움 실시간 데이터 확보 곤란(깊은 갱도, 폭발 위험) 초기 투자 대비 생산성 향상 효과 불확실
전략 방향	<ul style="list-style-type: none"> 안전 모니터링부터 시작(가스, 온도, 환기) 드론·원격 센서로 데이터 수집 자동화 단계적으로 장비 예지보전, 생산 최적화로 확장
섬유·패션	
이유	<ul style="list-style-type: none"> 제품 라이프사이클이 짧고 트렌드 변화가 빠름 → 정밀 시뮬레이션 ROI 낮음 공급망 복잡성은 높지만 디지털화 수준 낮음
전략 방향	<ul style="list-style-type: none"> 가상 샘플링으로 샘플 제작 비용 절감 3D 피팅으로 반품률 줄이기 공급망 시뮬레이션으로 리드타임 단축

기술 수준 진단 (1/2)



디지털 트윈의 산업별 활용은 빠르게 확산되고 있지만, 궁극적으로 지향하는 '자율형 디지털 트윈'을 실현하기 위해서는 초연결, 초지능, 초성능 등 핵심 요소 기술의 고도화가 필수적이다. 특히 한국은 미국 대비 요소 기술 수준이 낮으며, 그 중에서도 AI, 빅데이터, 고성능 컴퓨팅 시스템에서 격차가 크다. *국가별 기술 격차 비교는 다음 페이지 참고

이 세 가지 기술은 디지털 트윈 경쟁력의 핵심 축으로, 그 중요성은 다음과 같다:

- **AI:** 방대한 데이터를 분석해 예측 모델을 생성하고, 자율적 의사결정을 가능하게 함으로써 운영 효율을 극대화하고 완전 자율형 디지털 트윈 구현을 뒷받침한다.
- **빅데이터:** 디지털 트윈은 센서, IoT, 운영 시스템에서 발생하는 실시간 데이터를 기반으로 작동하기 때문에, 데이터의 수집·저장·처리 역량이 부족하면 정확성과 신뢰성이 떨어진다. 빅데이터는 모델 학습과 시뮬레이션 정밀도를 높이는 핵심 자원이다.
- **고성능 컴퓨팅(HPC):** 복잡한 시뮬레이션과 대규모 연산을 실시간으로 처리하기 위해서는 초고속 연산 능력이 필수적이다. HPC는 디지털 트윈의 반응 속도와 확장성을 결정짓는 기반 기술이다.

따라서 한국 기업은 단순한 기술 도입을 넘어, AI 알고리즘 개발, 데이터 인프라 구축, HPC 역량 확보, 전문 인력 양성 등 전방위적 역량 강화 전략을 추진해야 한다.

이는 개별 기업의 경쟁력 확보를 넘어 국가 차원의 산업 생태계 혁신과 글로벌 공급망에서의 주도권 확보로 이어질 것이다.

특히 AI·빅데이터·컴퓨팅 기반 디지털 트윈은 제조, 에너지, 스마트시티 등 다양한 산업에서 새로운 비즈니스 모델을 창출하고, 운영 효율성·안전성·지속가능성을 동시에 강화하는 핵심 동력이 될 것이다.

결국, 이러한 요소 기술 역량 강화는 디지털 트윈 경쟁력 확보를 넘어 미래 산업 패러다임을 선도하는 기업으로 도약하기 위한 필수 조건이다.

기술 수준 진단 (2/2)

국가별 디지털 트윈 요소기술 수준



“한국은 미국 대비 AI·빅데이터·컴퓨팅 시스템에서 큰 격차”

* 기술 수준은 세계 선두인 미국을 100% 기준으로 설정하고, 주요국의 18개 핵심 기술을 평가. 해당 평가는 2년 주기로 실시되며, 가장 최근 평가는 '22년임

자료: 정보통신기획평가원 발표 토대로 삼일PwC경영연구원 재구성

정부에 대한 제언

디지털 트윈의 효과적인 구현과 실용적 확장을 위해서는 정부의 정책 리더십, 산업계의 기술 혁신 및 융합, 기업의 실행 역량이 유기적으로 뒷받침되어야 한다.

- 1 표준화 체계가 확립돼야 디지털 트윈이 확산된다**

디지털 트윈 확산을 위해 산업별 데이터 형식, 모델링 방식, 인터페이스 규격이 통일되어야 한다. 이를 위해 국제 표준(ISO, IEC)과 연계한 국가 차원의 참조 아키텍처를 마련하고, 기업 간 시스템이 원활히 연동될 수 있도록 공통 API와 데이터 교환 프로토콜을 제공해야 한다. 이러한 표준화는 산업 전반의 상호운용성을 높이고, 기업이 중복 투자를 줄이는 기반이 된다.
- 2 공공 프로젝트가 선행돼야 민간으로 확산될 수 있다**

스마트시티, 교통, 에너지 등 대형 인프라 사업에서 디지털 트윈 적용을 확대하거나 의무화할 필요가 있다. 발주 단계에서 디지털 핸드오버 (As-Built 데이터, 즉 실제 시공 결과를 반영한 디지털 모델) 요구사항을 명시하고, 프로젝트 성과를 평가할 때 에너지 절감률, 유지보수 비용 절감률 등 구체적인 지표를 반영해야 한다. 이를 통해 초기 시장을 형성하고 민간 확산을 촉진할 수 있다.
- 3 공용 인프라 지원으로 디지털 트윈 도입 장벽을 낮춰야 한다**

중소기업이 디지털 트윈을 도입할 때 가장 큰 장애물은 고성능 컴퓨팅(HPC)과 클라우드 인프라 비용이다. 정부는 이를 해결하기 위해 공용 클라우드와 HPC 플랫폼을 제공하고, 산업단지나 지자체 단위로 엣지 컴퓨팅 허브를 설치해야 한다. 또한 데이터 저장, 처리, 시뮬레이션을 지원하는 국가 디지털 파운드리를 운영해 기업의 초기 투자 부담을 줄여야 한다.
- 4 개인정보와 산업 데이터 보호가 우선되어야 한다**

디지털 트윈은 방대한 데이터를 기반으로 하기 때문에, 개인정보와 산업 데이터 보호를 위한 법제 정비가 필수적이다. 정부는 데이터 계약 표준을 마련하고, 합성 데이터 활용 가이드라인을 제공해야 한다. 또한 산업 데이터 스페이스를 구축해 기업 간 안전한 데이터 교환 체계를 확립함으로써 데이터 활용을 촉진해야 한다.
- 5 재정·세제 인센티브라는 당근이 필요하다**

기업이 초기 투자 부담을 줄이고 디지털 트윈 도입을 가속화할 수 있도록 성과 기반 보조금을 지급해야 한다. 예를 들어, 에너지 절감이나 다운타임 감소 성과에 따라 보조금을 차등 지급할 수 있다. 또한 디지털 트윈 관련 R&D 세액공제를 확대하고, 관련된 투자 촉진 정책을 시행해야 한다.

산업/기업에 대한 제언

기업과 산업은 단계적 접근, 데이터 전략, 보안 강화, 성공 사례 확산, 전문 조직 내재화를 통해 디지털 트윈 구축 역량을 확보해야 한다.

1

**원샷이 아닌
기업별 목표에
따른 '단계적
접근'이 필요하다**

기업은 디지털 트윈을 한 번에 전사적으로 도입하기보다, 효과가 명확히 측정 가능한 영역에서 시작해야 한다. 예를 들어, 설비 예지보전, 에너지 절감, 품질 향상과 같이 ROI가 뚜렷한 과제를 우선 선정해 파일럿 프로젝트를 진행하는 것이다. 이후 성과를 검증하고, 이를 기반으로 다른 공정이나 사업장으로 확산하는 로드맵을 마련해야 한다. 이러한 단계적 접근은 리스크를 줄이고 조직의 수용성을 높이는 핵심 전략이다.

2

**디지털 스레드
구축으로 데이터
기반 신뢰성을
확보해야 한다**

디지털 트윈의 가치는 데이터에서 시작된다. 설계, 제조, 운영 데이터를 연결하는 '디지털 스레드'를 구축해 데이터 흐름을 단절 없이 이어야 한다. 이를 위해 데이터 표준화, 품질 관리, 메타데이터 관리 체계를 마련하고, 데이터 계약을 통해 책임과 권한을 명확히 해야 한다. 데이터가 신뢰할 수 있어야 예측 모델과 시뮬레이션의 정확성이 확보된다.

3

**디지털 트윈
구축에서 보안은
선택이 아닌
필수다**

디지털 트윈은 OT(운영기술)와 IT가 연결되는 특성상 보안 리스크가 크다. 따라서 설계 단계에서부터 보안 요구사항을 반영하고, 소프트웨어 자재 명세(SBOM) 관리, 취약점 대응 체계, 정기적인 보안 점검과 모의훈련을 실시해야 한다. 보안은 선택이 아니라 필수이며, 사고 발생 시 기업의 신뢰와 운영 안정성에 치명적인 영향을 미친다.

4

**디지털 트윈 성공
사례를 비즈니스
혁신의 성장
엔진으로
전환한다**

기업은 성공 사례를 템플릿화해 다른 공장이나 사업장으로 확산해야 한다. 내부 표준을 마련하고, 공급망 파트너와 공동으로 디지털 트윈을 구축해 품질과 물류 가시성을 높이는 것도 중요하다. 산업별 컨소시엄에 참여해 기술과 데이터를 공유하면, 개별 기업이 감당하기 어려운 비용과 리스크를 줄일 수 있다. 나아가, 축적된 성공 사례는 새로운 비즈니스 기회로 이어질 수 있으며, 이를 다른 기업에 솔루션 형태로 제공함으로써 추가적인 수익 창출도 가능하다.

5

**디지털 트윈
내재화위해 전담
조직 구축이
필요하다**

디지털 트윈은 기술 프로젝트가 아니라 운영 방식의 변화다. 따라서 현장 직원이 데이터를 활용할 수 있도록 교육하고, 성과를 보상과 연계하는 변화관리 전략이 필요하다. 예를 들어, 에너지 절감이나 다운타임 감소 성과를 KPI로 설정하고, 이를 인센티브와 연결하면 조직의 참여도가 높아질 수 있다. 또한 디지털 전환을 전담하는 조직 (CoE, Center of Excellence)을 운영해 내부 역량을 강화해야 한다.

Contacts

문 홍 기 Partner

hong-ki.moon@pwc.com
02-709-0394

임 기 호 Partner

ki-ho.im@pwc.com
02-709-0680

신 민 용 Partner

min-yong.shin@pwc.com
02-3781-9154



S/N: 2512C-RP-161

© 2025 PwC Consulting. All rights reserved. PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

Disclaimer: This content is for general purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.