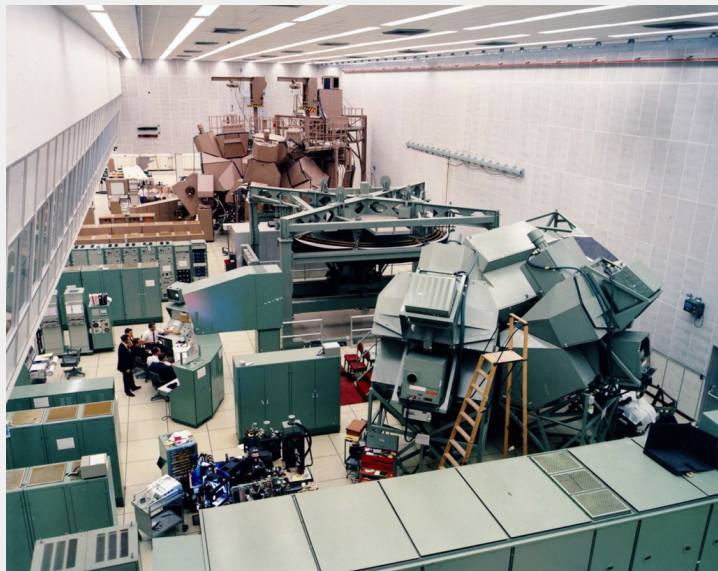


# 디지털트윈과 CPS

Digital Twin and Cyber Physical System

# 최초의 디지털 트윈

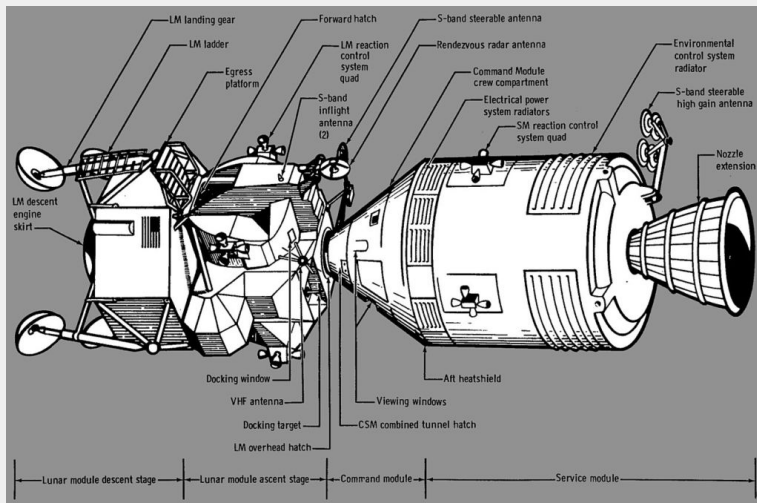
미 항공우주국 NASA가 지상에서 우주에서의 문제를 반영하고 진단하기 위해 초기 우주 캡슐의 실물 모형을 완전한 디지털 시뮬레이션으로 대체하면서 시작



휴스턴 미션 컨트롤의 아폴로 시뮬레이터.  
달 모듈 시뮬레이터는 녹색으로 전경에 있고,  
사령선 시뮬레이터는 갈색으로 사진 뒤쪽에  
있습니다. 이미지 출처: NASA

# 최초의 디지털 트윈

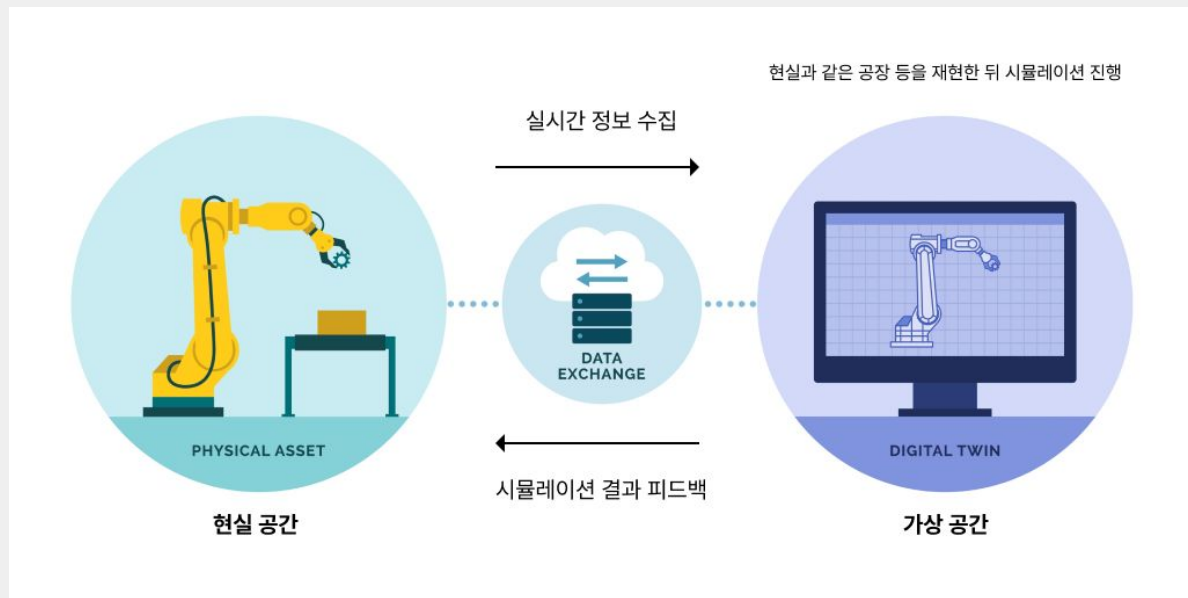
Apollo 13은 분명히 "사물 인터넷"을 사용하지 않았지만 NASA는 우주선과 연락을 유지하기 위해 최첨단 통신 기술을 사용했습니다. 해당 데이터는 궁극적으로 손상된 우주선의 상태를 반영하기 위해 시뮬레이터를 수정하는 데 사용



도킹된 구성의 아폴로 우주선. 사진 왼쪽에 있는 달 착륙선은 두 사람을 달 표면으로 데려갔다가 다시 내려오도록 설계되었습니다. Apollo 13 임무를 위해 서비스 모듈에서 폭발이 발생한 후 우주 비행을 안전하게 지구로 데려오기 위해 구멍 뚫목과 엔진을 제공했습니다. 이미지 출처: NASA

# 디지털 트윈이란?

디지털 트윈은 가상 공간에 현실 사물의 쌍둥이(트윈)를 만들고 현실의 데이터를 동기화한 뒤 이를 기반으로 분석·시뮬레이션을 수행해 현실의 문제를 해결하는 융합 기술





# 디지털 트윈의 예 - 차량 네비게이션

## 차량 네비게이션

아이나비 네비게이션의 가상 도로에 실시간 교통량 등 현실의 데이터를 동기화한 뒤 이를 기반으로 시뮬레이션을 수행해 목적지까지 최적 경로를 탐색





# 디지털 트윈의 예 - 레저 스포츠

## 레저 스포츠

현실 세계에서 골프채를 휘두르면 공이 스크린에 맞는 순간 화면 속 가상 골프장에 공이 등장합니다. 현실 세계의 공과 스크린 속 공은 마치 쌍둥이처럼 복제됩니다. 네비게이션과 스크린 골프를 통해 디지털 트윈은 이미 우리 생활 가까이에 자리 잡고 있음을 체감할 수 있습니다.



# 디지털 트윈의 예 - 도시계획 및 스마트 시티

## 도시 계획 및 스마트 시티

디지털 트윈은 전체 도시를 모델링하는 데 사용되어 도시 계획, 인프라 관리, 에너지 사용 및 교통 흐름 최적화가 가능

싱가포르의 부족한 토지를 더 효과적으로 활용하고 홍수 위험이 가장 높은 지역을 파악하기 위해 SLA는 2012년부터 국가의 3D 지도를 만들기 시작했습니다. GPS Lands Singapore는 나중에 SLA에 접근하여 개발 계획을 세웠습니다. Bentley Systems가 제공하는 소프트웨어를 사용하는 디지털 트윈인 **Virtual Singapore**. 레이저 스캐닝 항공기가 등장한 것은 바로 그 때였습니다. 매핑 팀은 이를 사용하여 지형과 표면 정보를 매우 세밀하게 기록했습니다. 차량에 장착된 레이저도 싱가포르의 거리를 돌아다니며 데이터를 흡수하여 거리 수준 정보로 항공 이미지를 보완했습니다.



# 디지털 트윈의 예 - 도시계획 및 스마트 시티



# 디지털 트윈의 예 - 에너지 및 유틸리티

## 에너지 및 유틸리티

에너지 회사는 디지털 트윈을 사용하여 풍력 발전소, 발전소 및 전력망을 모델링하고 모니터링합니다. 이를 통해 더 나은 예측 유지 관리, 운영 최적화 및 재생 가능 에너지원 통합이 가능해집니다.

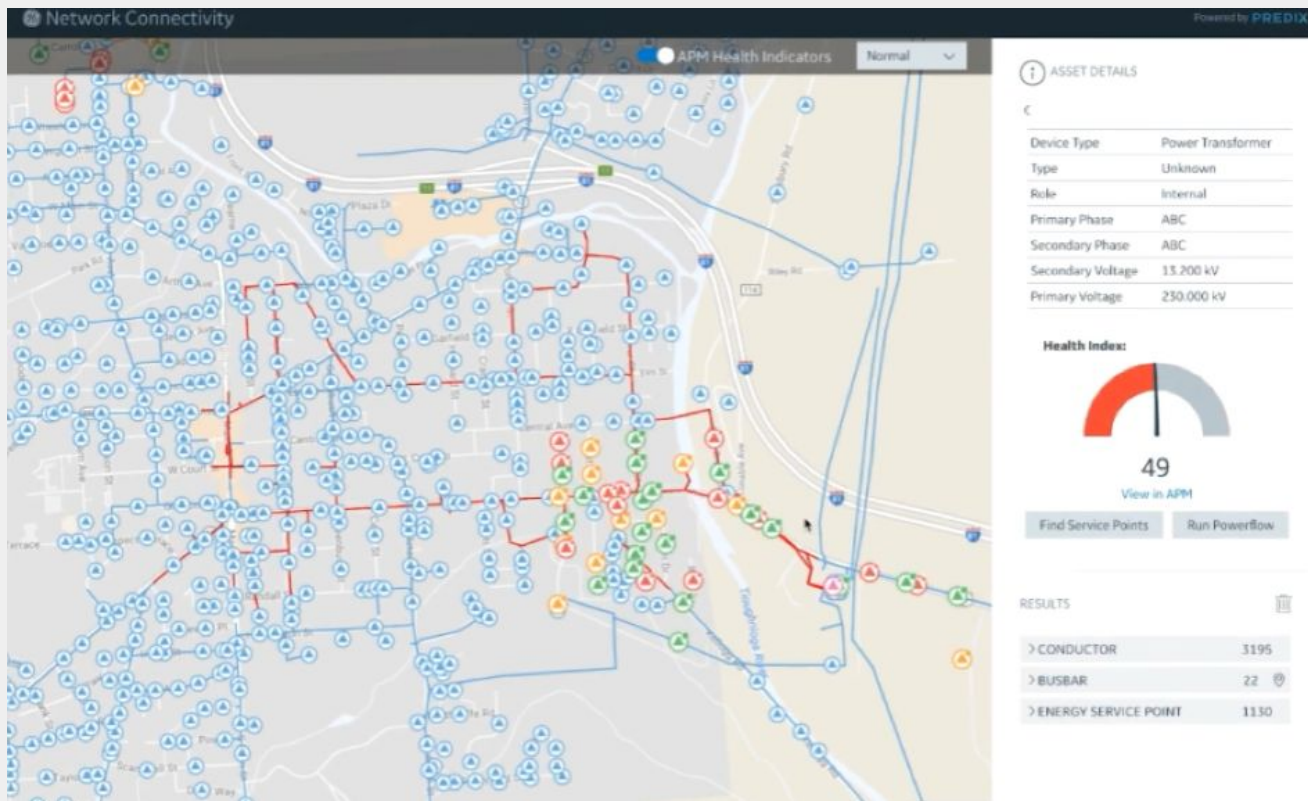
예를 들어 GE디지털의 디지털 트윈 소프트웨어는 항공, 오일&가스, 발전, 전력망(Grid) 및 제조 분야에서 기계학습(Machine Learning) 및 고급분석 기술을 적용하여 실시간으로 방대한 분량의 산업 데이터를 모니터링 한다.

# 디지털 트윈의 예 - 에너지 및 유틸리티

자산 디지털 트윈 (Asset Digital Twin)을 통한 **비용 절감 효과**는 상당하다. 지금까지 디지털 트윈의 실시간 모니터링 기능을 통해 고객은 **160억 달러**를 절약했으며, GE는 제트엔진, 풍력발전소, 해상석유굴착장치, 발전장비, 펌프, 압축기, 냉각기 등 **120만개**의 디지털 트윈을 관리하고 있다.

또 GE디지털은 고객이 고급 분석에 활용할 수 있는 **330개**가 넘는 디지털 트윈 청사진 (Blueprint)을 제공하고 있기 때문에, 산업 기업들은 디지털 트윈에 투자하여 신속하게 가치를 확보하는 것이 그 어느 때 보다 용이해졌다.

# 디지털 트윈의 예 - 에너지 및 유틸리티



by Henry

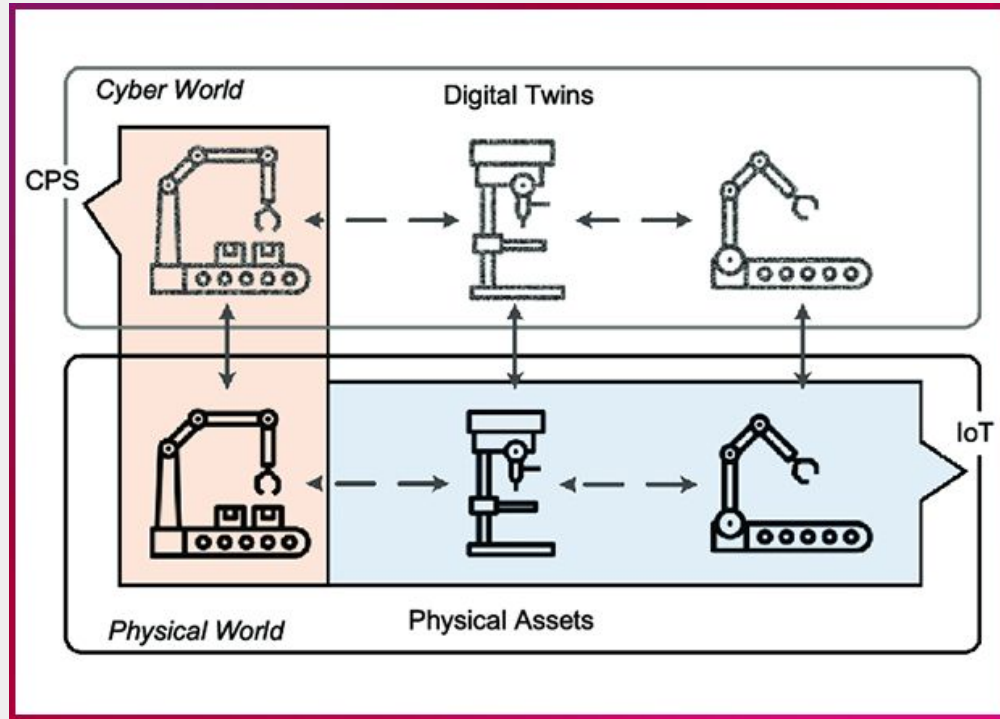
# CPS(Cyber Physics System)

- 2006년 미국 국립과학재단에서 처음 CPS라는 용어가 사용
- 2013~2015 미국 국립과학재단 에드워드 리(Edward Lee) 교수가 제조 분야의 CPS 연구를 시작하면서 연구 결과를 발표

‘CPS는 물리적 프로세스와 계산의 통합이다. 임베디드 컴퓨터와 네트워크는 물리적 프로세스가 계산에 영향을 주는 피드백 루프를 통해 물리적 프로세스를 모니터링하고 제어한다.’

- 즉, CPS는 현실 세계의 물리적 설비, 기계와 ERP를 비롯한 여러 소프트웨어와의 결합을 통해 생산 현장의 새로운 부가가치를 창출하는 것

# CPS(Cyber Physics System)



디지털 트윈, CPS, IoT의 관계 (출처: Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues, 2019 )

by Henry



전남스마트공장테스트베드

# 사이버물리시스템(CPS)

가상공간에 구축된

쌍둥이 장비



# CPS와 디지털 트윈의 관계에 대한 정답은 없다.

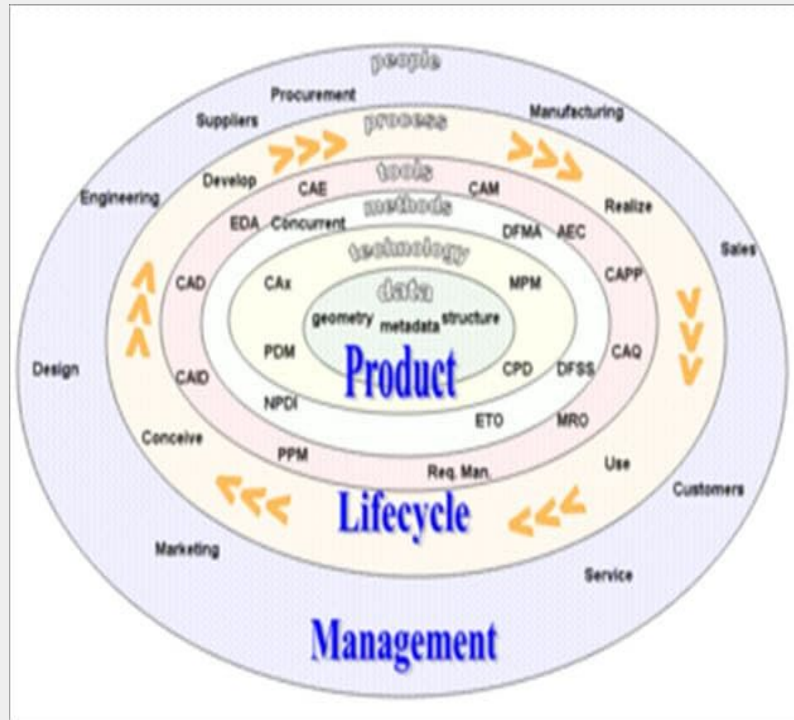
- CPS는 임베디드 시스템, 공정 및 생산 모니터링 분야에서 발전  
가상과 현실의 데이터를 공유하고 이를 시스템상으로 구현 가능한 개념적 기술
- 디지털 트윈은 주로 제조업에서 사용하는 제품수명 주기관리(PLM)와 3D를 비롯한 시뮬레이션 분야에서 발전  
CPS에서 더 나아가서 현실에서 받은 데이터를 가상으로 똑같이 구현하는 기술

산업 현장에서 가상 세계와 물리적 세계(현실 세계)의 융합은 더 나은 생산성과 효율성을 위한 전제 조건입니다. 그러한 융합의 수단으로서 CPS와 디지털 트윈은 연구자와 개발자들로부터 많은 관심을 받기 시작했습니다.

# 디지털 트윈의 구성

## 1. 가상 공간에서의 '설계 자동화' 관련 소프트웨어

PDM(Product Data Management),  
CAD(Computer-Aided Design)  
CAM(Computer-Aided Manufacturing),  
CAE(Computer-Aided Engineering) 및  
시뮬레이션 등 주로 제품 개발 및 설계 과정과  
관련된 정보를 통합적으로 관리하는  
PLM(Product Lifecycle Management,  
제품수명주기)관련 소프트웨어



# 디지털 트윈의 구성

## 2. 실제 세계에서의 '공장 자동화' 솔루션

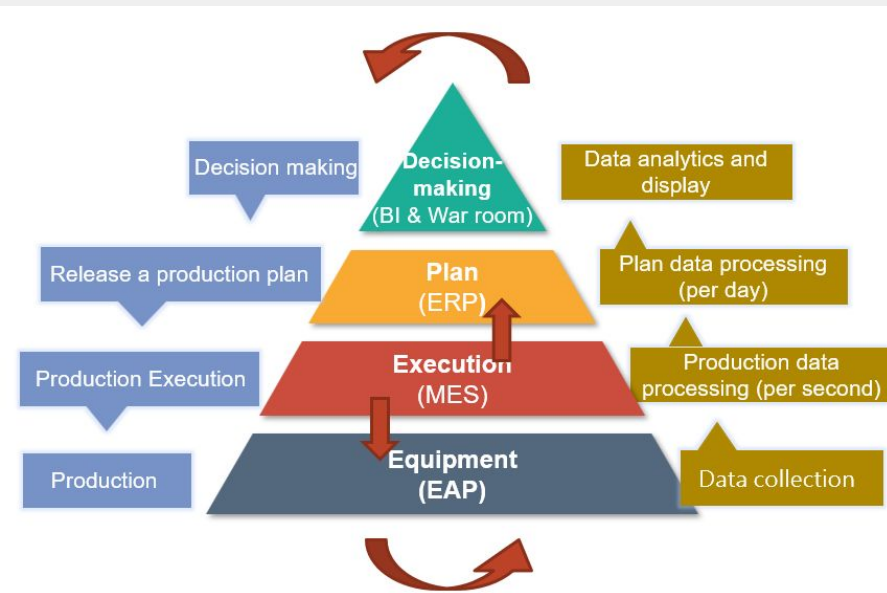
PLC(Programmable Logic Controller, 프로그램 가능 논리제어 장치)처럼 각종 입출력 센서로부터 신호를 받아 기계를 자동으로 제어하고 모니터링하는 공장자동화(Factory Automation) 솔루션



# 디지털 트윈의 구성

## 3. 가상 공간과 실제 세계를 이어주는 데 필요한 '공장 정보화' 시스템

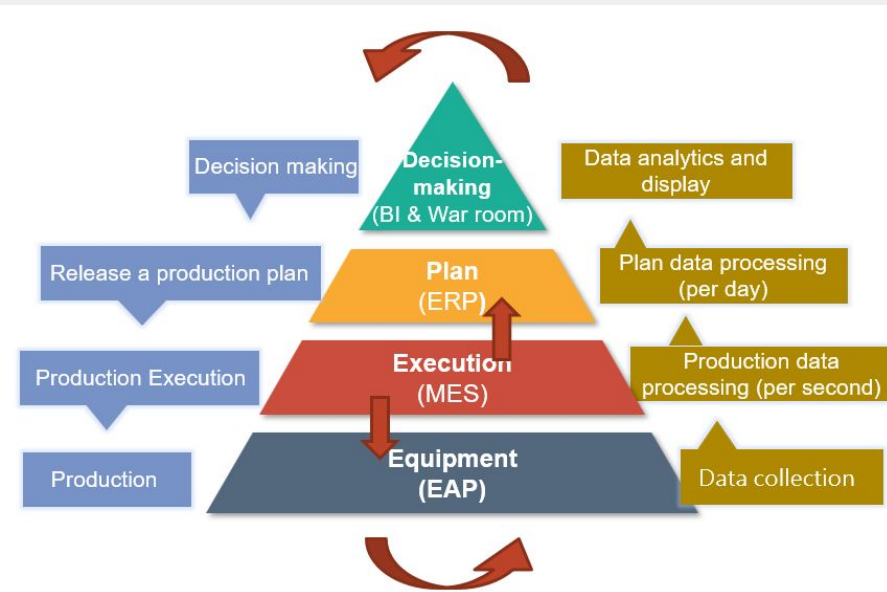
MES(Manufacturing Execution System, 제조실행시스템)처럼 가상 공간과 실제 세계에서 발생하는 정보를 유지적으로 연결해 통합 관리하는 공장 정보화 시스템



# 디지털 트윈의 구성

## 3. 가상 공간과 실제 세계를 이어주는 데 필요한 '공장 정보화' 시스템

MES(Manufacturing Execution System, 제조실행시스템)처럼 가상 공간과 실제 세계에서 발생하는 정보를 유지적으로 연결해 통합 관리하는 공장 정보화 시스템



# 디지털 트윈의 이점

## 실시간 모니터링 및 최적화(Real-time Monitoring and Optimization)

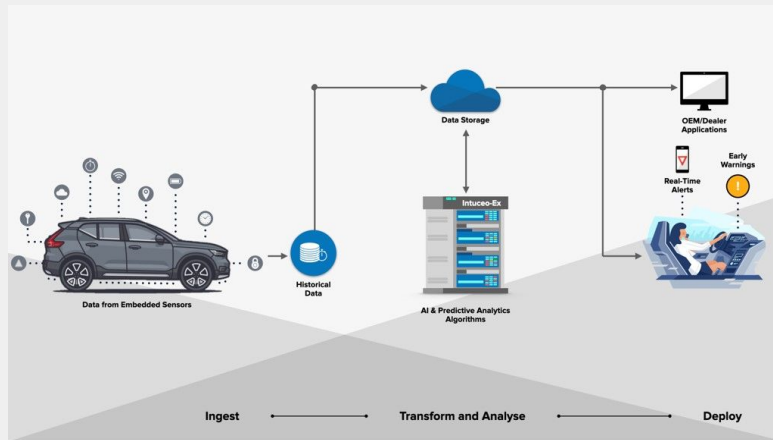
- 생산 설비의 실시간 상태를 가상 환경에서 모니터링할 수 있습니다.
- 예: 생산 라인의 각 기계에 부착된 센서가 실시간으로 데이터를 전송하면, 디지털 트윈은 이를 바탕으로 가상 모델을 업데이트합니다. 운영자는 이를 통해 생산 속도, 품질, 에너지 소비 등을 실시간으로 확인하고 최적화할 수 있습니다.



# 디지털 트윈의 이점

## 예측적 유지보수 (Predictive Maintenance)

- 장비의 고장을 사전에 예측하고 예방할 수 있습니다.
- 예: 디지털 트윈은 과거 데이터와 현재 상태를 분석하여 특정 부품의 수명을 예측합니다. 이를 통해 계획된 유지보수를 수행하여 예기치 않은 가동 중단을 방지할 수 있습니다.





# 디지털 트윈의 이점

## 가상 시뮬레이션을 통한 의사결정 지원 (Virtual Simulation for Decision Support)

- 생산 라인의 변경이나 새로운 제품 도입 시 가상 환경에서 시뮬레이션할 수 있습니다.
- 예: 새로운 제품 생산을 위해 라인을 재구성할 때, 디지털 트윈을 통해 여러 시나리오를 테스트하고 최적의 레이아웃을 결정할 수 있습니다.

# 디지털 트윈의 이점

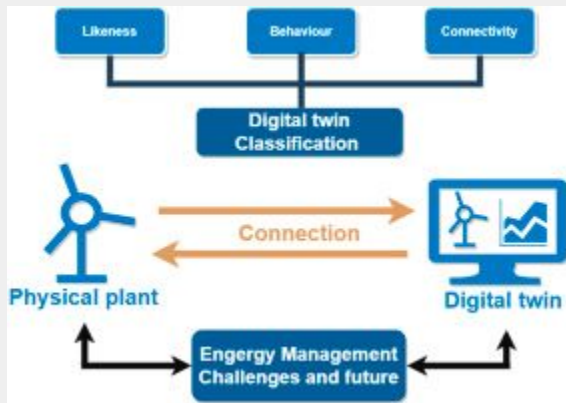
## 품질 관리 향상(Quality Management Improvement)

- 제품 품질을 실시간으로 모니터링하고 불량 원인을 신속히 파악할 수 있습니다.
- 예: 생산된 제품의 품질 데이터를 디지털 트윈에 즉시 반영하여, 품질 저하의 원인을 빠르게 식별하고 조치할 수 있습니다.

# 디지털 트윈의 이점

## 에너지 효율 최적화(Energy Efficiency Optimization)

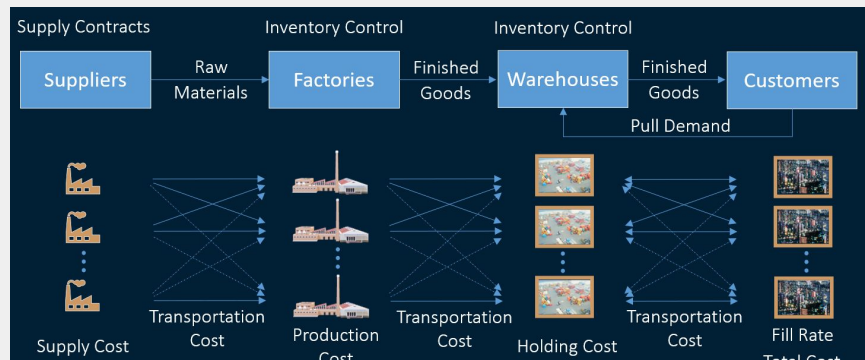
- 공장 전체의 에너지 사용을 모니터링하고 최적화할 수 있습니다.
- 예: 디지털 트윈은 각 설비의 에너지 소비 패턴을 분석하여, 피크 시간대의 사용을 분산시키거나 불필요한 에너지 소비를 줄이는 방안을 제시할 수 있습니다.



# 디지털 트윈의 이점

## 공급망 최적화(Supply Chain Optimization)

- 전체 공급망을 가상으로 모델링하여 병목 현상을 파악하고 최적화할 수 있습니다.
- 예: 원자재 공급부터 완제품 배송까지의 전 과정을 디지털 트윈으로 모델링하여, 재고 수준 최적화, 운송 경로 최적화 등을 수행할 수 있습니다.



# 디지털 트윈의 이점

## 작업자 교육 및 안전 향상(Worker Training and Safety Enhancement)

- 가상 환경에서 작업자 교육을 실시하고, 안전 시나리오를 시뮬레이션할 수 있습니다.
- 예: 위험한 작업 환경을 디지털 트윈으로 재현하여 안전 교육을 실시하거나, 새로운 장비 도입 시 작업자들이 가상 환경에서 미리 훈련할 수 있습니다.



# 디지털 트윈의 이점

## 제품 개발 주기 단축(Product Development Cycle Reduction)

- 제품 설계부터 생산까지의 전 과정을 가상으로 검증할 수 있습니다.
- 예: 신제품 개발 시 디지털 트윈을 통해 설계, 프로토타이핑, 생산 준비 등의 과정을 가상으로 수행하여 시간과 비용을 절감할 수 있습니다.

# 디지털 트윈의 이점

## 고객 맞춤형 생산 지원 (Support for Customized Production)

- 개별 고객의 요구사항을 빠르게 생산에 반영할 수 있습니다.
- 예: 고객의 주문 정보가 디지털 트윈에 입력되면, 즉시 생산 라인의 설정을 변경하여 맞춤형 제품을 효율적으로 생산할 수 있습니다.



# 디지털 트윈의 이점

## 지속가능성 향상(Sustainability Improvement)

- 자원 사용, 폐기물 발생, 탄소 배출 등을 종합적으로 모니터링하고 최적화할 수 있습니다.
- 예: 디지털 트윈을 통해 생산 과정의 환경 영향을 실시간으로 추적하고, 더 지속가능한 생산 방식을 모색할 수 있습니다

# 디지털 트윈 기술의 고도화 단계

## 디지털 트윈 고도화 단계



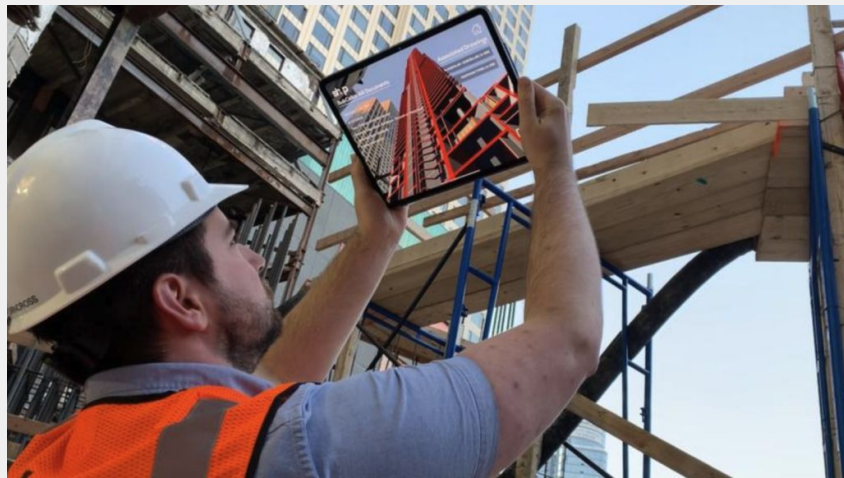
디지털 트윈 기술의 발전 단계. 과학기술정보통신부 “한국판 뉴딜 2.0, 초연결 산업분야의 핵심, 「디지털 트윈 활성화 전략」,” (2021.9) 재구성. 아하랩스 제공

# 디지털 트윈 기술의 고도화 단계

## 1단계 모사(Mirroring)

물리 대상을 디지털 트윈으로 복제 하고  
시각화 하는 단계

- 데이터를 시각화
- 실시간 3D 공간을 스캔하고, 해당 공간의 지형·건물·물체 등의 정보를 추출
- 이렇게 추출한 정보는 디지털 트윈을 제작하거나 AR, VR 콘텐츠를 만드는 등 여러 용도로 활용



유니티의 실시간 설계 검토 기술 - 유니티 제공



by Henry

# 디지털 트윈 기술의 고도화 단계

## 2단계 관제(Monitoring)

디지털 트윈을 기반으로 **물리적 대상을 모니터링** 하고 **제어** 할 수 있는 단계

- 현실의 정보 데이터를 실시간으로 받을 수 있는 **동기화 기술**
- 최근 인공지능 기술의 발달로 산업용AI가 관제 용도로 활발히 연구, 도입  
(예. 이상 탐지(Anomaly Detection) 딥러닝 알고리즘이 적용된 CCTV를 활용하면 제조 현장에 불이 나거나 기계설비가 고장났을 경우, 생산이 계획대로 안 되어 불량품이 나오는 등 정상이 아닌 비정상 상황을 감지하고 사용자에게 경고를 보낼 수 있다.)



# 디지털 트윈 기술의 고도화 단계

## 3단계 모의(Simulation)

현실의 복잡한 문제 시뮬레이션(모의)로 융합

- 현실의 데이터를 실시간으로 동기화하는지 여부
- 기존 시뮬레이션이 주변 상황과 다양한 물리량을 가정한 뒤 미래 어느 한 시점에서의 성능을 예측하는 과정
- **변화하는 주변 물리량 데이터**를 실시간으로 반영하면서 최적해를 찾아가 보다 높은 정확도를 달성
- **컴퓨팅 성능의 향상** 등으로 더욱 빠르고 광범위한 시뮬레이션 이 가능해지고 있는 추세





# 디지털 트윈 기술의 고도화 단계

## 3단계 모의(Simulation)

### 예시

- 제조업에서는 공장을 새로 짓기 전에 먼저 디지털 트윈을 이용한 시뮬레이션을 통해 설계도 상의 문제들을 미리 찾아낼 수 있다. 새로운 제품의 디자인을 최적화하는데 사용
- **일본 요코가와전기**와 **JSR 코퍼레이션**은 2022년 강화학습 기반의 **AI**를 이용해 화학 공장을 35일간 자율적으로 운영하는 테스트에 성공

AI가 증류탑의 액체를 적절한 수위로 유지하면서 폐열을 열원으로 최대한 활용할 수 있는 복잡한 조건을 찾아냄 -> 그 결과 품질 안정화와 높은 수율 달성, 에너지 절약이 가능

# 디지털 트윈 기술의 고도화 단계

## 4단계 연합(Federation)

최적화한 개별 디지털 트윈 두 개 이상을 통합해 상호 연계된 트윈으로 구성하는 단계

- 최근 학계에서는 연합 트윈에 대한 연구가 활발하게 이뤄지고 있음.
- 아직까지 디지털 트윈은 현실 세계의 단일 사물, 단일 공정, 또는 단일 시스템(공장 등)에 국한된 최적화가 주를 있음
- 향후에는 다양한 산업 도메인에서 디지털 트윈이 등장할 것으로 예상
- 다수의 **디지털 트윈이 협업**함으로써 여러 인과요인을 고려해 **복잡한 문제를 해결하는 방식으로 발전**이 예상

(예. 공장의 디지털 트윈, 물류 이동 차량의 디지털 트윈, 도시 전체의 디지털 트윈을 연합하여 원자재 수급부터 제품 폐기까지 수명 주기 전체를 모니터링하고, 이 전체 과정을 가장 효율적으로 운영할 수 있는 최적화된 방법을 찾을 수 있음)

# 디지털 트윈 기술의 고도화 단계

## 5단계 자율(Autonomous)

단일, 혹은 연합 디지털 트윈에서 자율적으로 문제점을 파악하고 해결책을 구현하는 완전 자율 동작 단계

- 지금까지의 스마트팩토리가 사람이 미리 정한 범위 내에서 자동으로 운영되었다면, 앞으로는 자율 디지털 트윈이 설비의 고장을 앞서 예측하여 공정을 알아서 최적화하거나 예기치 못한 문제가 발생해도 **디지털 트윈이 스스로 판단해 제어하는 것이 가능한 형태로 변화해 나갈 것**

# 결론

- 실제로 국내 중소기업기술정보진흥원 부설 스마트제조혁신추진단에 따르면 2023년 현재 기준 제조업체 **74.7%가 스마트공장 기초단계**에 머물러 있음(1단계(모사), 2단계(관제)가 일부분씩 구현된 단계)  
-> 먼저 다양한 제조공정, 품질 관리 시스템, 자재 창고 등 제조 현장 곳곳에서 **생산되는 데이터를 수집해서 서로 연결하는 것이 중요**
- 이렇게 모든 데이터를 통합 모니터링하게 되면 전체 공정에 대한 가시성이 높아지고, 효율을 크게 개선할 수 있음
- 이 단계가 적용되고 나면 **산업용AI로 시뮬레이션**을 수행해 불량이 발생한 원인을 알아내거나 **높은 수율을 달성할 수 있는 최적 조건을 도출하는 등 현실의 문제를 해결할 수 있고**, 이것이 곧 제조 현장의 디지털 트윈이 됩니다.



△브스뉴스

실리콘밸리 아님...?

요즘 한국 농장 근황