

디지털트윈과 스마트 아일랜드

(제주 Smart e-Valley 포럼)



한국디지털트윈 연구소(KDT Lab)
KAIST, 전기전자공학부
명예교수 김 탁 곤

2021. 6. 18.

- ◆ 디지털트윈(Digital Twin: DT) 소개
- ◆ 스마트 아일랜드 문제 정의
- ◆ 시스템 연구 접근법
- ◆ DT 운용 기술 및 구성요소
- ◆ 기계학습 기반 DT 모델 한계점
- ◆ BAS(Big Data, AI, Simulation) 기반 DT 모델
- ◆ 연역/귀납 융합 빅 데이터 응용 예
- ◆ 디지털트윈 플랫폼 및 서비스 수준

디지털트윈(DT: Digital Twin) 정의 및 운용 개념

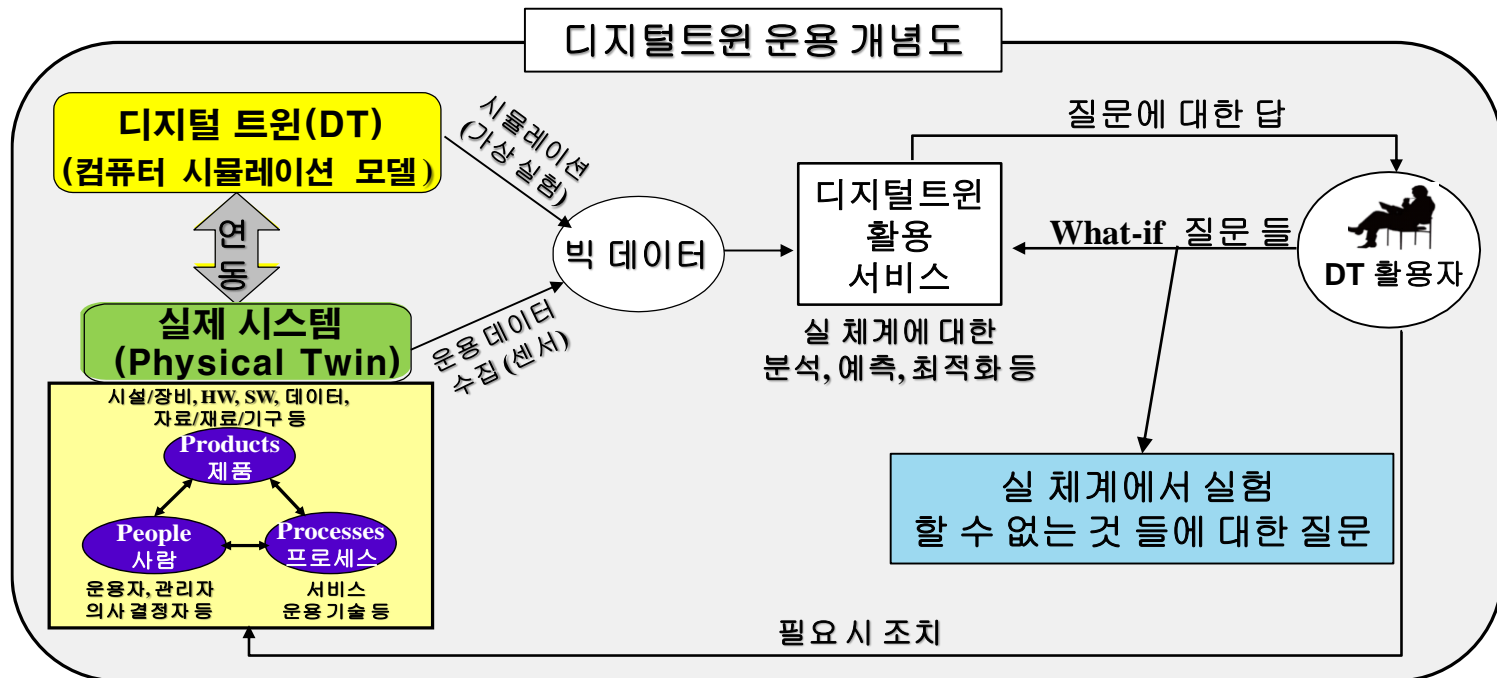
3

◆ 정의: 물리적 자산, 프로세스 및 시스템에 대한 디지털 복제본[Wiki 사전]

→ 대상 물체의 구성 요소 및 동작 특성을 표현하는 **Living 디지털 시뮬레이션 모델**

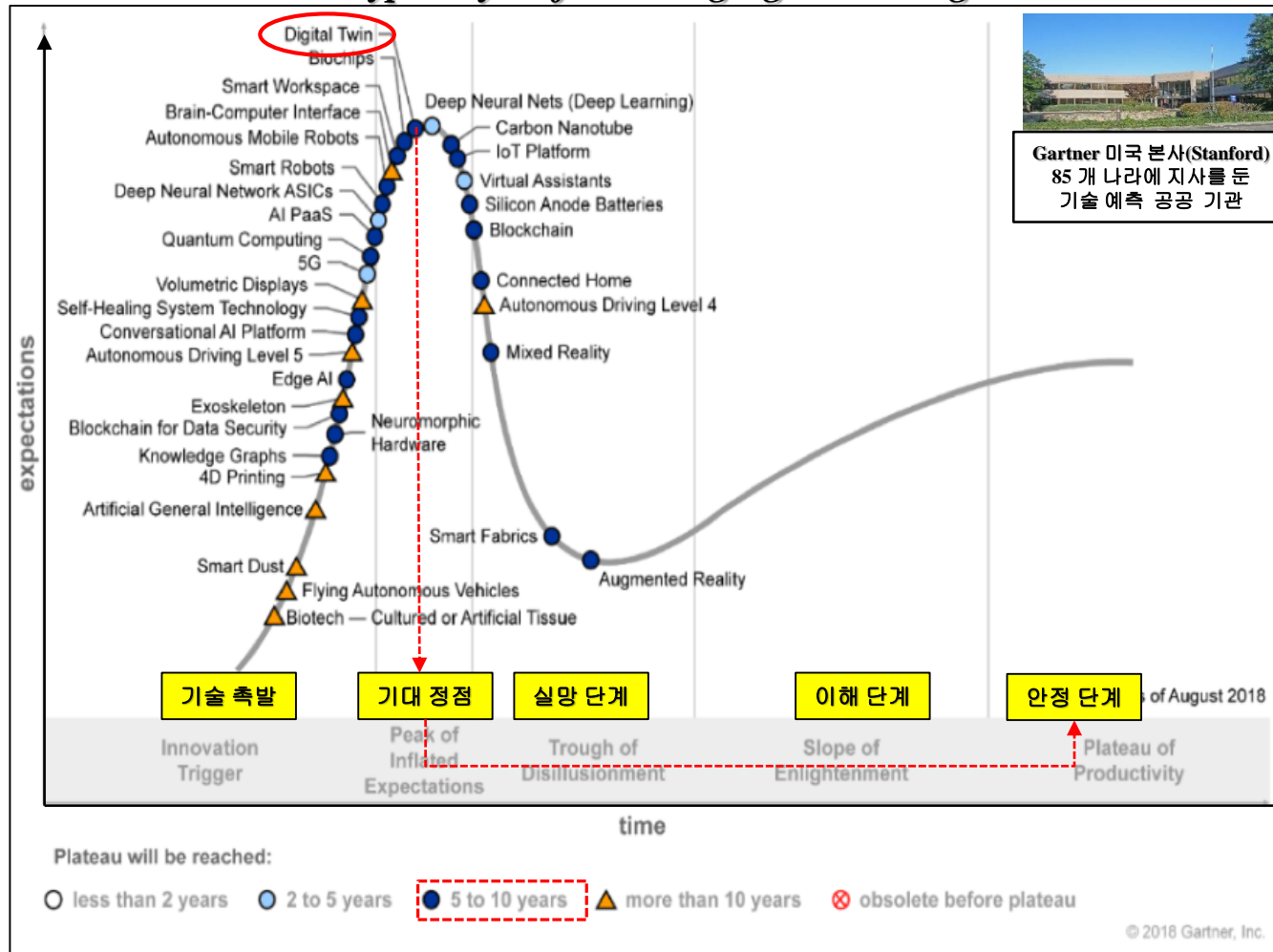
◆ 운용 개념: DT(시뮬레이션 모델)의 수명주기가 실 체계와 연동되어 함께 살아 감

- 실 체계와 연동하여 **학습/진화**를 통하여 일관성 유지 및 동질성 유지
- 실 체계 Life cycle 과 **동기화** → 설계 – 구현 – 검증 – 운용 – 유지보수



Digital Twin 등장 – Garter 2018 년 Emerging Tech

Hyper Cycle for Emerging Technologies 2018



Gartner 미국 본사(Stanford)
85 개 나라에 지사를 둔
기술 예측 공공 기관

[자료 출처] Gartner 사 2018 년 기술 전망 보고서

DT 기술 전망 및 경제적 파급 효과

5

| DT 포함 기술 분야 (5/30) | Gartner 기술 예측 Hypber cycle 에서 위치 | | | | | |
|--|----------------------------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|
| | 기술 촉발 | 기대 정점 | 실망 단계 | 이해 단계 | 안정 단계 | 안정 단계 도달 기간 |
| Hybrid Infrastructure Services | | | 2020 | | | 2 - 5 년 |
| Data and Analytics Governance and Master Data Management | | | 2019 → 2020 | | | 2 - 5 년 |
| IoT | | | 2019 → 2020 | | | 2 - 5 년 |
| Embedded Software and Systems | | | 2019 → 2020 | | | 2 - 5 년 |
| Real-Time Health Systems | 2020 | | | | | 10 년 이상 |
| 2020 Emerging Technologies | Citizen DT DT of Person | | | | | 5-10 년 |

[자료] Gartner 발표 2019, 2020 년 30 개 기술 예측 Hypercycle 기반 요약 정리

디지털트윈 도입에 따른 2025 년 경제적 부가가치 추정 (단위: 조 달러)

| | 전체 | 팩토리 | 도시 | 물류 | 소매 | 자동차 | 홈 | 헬스케어 |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 최소 | 3.9 | 1.2 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 최대 | 11.1 | 3.7 | 1.6 | 0.8 | 1.1 | 0.7 | 0.3 | 1.5 |

[자료 출처] 맥킨지(2015)

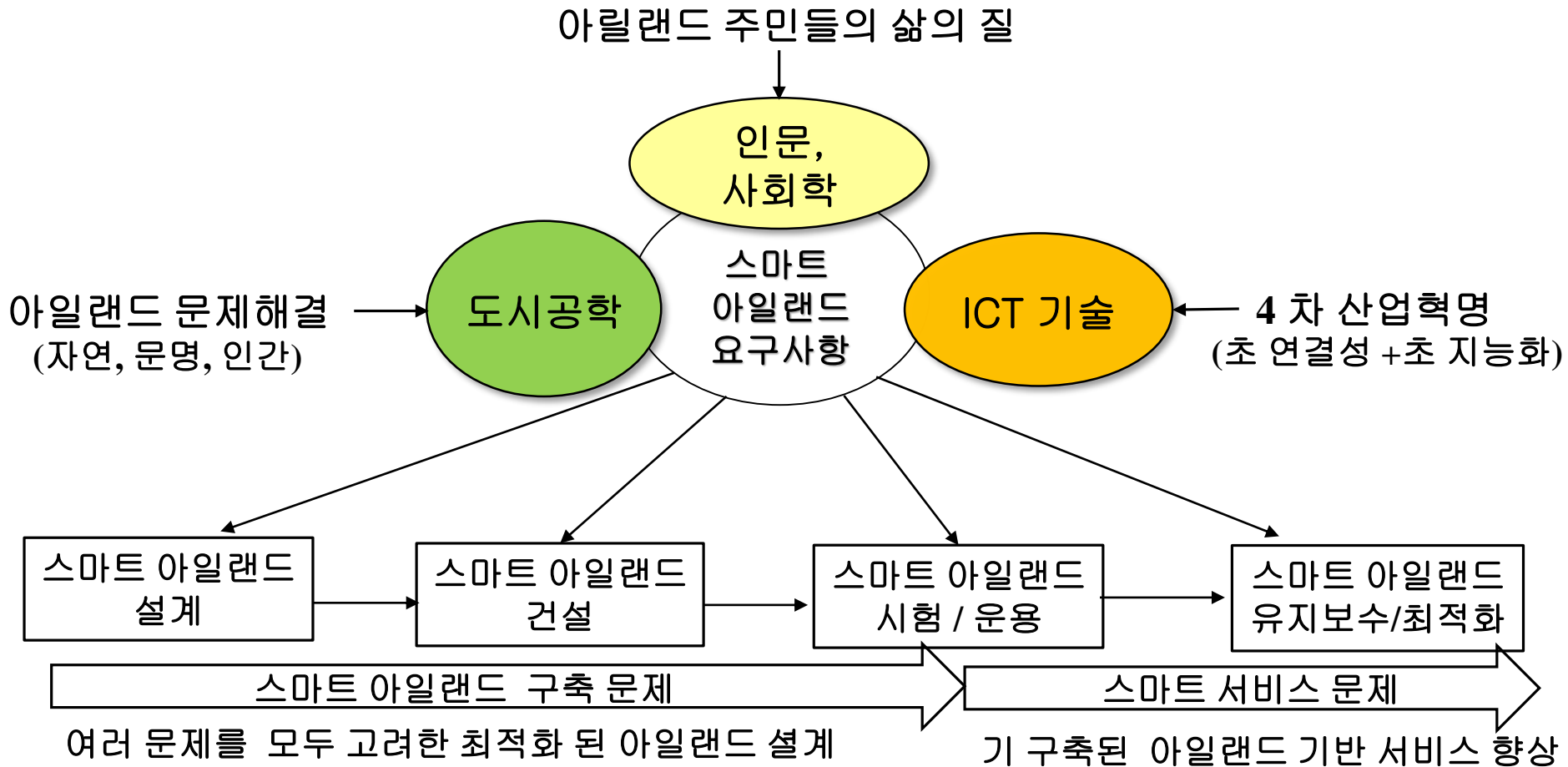
* 직접 매출: 150 억 달러 예상 *

< 2021년 한국판 뉴딜 10대 과제 >

| 디지털 뉴딜 | 디지털·그린 융복합 | 그린 뉴딜 |
|-------------------------------------|--|--|
| ① 데이터 댐 ② 지능형 정부 ③ 스마트 의료 인프라 | ④ 그린스마트스쿨 ⑤ 디지털 트윈 ⑥ 국민안전 SOC 디지털화 ⑦ 스마트 그린산단 | ⑧ 그린 리모델링 ⑨ 그린 에너지 ⑩ 친환경 미래 모빌리티 |

[자료 출처] 기획재정부 2021 년도 예산안 홍보 자료

스마트 아일랜드 문제 정의: 요구 사항 및 수명주기

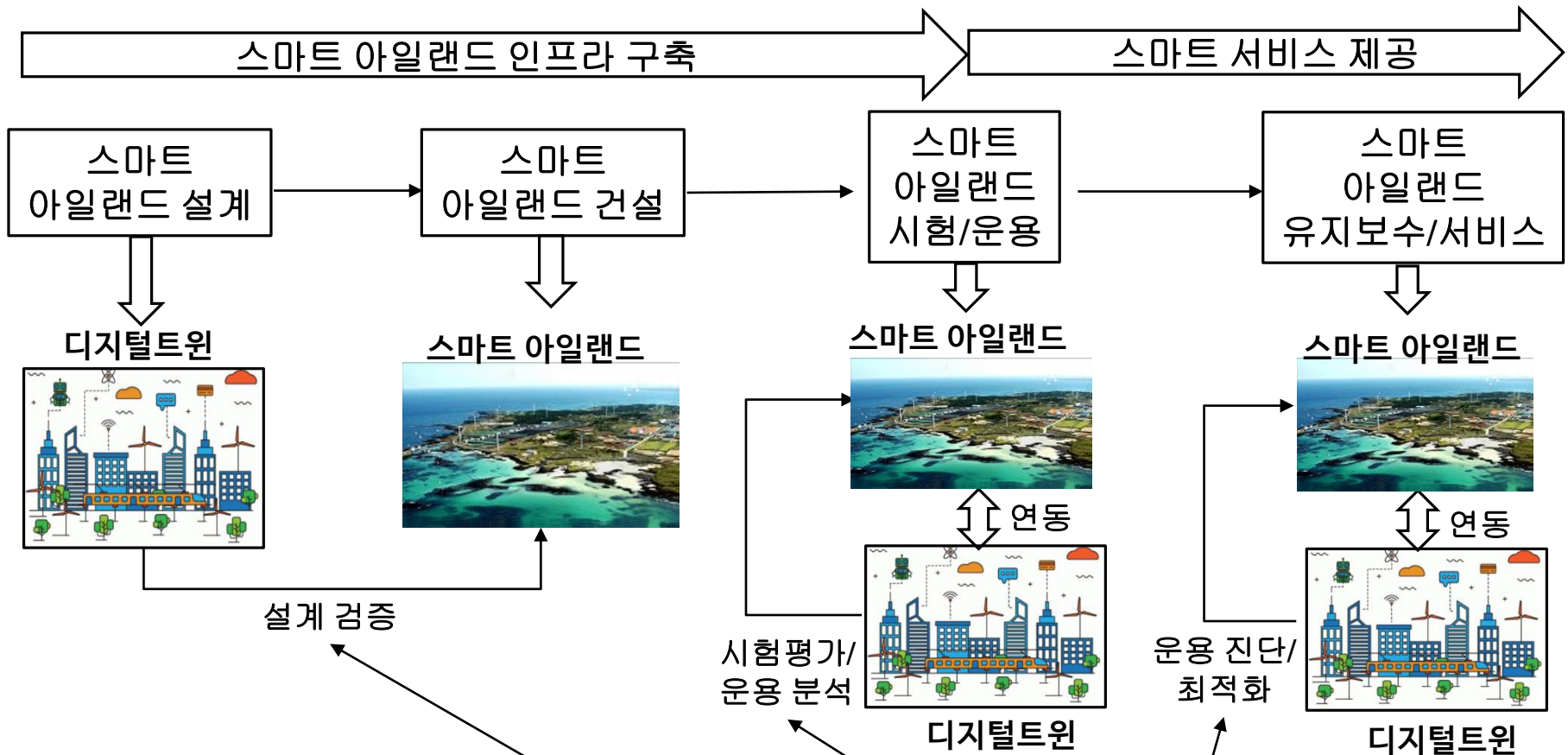


- 관찰: 2 개의 문제는 해결을 위한 접근 방법과 적용 기술이 다른 문제 임.

→ 질문: 우리는 무슨 문제를 풀려고 하는냐?

스마트 아일랜드 수명주기에서 디지털트윈 역할

8



- 질문: 개발될 디지털트윈 목적은 **건축 용** 이냐 혹은 **서비스** 용이냐?

복합시스템(SoS)으로서의 스마트 아일랜드

9

◆ 시스템(체계) 정의

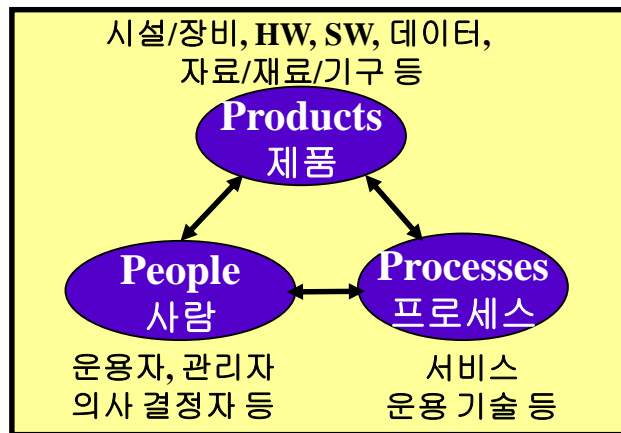
여러 개의 구성요소(Component)들이 모여서 개별 구성요소들 만으로는 불가능했던 기능/성능을 만족시키는 구성요소들의 조합 (예: 교통시스템)

◆ 복합 시스템(SoS: System of Systems)

시스템을 구성하는 개별 구성요소 들이 독립적인 역할을 수행하는 경우의 시스템 (예: 스마트 아일랜드)

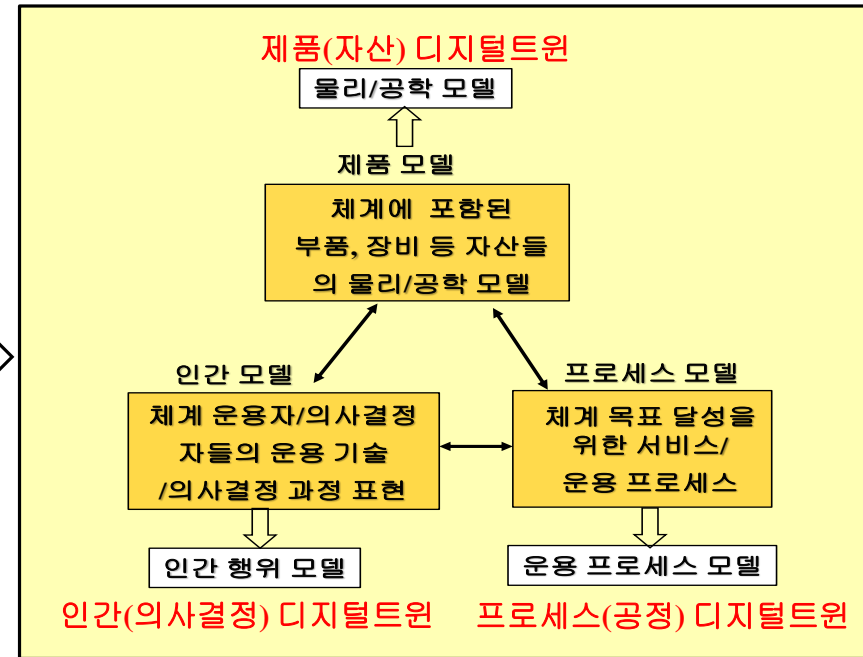
◆ 시스템 구성요소(3P)

MIL-STD-499B (미국방 표준)



시스템 모델

디지털트윈


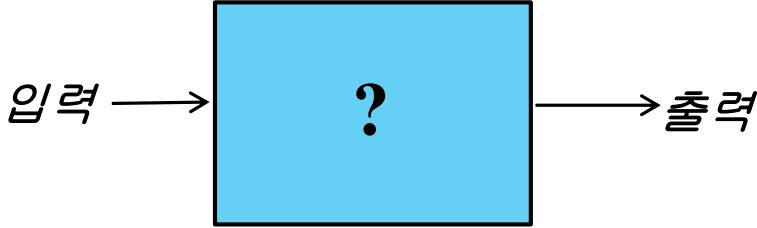



3 가지 구성요소 디지털트윈의 다양한 조합

시스템 연구 목표 - 서비스 제공(질문 -> 답)

10

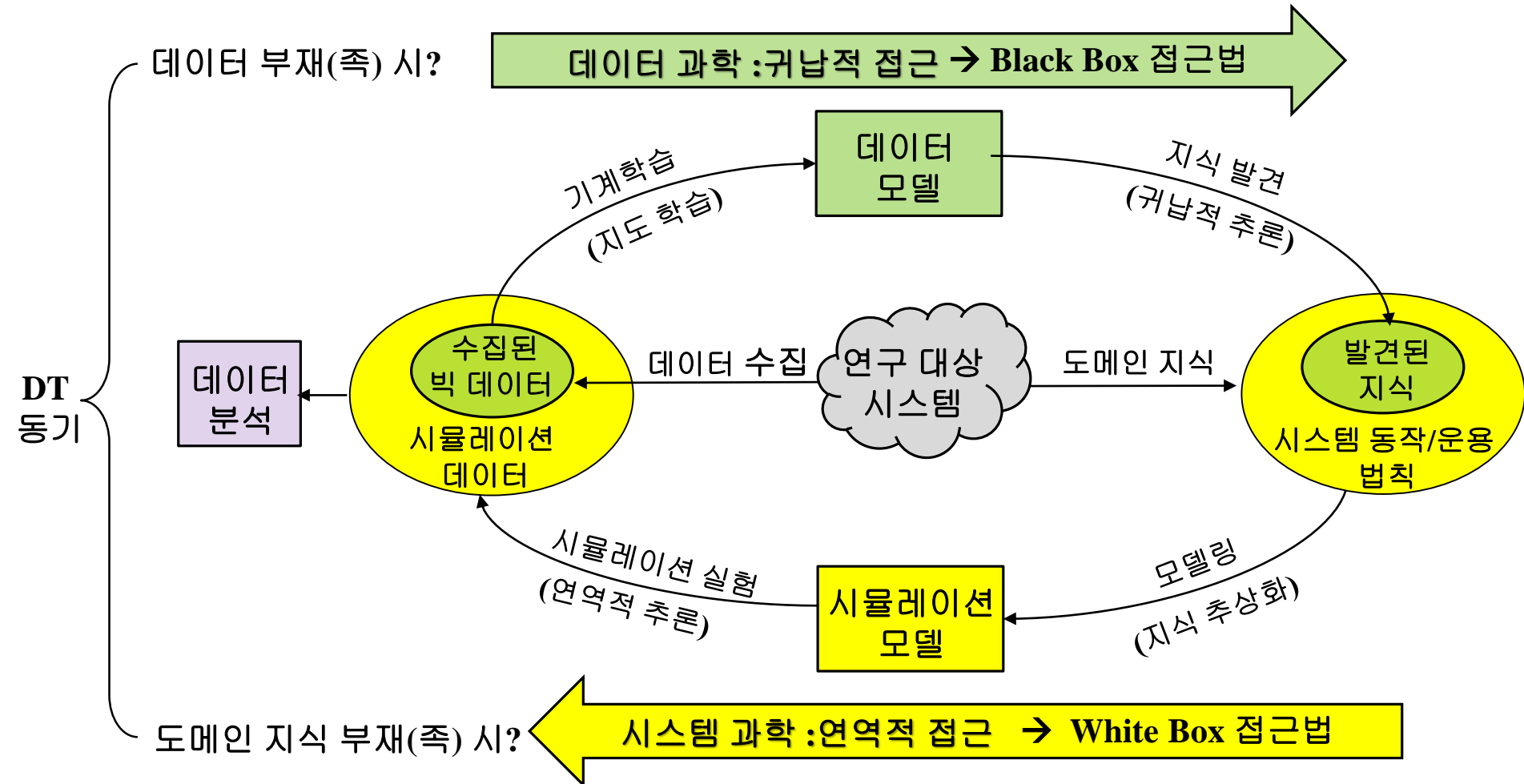
◆ 기본 이론: 입력, 시스템, 출력 중 2 개만 알면 나머지 한 개는 구할 수 있다.

| | | |
|--|---------------------------|---|
|  | <p>시스템 분석 문제</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 건강한 체계에 주어진 입력을 인가하면 어떤 결과가 나오느냐? → 기능 검증, 성능 분석(예측) 등 • 주어진 체계의 건강 상태와 수명은? → 고장진단, 수명 예측 등 |
|  | <p>시스템 설계 문제</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 주어진 입력에 대응하는 출력 값을 만족시키는 체계는 어떤 것인가? → SBD (Simulation Based Design) → SBA (SB Acquisition) 등 |
|  | <p>시스템 최적화 문제</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 주어진 체계에서 주어진 출력 값을 내기 위한 입력 값은 무엇인가? → 정적 최적화 (파라미터 최적화) 동적최적화(행위 최적화/강화 학습) 등 |

◆ 모델 기반 시스템 공학 → 디지털트윈 모델 기반 시스템 서비스

모델링 접근 방법: 데이터 과학 vs 시스템 과학

11



[관찰] **시뮬레이션 모델의 입/출력 범위** >> **데이터 모델의 입/출력 범위**

모델 기반 시스템 연구: 귀납적 vs 연역적

12

시스템 : 블랙 박스
귀납적(경험) 접근

대상 시스템



시스템 : 화이트 박스
연역적(이론) 접근

운용 빅 데이터 수집

도메인 지식

데이터 / 이벤트

데이터 / 이벤트 + 물리 법칙 / 운용 논리

부재 시

가상적
데이터/이벤트

기계학습

모델 변환

데이터 모델
혹은
프로세스 모델

대안 적용

시뮬레이션 모델

대안에 대한
운용 데이터?

시뮬레이션 및 분석

데이터/프로세스 분석

대안
검증?

- 현재 운용의 문제점 분석
- 현재 상태 유지 시 예측
- 현재 운용에서 최적화 상태 탐색 발견

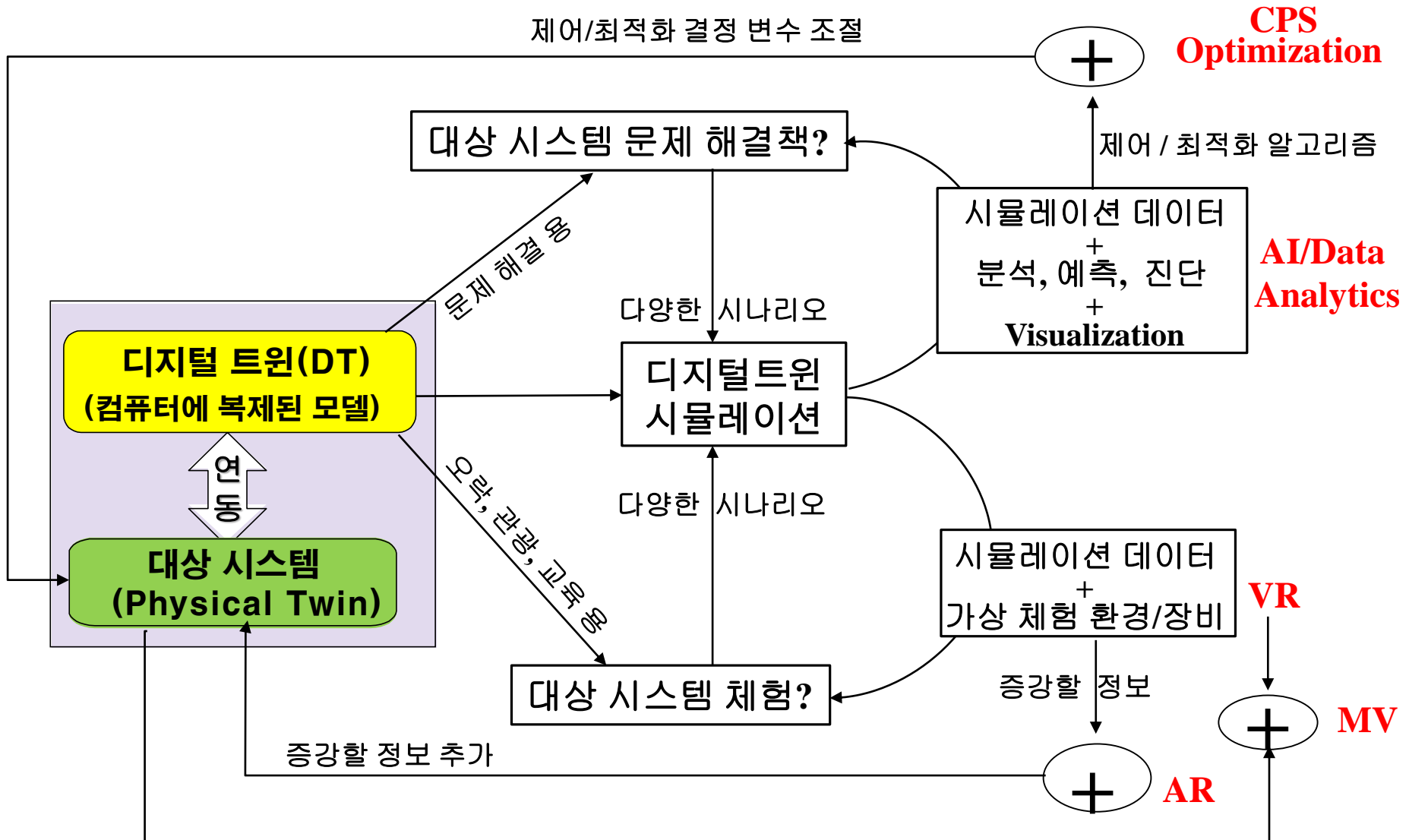
대안
제시

- 현 운용 및 가상 운용 시나리오 분석
- 제시된 대안 검증
- 대안을 사용할 시 예측
- 기존 운용+대안을 포함한 최적화

[질문] 우리는 연구 대상 시스템을 전혀 모르느냐? → 알면 왜 블랙박스로 놓고 연구 하느냐? → DT?

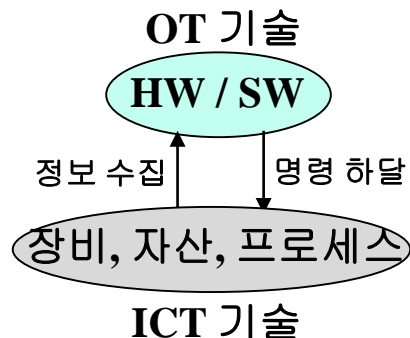
DT와 관련된 BuzzWords

13

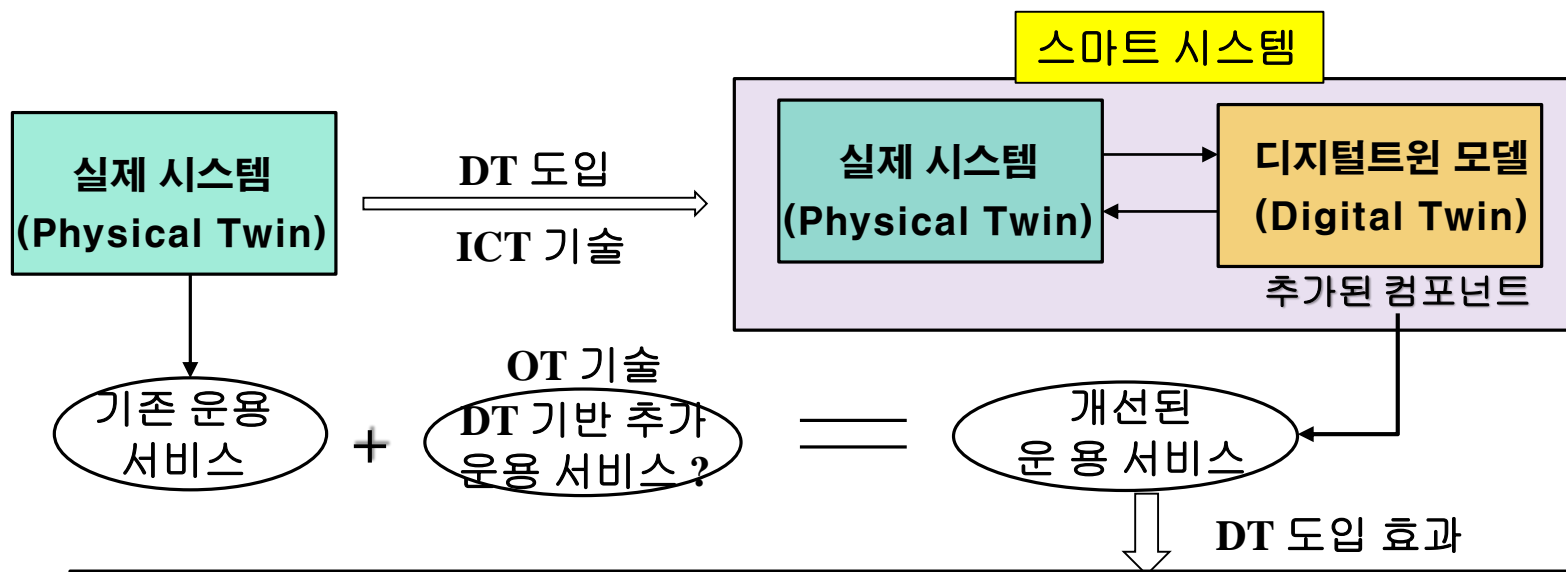


DT으로 무엇을 할 것 인가? → DT 운용 기술

14



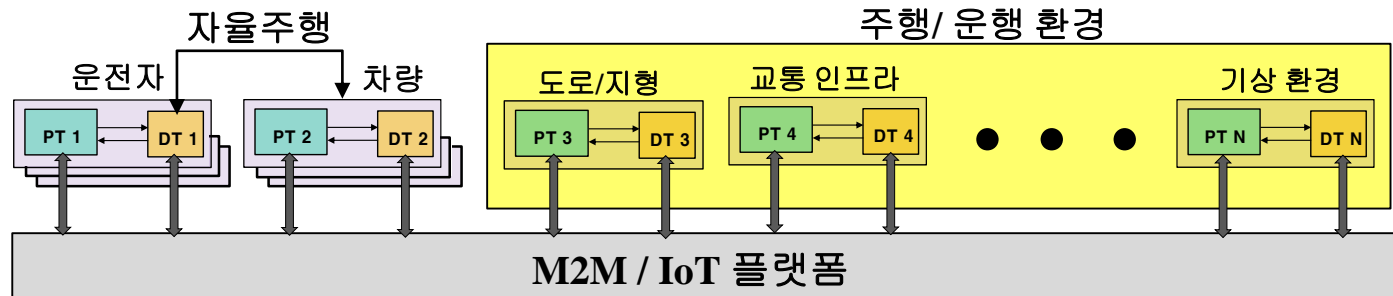
- OT 기술 (Operational Technology) – 서비스 기술 → **DT 운용 기술**
만들어진 시스템의 효율적 운용으로 시스템 관련 다양한 문제에 대한 해결책 제시 (시스템 분석/고장 진단, 예측, 최적화 등)
- ICT 기술 – 인프라 구축 기술 → **DT 구축 기술**
시스템을 만드는 기술



- ◆ 기능적 측면: 못 풀던 문제를 풀었는가? → 새로운 서비스 창출 / 수준 향상
- ◆ 효율성 측면: 문제의 답의 정확도 혹은 문제 푸는 시간 단축? → 서비스 품질 향상

PTi-DTi 연동 운용 서비스 예: 전기차 자율 주행 15

◆ M2M / IoT 플랫폼에서 자율주행 서비스



◆ DT 연결망의 역할

❖ 정보 교환 – PT 자신의 주변 및 원 거리

- 자동차와 자동차 (속도, 위치, 센서 데이터), 자동차와 주행 환경

❖ 상황 인식 공유 – PT 자신의 주변 및 원 거리

- 주변 사고/장애물, 도로 상의 사람, 열악한 도로 사정(미끄럼, 흙탕물 등)

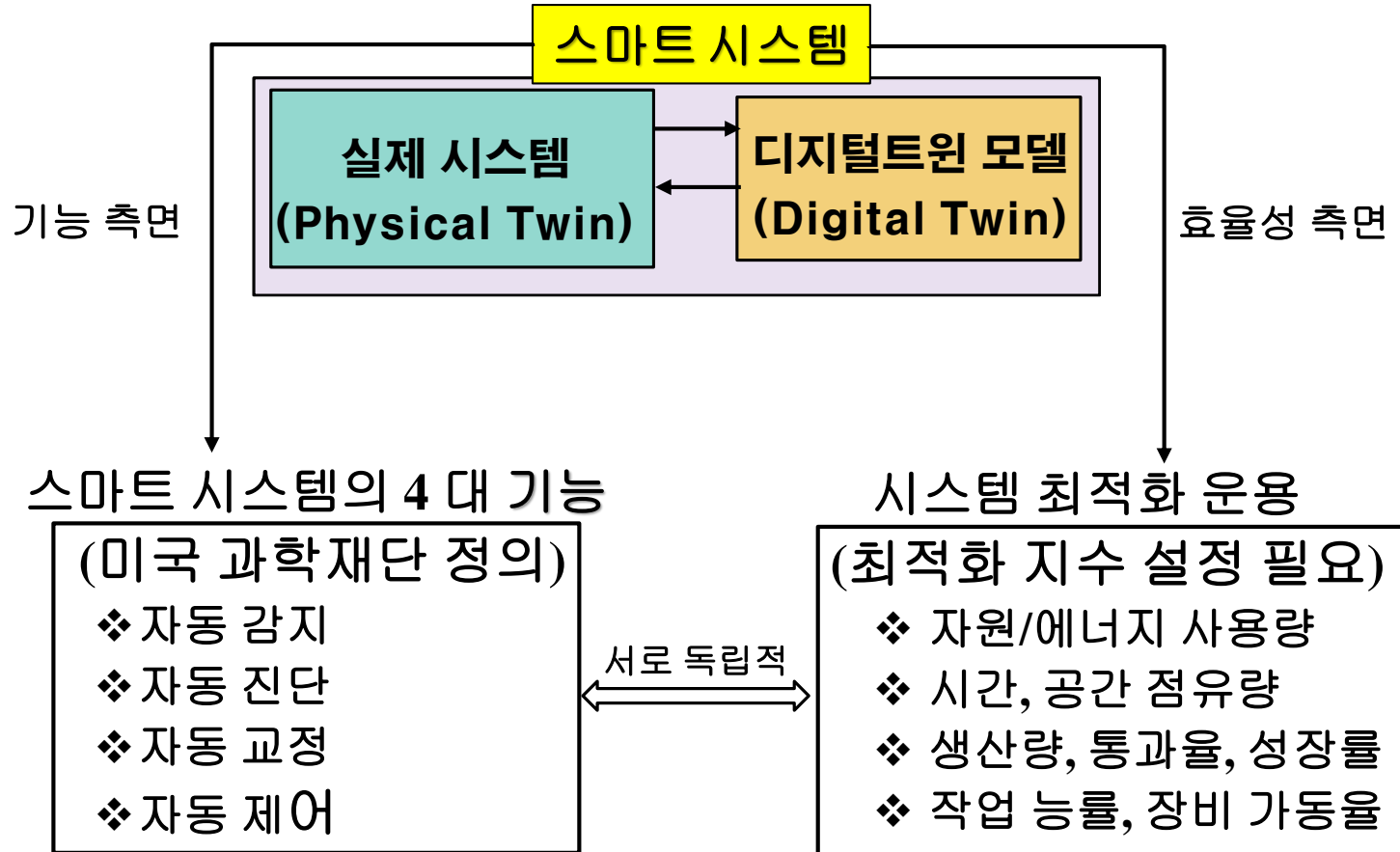
❖ 자율주행과 IoT를 결합한 새로운 서비스 창출

- 자율주행차를 IoT 상의 제어 가능한 객체로 생각한 다양한 서비스 들
- Valet 파킹, 군집 주행, ToD(Transportation on Demand)

시스템 + DT = 스마트 시스템

16

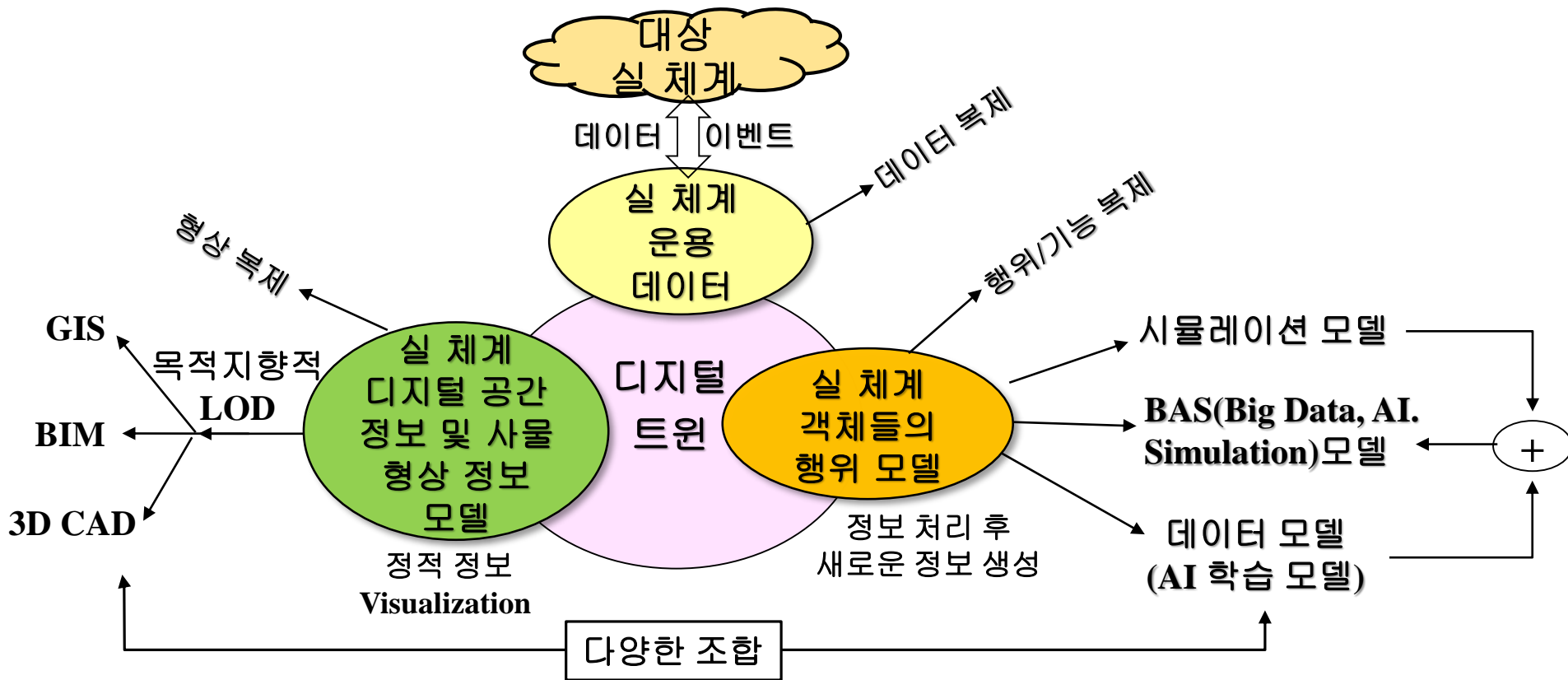
◆ DT 구축이 목적이 아니라 DT를 수단/도구로 실 체계의 스마트 화가 최종 목적 임



스마트 제주 아일랜드 = 제주 아일랜드 + 아일랜드 DT

디지털트윈 - 구성 요소는 무엇인가?

17



◆ 디지털트윈 예

- 실시간 교통 정보/GPS + GIS + 교통 시뮬레이션 모델 → 교통 디지털트윈(네비)
- BIM + 재난 대피 시뮬레이션 모델 → 재난 대피 디지털트윈
- GIS + BIM + 3D CAD + 아일랜드의 각종 서비스 모델들 → 스마트 아일랜드 디지털 트윈

디지털트윈 예 : 미세먼지 예측 및 전파 디지털트윈 18

◆ 디지털트윈 구축 목적

- 캠퍼스 건물 신축 시 준공 전/후의 미세먼지 전파 비교

◆ 디지털트윈 구성요소

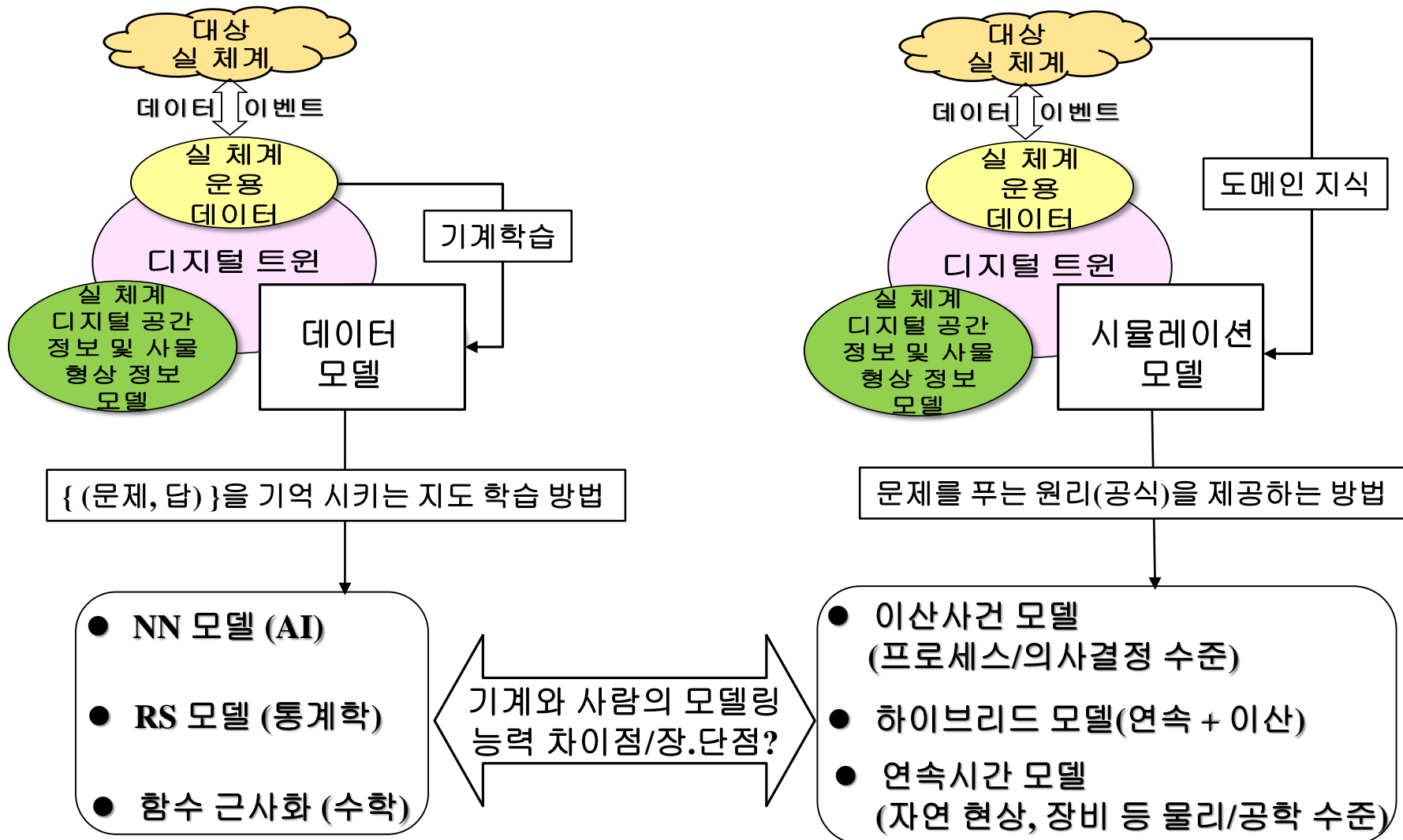
- GIS + BIM + 객체 모델 + CFD 시뮬레이션 모델



[자료 출처] 한국디지털트윈 연구소

디지털트윈의 실 체계 객체 행위 모델링 방법

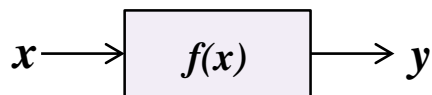
19



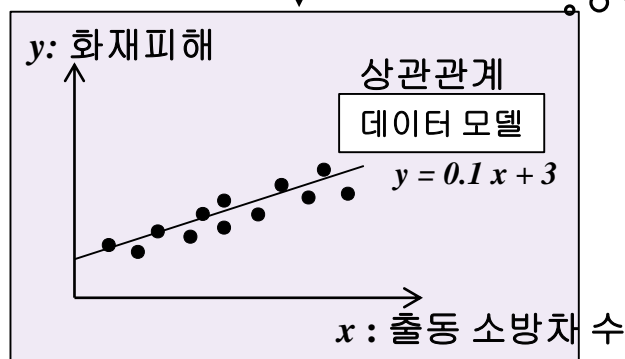
데이터 모델의 구조적 문제(1): 인과관계 부재

20

- 입/출력 인과관계: x 값 변화가 y 값 변화의 원인이 되는가?



관측된 $\{(x, y)\}$ 빅 데이터를
이용한 지도학습



(x, y) 사이의 인과관계를 알 수 없음

데이터 모델 관찰

출동 소방차 수(x)가 늘어나면
화재 피해(y)가 증가 한다.

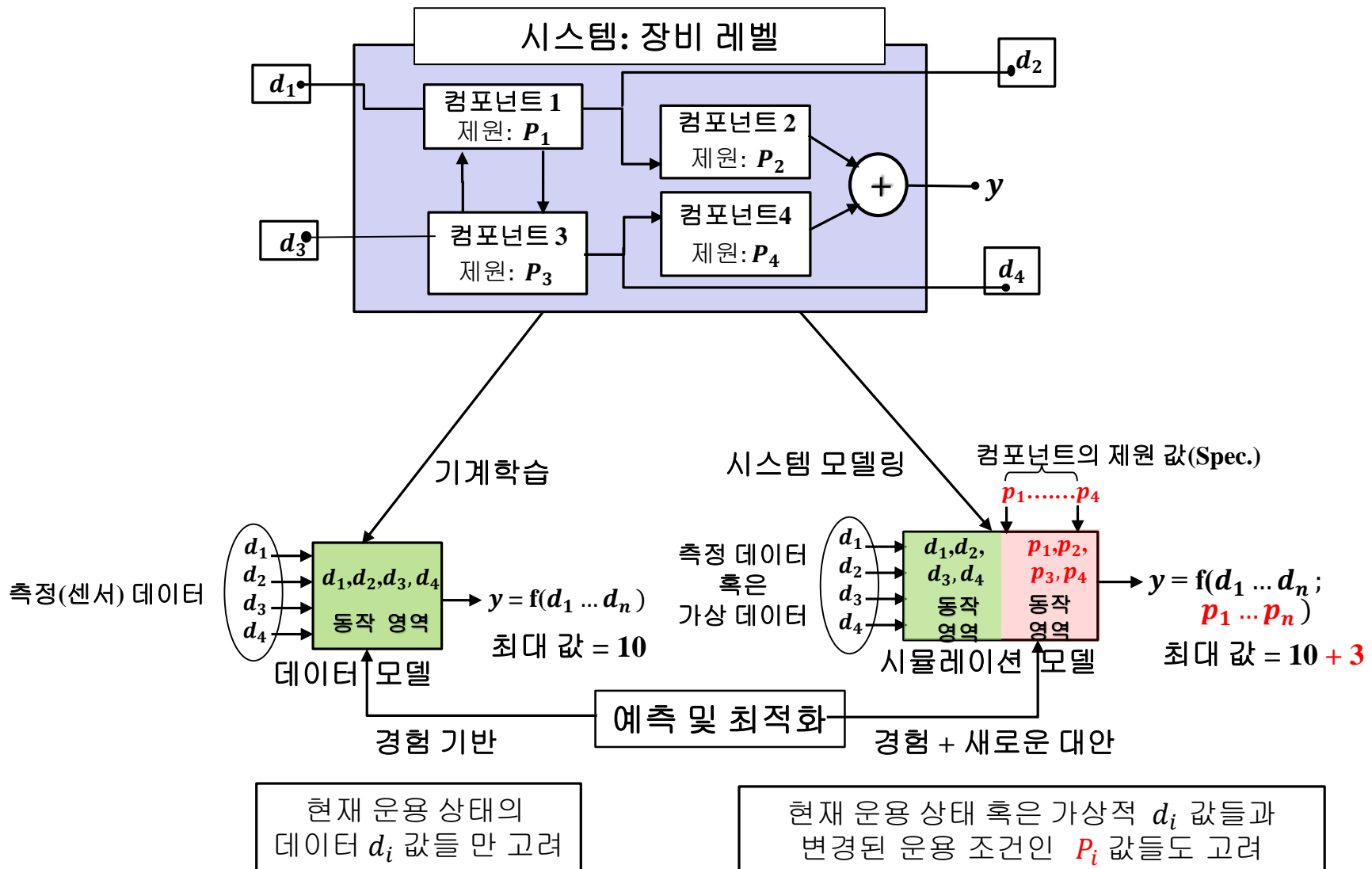
시스템 유지 보수 적용?

인과관계에
기반한 고장 원인 진단 불가능

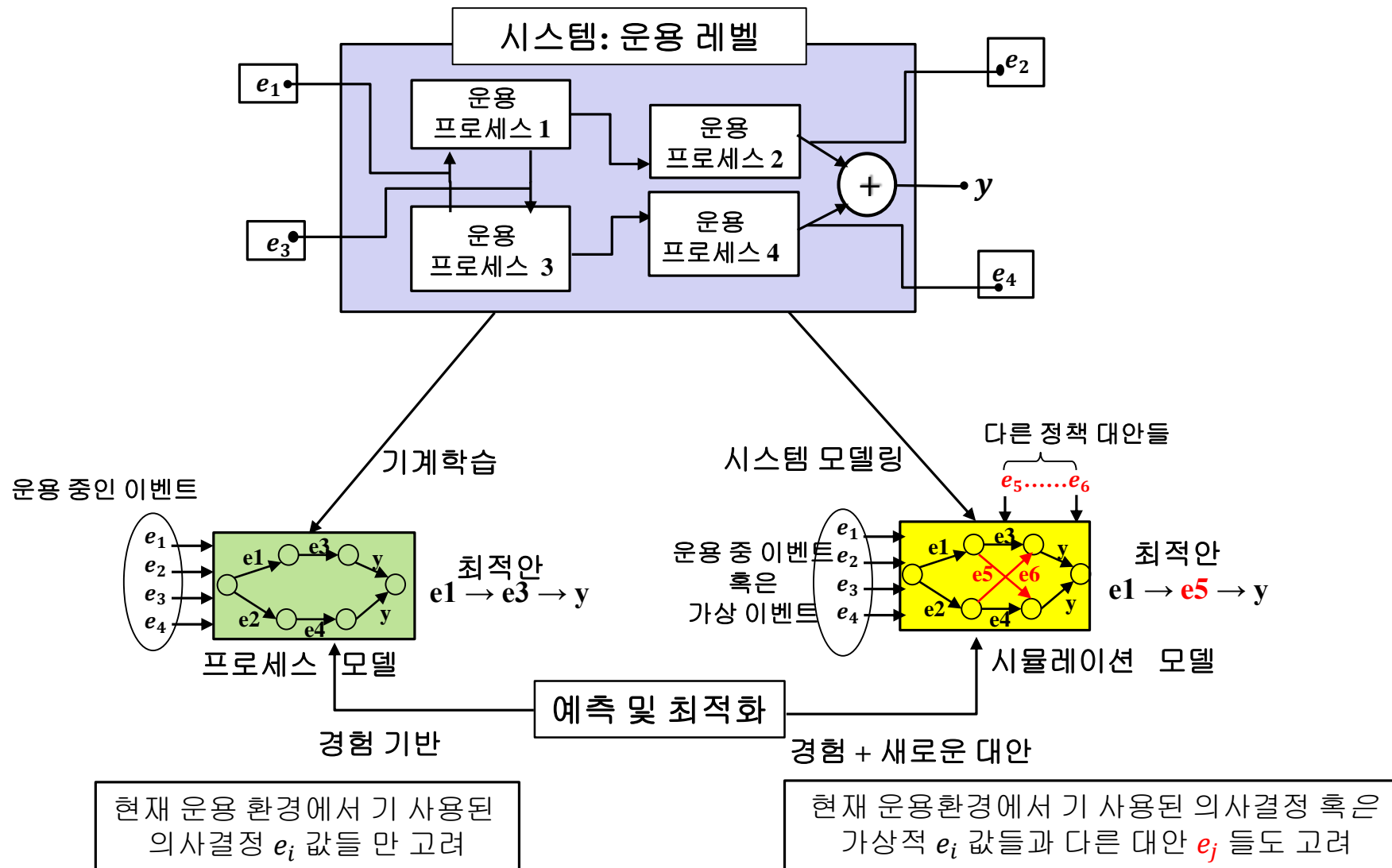
[질문] **BD + AI** 기반 소방 정책 결정: 화재 피해 줄이려면 소방차 출동 하지 마라 → 논리적 모순

[주] 시뮬레이션 모델은 도메인 지식을 이용하여 인과 관계를 명시적으로 표현 함.

데이터 모델의 구조적 문제(2): 운용조건 변경(1/2)₂₁

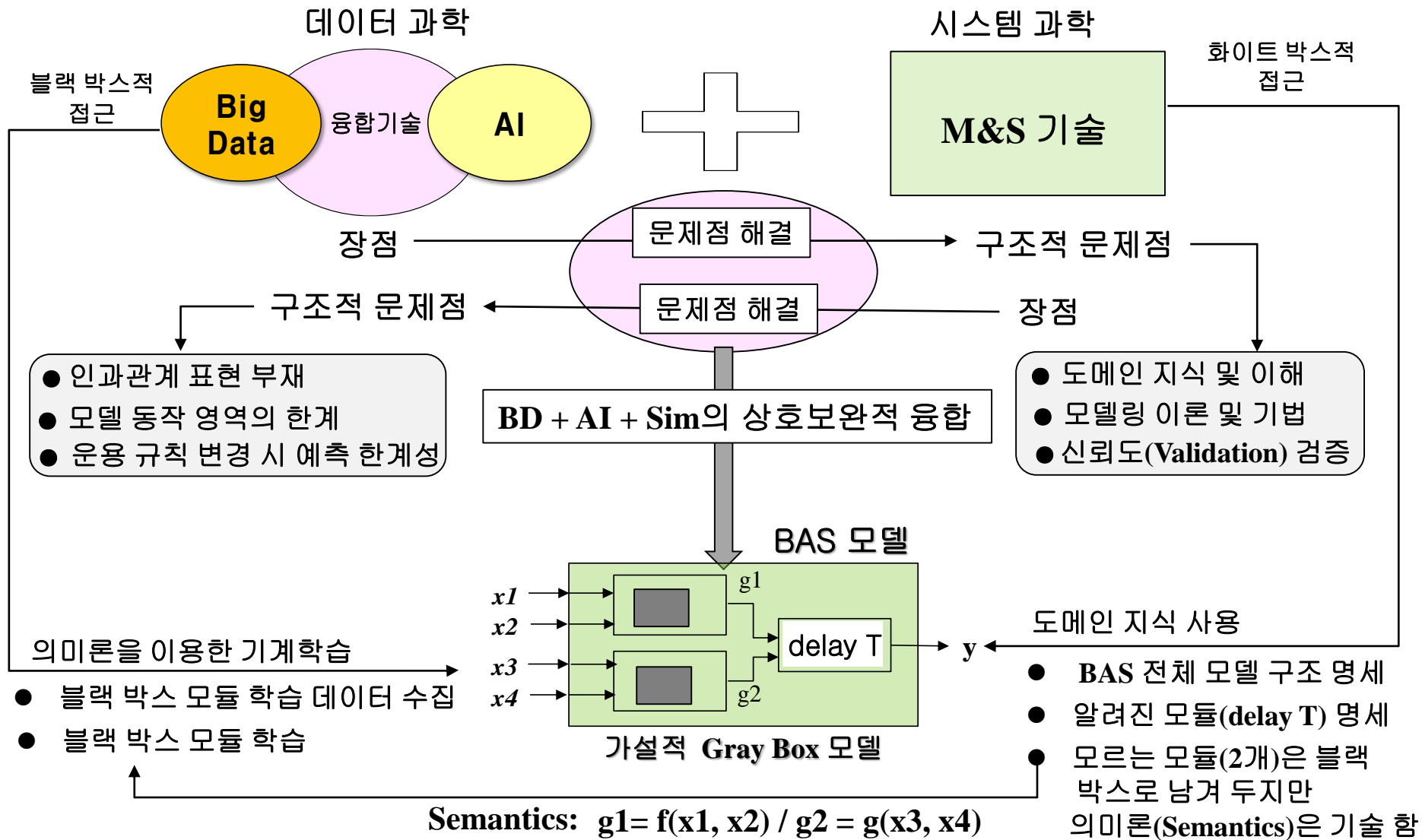


데이터 모델의 구조적 문제(2): 운용조건 변경(2/2)¹²



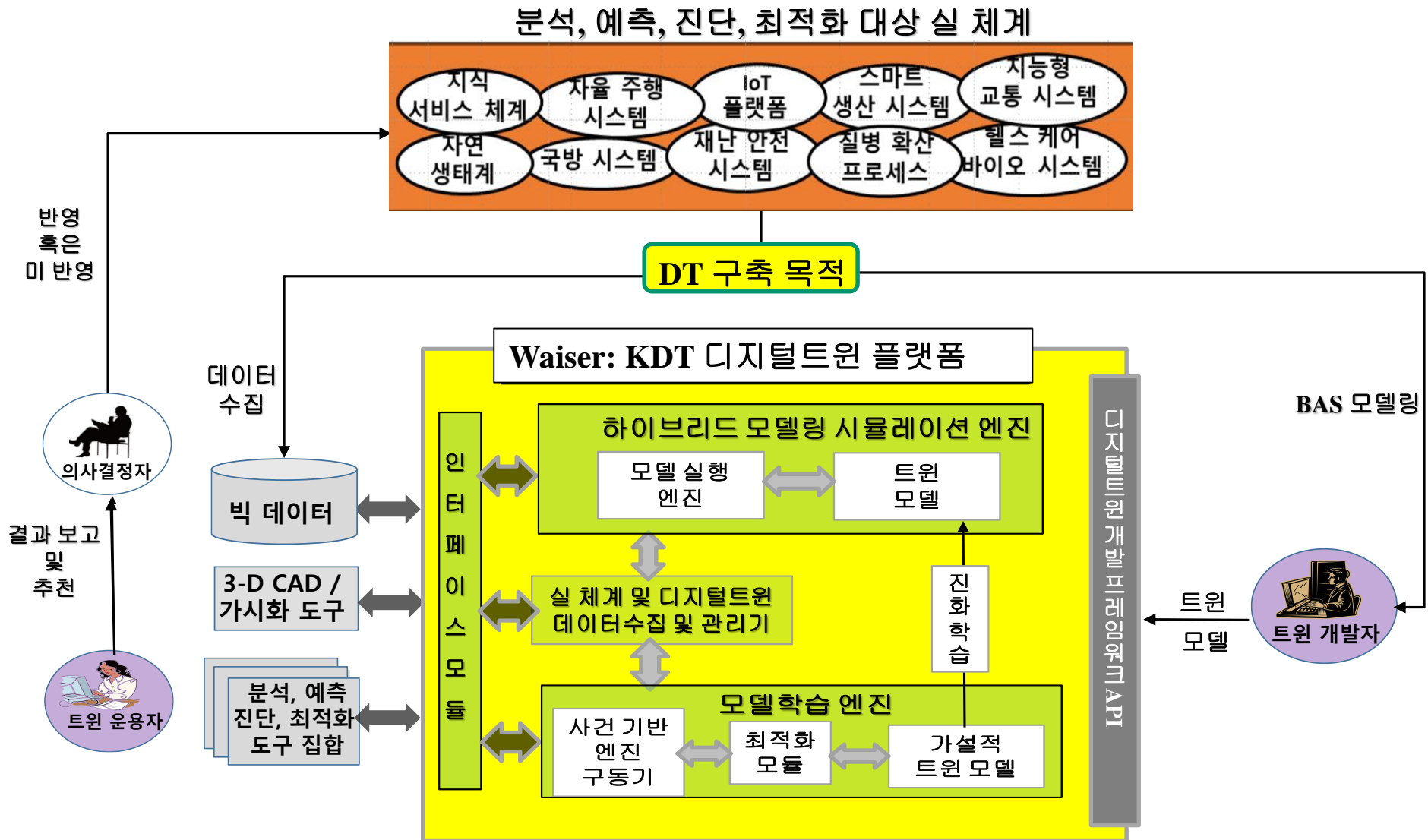
BAS(Big Data + AI + Simulation) 모델링 개념

23

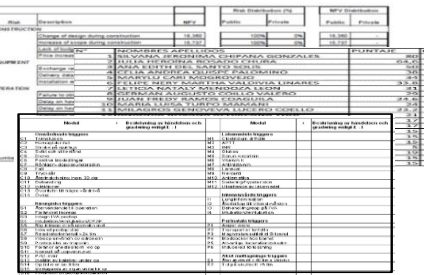


BAS 기반 DT M&S 플랫폼 및 활용 방안

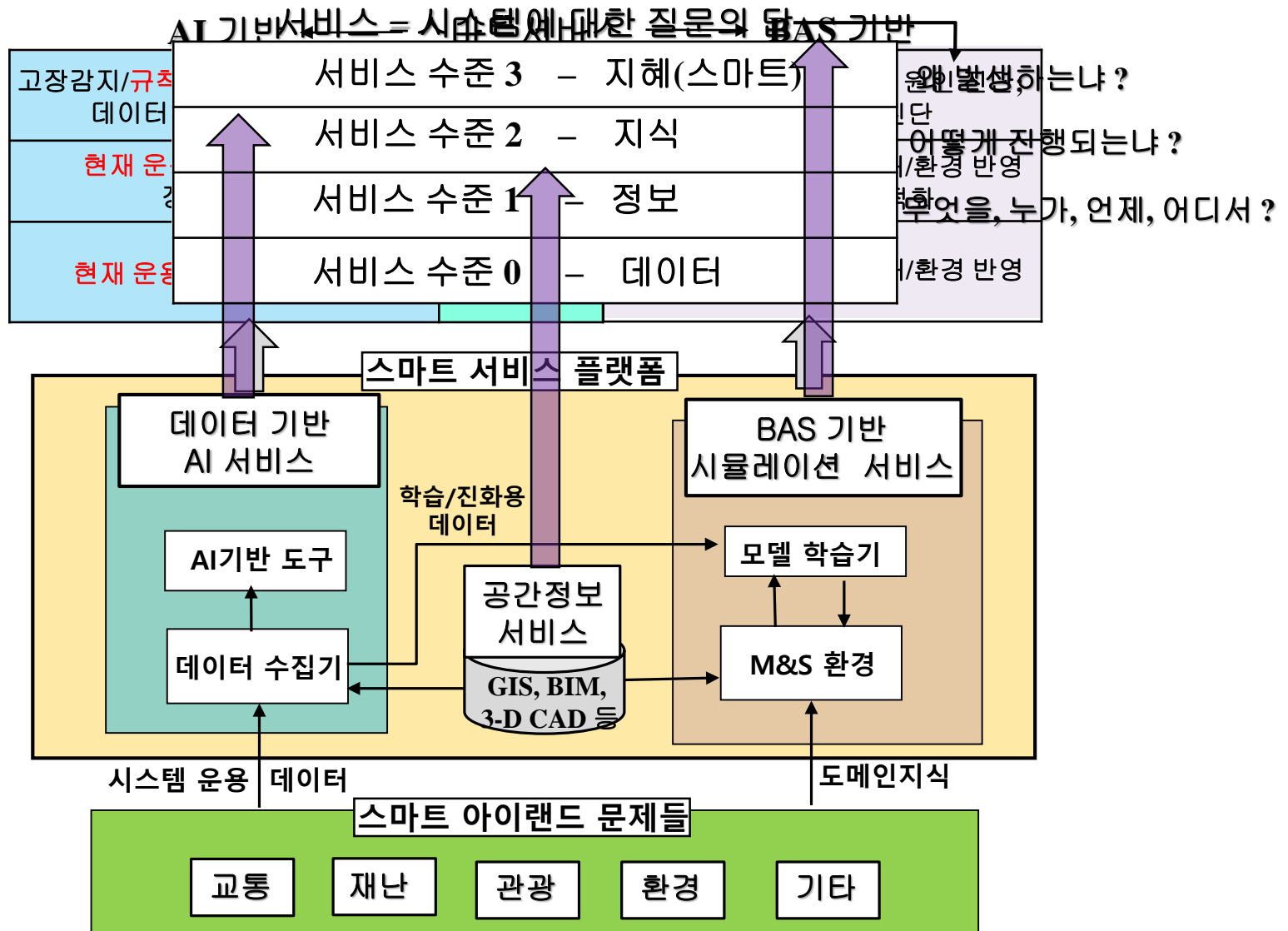
24



25



BAS 기반 디지털트윈 플랫폼 구조 및 서비스 수준 26



Thank You!
Questions?