

[AINA] 생태계 위원회 & 6G 무선 오픈랜 R&D 협의체 공동회의

디지털 트윈 기반 네트워크 장애예방 및 운영관리 자동화 기술 개발

2026. 08. 26

주 관 기 관

- 한국전자통신연구원

공동연구기관

- KT
- SKT
- LG유플러스
- 지엔텔
- 케이벨
- 넷비전텔레콤
- 아라드네트웍스
- 아키스
- 한국네트워크산업협회
- 전남대학교



디지털 트윈 기반 네트워크 장애예방 및 운영관리 자동화 기술



사업 분야

정보통신·방송기술개발사업



참여 인력

371명 (79.9 M/Y)



총 수행기간

2024.04.01. ~ 2028.12.31.(57개월)
단계사업 : 2 단계



주관기관

ETRI 한국전자통신연구원
Electronics and Telecommunications
Research Institute



총괄책임자

네트워크연구본부 패킷네트워크연구실
류 호 용 실장

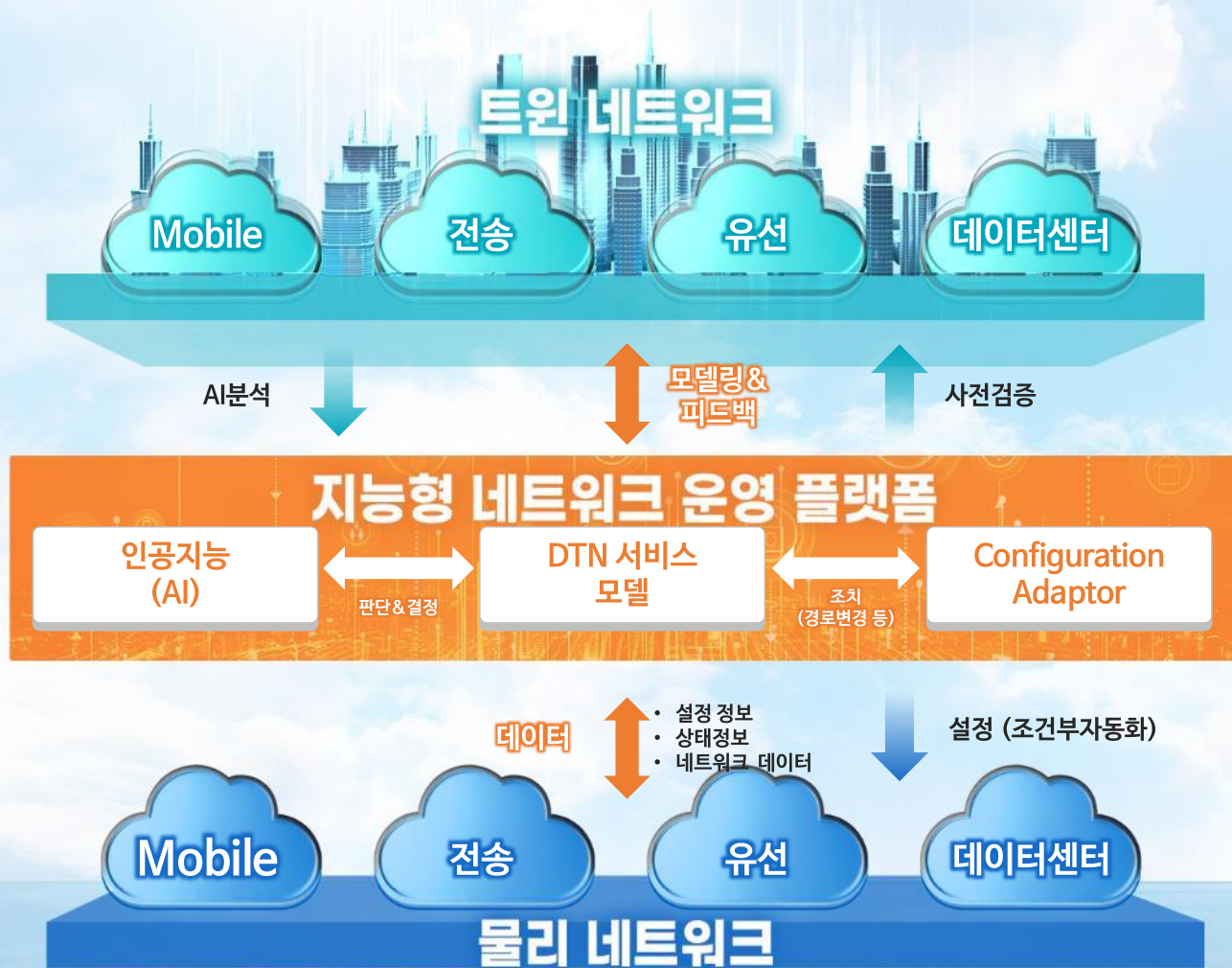


공동연구기관



디지털 트윈 기반 지능형 네트워크 장애예방 및 운영 관리 자동화 플랫폼 개발

디지털 트윈 네트워크 기술 개념도



디지털 트윈 네트워크 기술 핵심요소

네트워크 데이터 관리 기술
(NSoT : Network Source of Truth)

네트워크 트윈 가상화 모델 기술
(Basic/Functional Model)

실/가상 실시간 동기화 기술
(Sim-To-Real Integration)

네트워크 트윈 플랫폼화 기술
(Gen UI/XAI)

통신 장애 → 전체 경제 시스템의 마비 초래

국내 통신장애 발생 현황

최근 10년간 약 19건의 통신망 장애 사고 발생,
피해 규모는 건당 수백억원의 경제적 손실 발생

2014	04	가입자 정합장치(HLR) 과부하로 이동통신 2시간 중단 ▶HLR 장비 추가 도입 계획 발표	피해자 560 만명	
2017	09	교환기 장애로 통신 서비스 지연 사고 40분 발생	피해자 290 만명	
	10	기지국 오류로 무선 데이터 서비스 지연 5시간 발생 ▶피해자 대상 1인당 평균 423원 보상	보상규모 10 억원	
2018	04	음성서버 다운, 이동통신 음성 서비스 2시간 중단 ▶피해자 대상 1인당 7,300원 보상	피해자 730 만명	보상규모 220 억원
	11	아현지사 화재, 유·무선 통신서비스 장애 13일 지속 ▶정부 통신시설 점검 범위 확대, 통신사망 공유 체계	피해자 79 만명	보상규모 317 억원
2021	10	라우팅 설정 오류로 유·무선 인터넷망 89분 중단 ▶정부 "네트워크 안정성 확보 방안" 마련	피해자 730 만명	보상규모 400 억원
2023	11	라우터 포트 불량으로 정부 행정망 1주일 중단·지연 ▶통합 모니터링 체계 구축, 시스템 구조 개선	정부 민원업무 72 시간	

보상규모

10억원 → 400억원

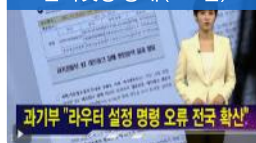
중단 시간

0.08일 → 7일

아현지사 장애('18년)



인터넷망 장애('21년)



행정망 장애('23년)



국외 통신장애 발생 현황

해외 주요국에서도 대규모 통신망 장애 사고 발생,
피해 규모는 수십조원의 경제적 손실 발생

	AT&T	[‘24.02] 네트워크 설정 오류, 미 전역 12시간 통신 마
--	------	-------------------------------------

네트워크 복잡도 증가 → 통신 장애 대응의 체계화·지능화 필수

Hardware & Physical Layer

- Check Network Switches/Routers
- Test connectivity
- Resolve loose Cable
- Cool Down HW
- Check Network Switches/Routers
- Test connectivity
- Resolve loose Cable
- Cool Down HW

Software & Configuration

- Update Firmware and Software
- Network Segmentation
- Split Horizon
- Firmware Software
- Monitoring Routing Changes
- Control Load Balancing

Security & Access

- Check Client Credentials
- VPN Client Software
- VPN Server Status
- VPN Connectivity Problems
- ACL Configuration/NAT
- Cabling Faults/Noise
- Interface Configuration Errors

Bandwidth & Performance

- High Bandwidth Usage
- High CPU Overload
- Network Device Errors

DNS & IP Issue

- DNS Issue
- IP Address Conflicts
- Addressing Mapping Errors
- Misconfiguration

Hardware & Other

- Hardware Faults
- Wireless Interference
- Optical Cable Noise
- Software Conflicts/Overheating
- Configuration Change Management Failure

Connectivity & Routing

- Routing Table/Routing Problems
- STP Failures of Loops
- Neighbor Issues

User-Centric Symptoms

- Show Application/Network Speed
- Leggy Video Calls
- Choppy VoIP Quality
- Intermittent Network Problems

Network Performance Indicators

- High Latency RTT ↑
- High Packet Loss ↑
- High Jitter ↑
- Web Connectivity Failures
- Link Flapping
- Service Degradation
- Network Congestion

Routing Check

- Network Monitoring
- Log Analysis
- Cable/Connector Checks
- Device Testing

HW중심 → SW중심 → AI기반 자동 관제로 진화

01

HW중심
분산
네트워크

- ✓ 분산된 네트워크 장비에 설치된 네트워크 프로토콜 소프트웨어 기반 데이터 경로 제어 및 관리
- ✓ EMS/NMS 기반 수동 운용 관리 ('11 이전 Legacy 네트워크 환경)

02

SDN/NFV
개방형
제어 관리

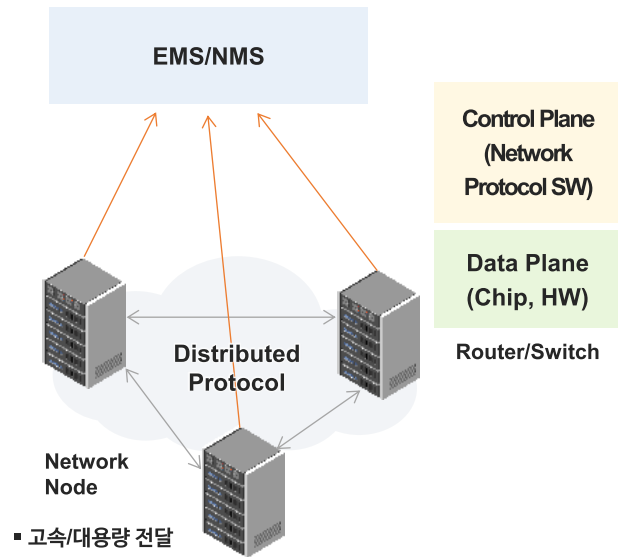
- ✓ 핵심 기술 : SDN/NFV 플랫폼 도입
- ✓ 중앙집중형 제어 및 가시성 확보
- ✓ 사용자 요구사항(SLA) 기반 자동화 프로지저닝 ('11년 이후 도입 및 확산)

03

AI 기반
자율 운영 및
예측

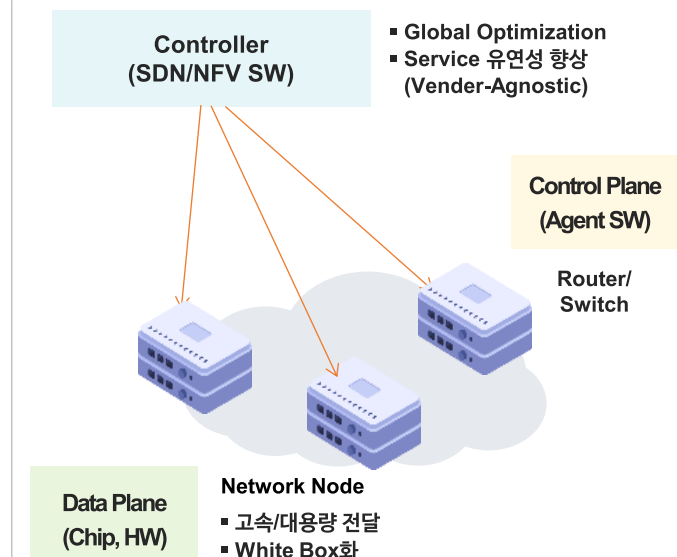
- ✓ 핵심 기술 : AI/ML/BigData
- ✓ 중앙집중제어 플랫폼과 네트워크 데이터 기반 인공지능 기술을 통한 선제적 네트워크 관리 및 장애 예측
- ✓ Zero Touch 운영 기반 마련 및 서비스 최적화

Hardware 중심



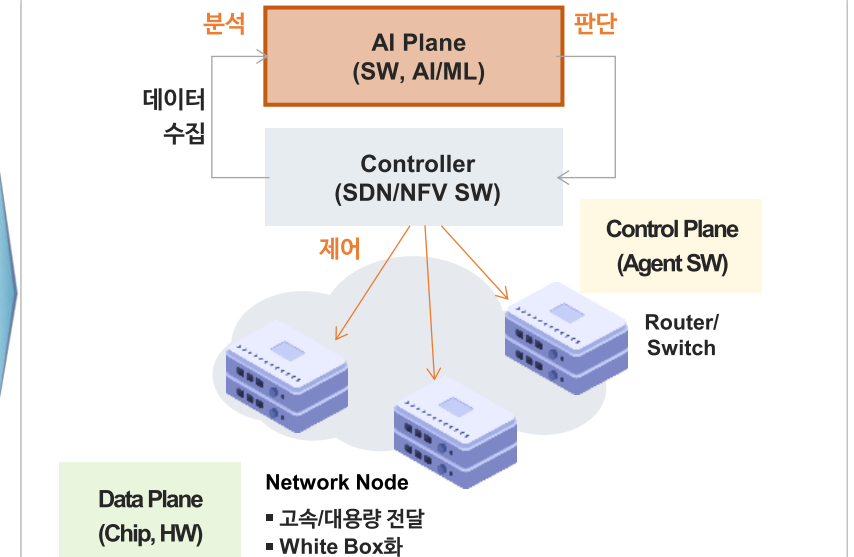
[운영 역량] 사후 대응 및 수동 복구
[Efficient/Cost] Capex/Opex High

Software 중심



[운영 역량] 중앙집중식 모니터링 및 동적 프로비저닝
[Efficient/Cost] TCO 절감

AI 자동화



[향후 대응 방향]

- ✓ 통합 가시성 확보 및 선제적 운영체계 전환
- ✓ 네트워크 전문지식을 바탕으로 지능형 자동화 기술 도입 가속화
- ✓ 예측기반 자율 운영 및 예방 관제로의 패러다임 전환 달성

도전 과제

01 네트워크 장애 위험 증가 (운영 리스크 증대)



- ✓ 통신망 장애는 경제적 손실 및 사회적 혼란 야기
- ✓ 장애 파급력 확산으로 인한 운영 리스크 증대

네트워크 중단 → 서비스 중단 → 업무 마비 → 금전/신뢰 손실

02 기존 기술 대응의 한계



- ✓ 수동적, 사후적 대응 방식의 비효율성
- ✓ 단편적, 제한적 장애 관리 기술

03 인력부족 및 운영 복잡도 심화

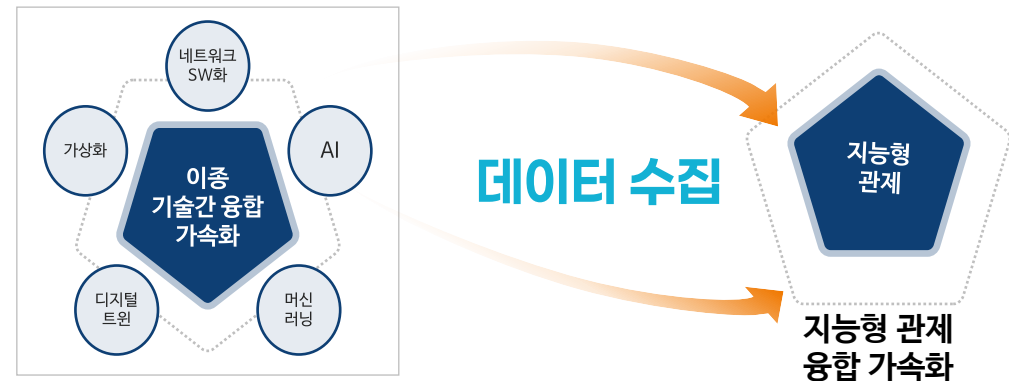


- ✓ 숙련된 네트워크 운영 전문가 부족
- ✓ 고도화된 네트워크 관리 관리로 인한 인적 오류 증가

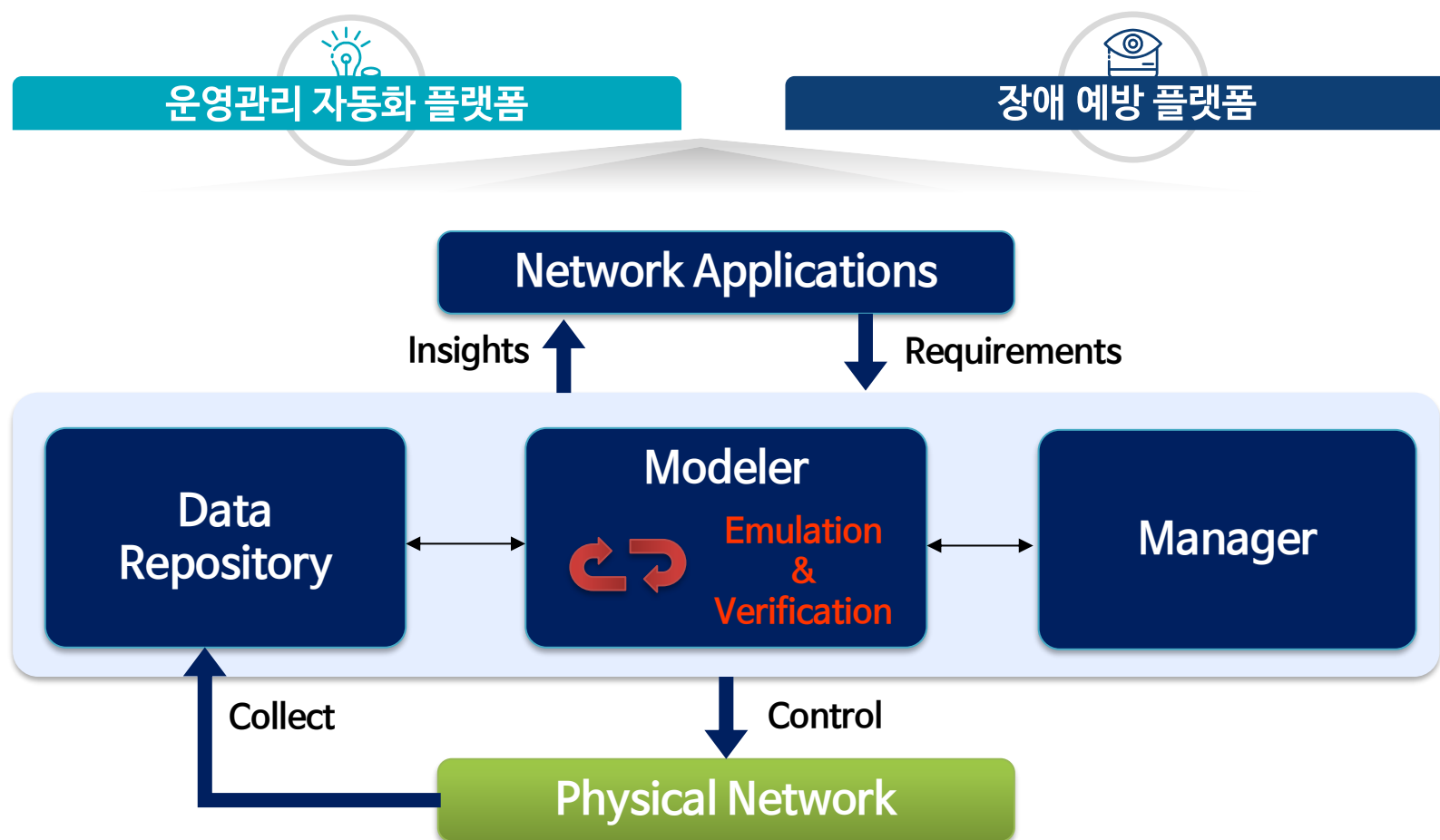
기술 동인 및 미래 비전

04 ICT 융합 가속화 및 지능형 관제 전환

- ✓ AI + NW SW化 + DT 등 이종 기술간 융합 가속화
- ✓ 데이터 기반 지식의 자동 생산/정제 및 예방 관제



디지털 트윈 네트워크 기반 지능형 네트워크 장애예방 및 운영 관리 자동화 통합 플랫폼 개발



성능목표

목표 응용서비스

운영관리, 장애 탐지/예측

네트워크 트윈 자동화 수준

Level3 (조건부 자동화)

데이터 종류

정형/비정형/재현(합성 데이터)

장애 예측 정확도

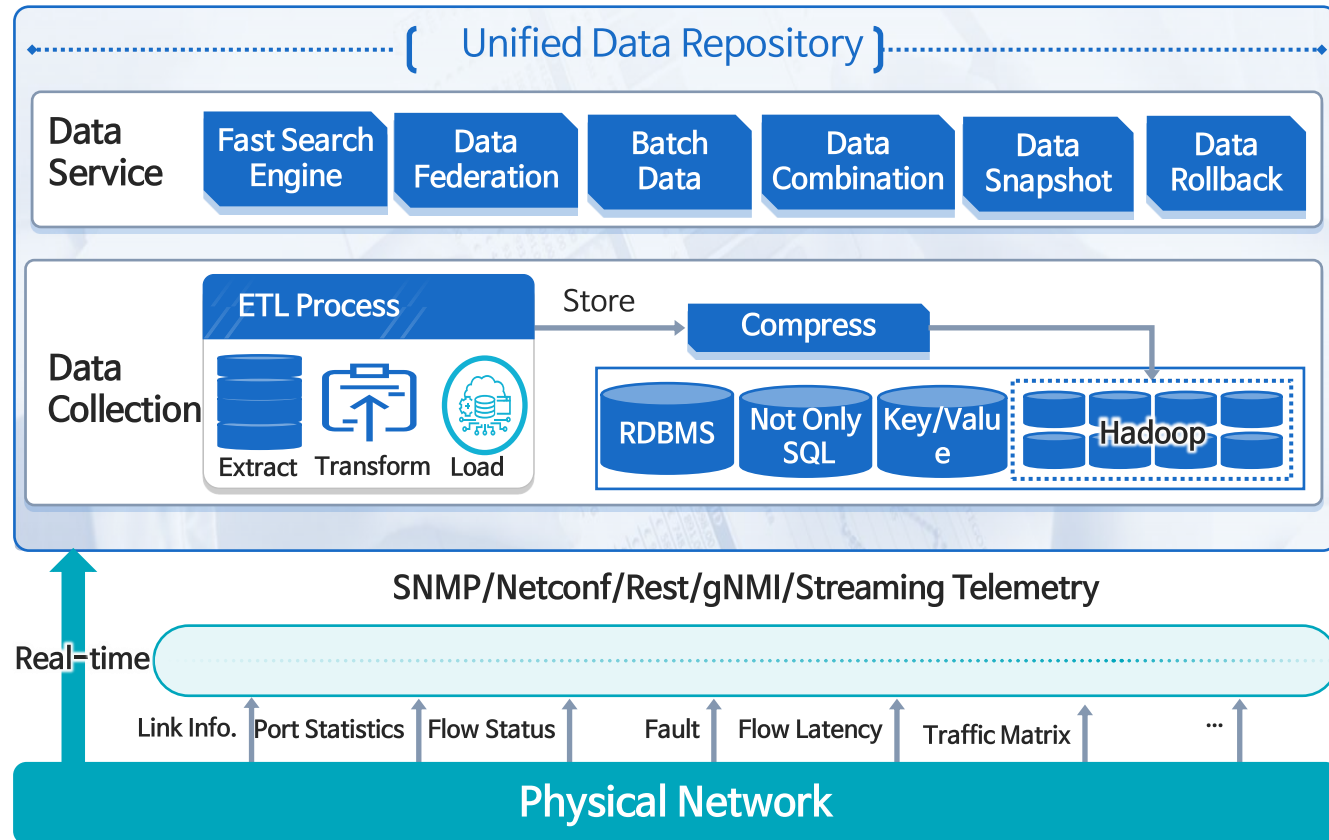
90%

NW 노드 수용량

500개

실시간 네트워크 트윈 DBMS 개발

네트워크 모니터링 기술 고도화 및 모니터링 데이터 확대 !



네트워크 트윈 데이터 수집 및 처리 기술 고도화

- ▶ 실시간 수집 파이프라인 개선 및 이기종 데이터 통합 관리



고성능 실시간 데이터 저장 및 관리 기술 개발

- ▶ 대규모 네트워크 트윈 데이터를 위한 고속 I/O 및 압축 기술 적용



다양한 데이터 서비스 제공을 위한 API 및 인터페이스 개발

- ▶ 검색, 연동, 결합, 스냅샷, 롤백 기능 지원



다차원 데이터 분석 및 시각화 기반 마련

- ▶ 네트워크 상태 분석 및 예측을 위한 데이터 처리 프레임워크 구축



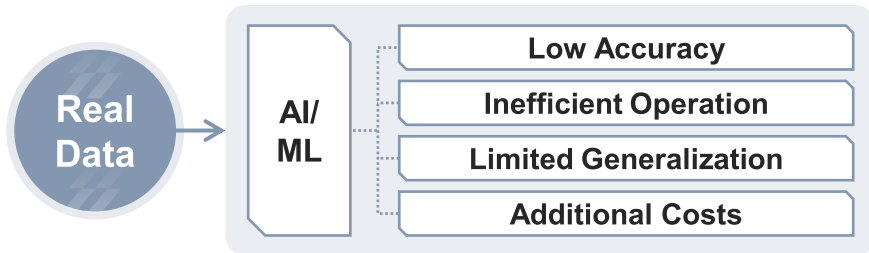
물리네트워크와의 효율적인 연동 프로토콜 최적화

- ▶ SNMP, NetConf, Streaming Telemetry 등 프로토콜 연동성 강화

응용 서비스가 요구하는 다양한 유형의 실시간 데이터 제공

재현 (합성) 데이터 활용

풍부한 네트워크 데이터 기반
네트워크 운용 신뢰성 강화 !

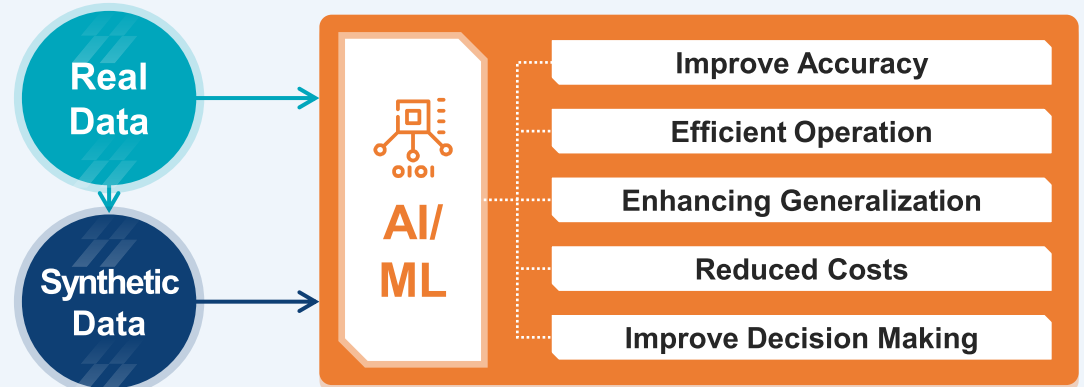


학습 데이터 부족으로 모델 정확도 저하

비효율적인 시나리오 시뮬레이션

모델 일반화 제한으로 신뢰도 감소

물리 네트워크 직접 제어 : 고위험



풍부한 데이터 기반 정확도 향상

다양한 시나리오 기반 시뮬레이션 효율 향상

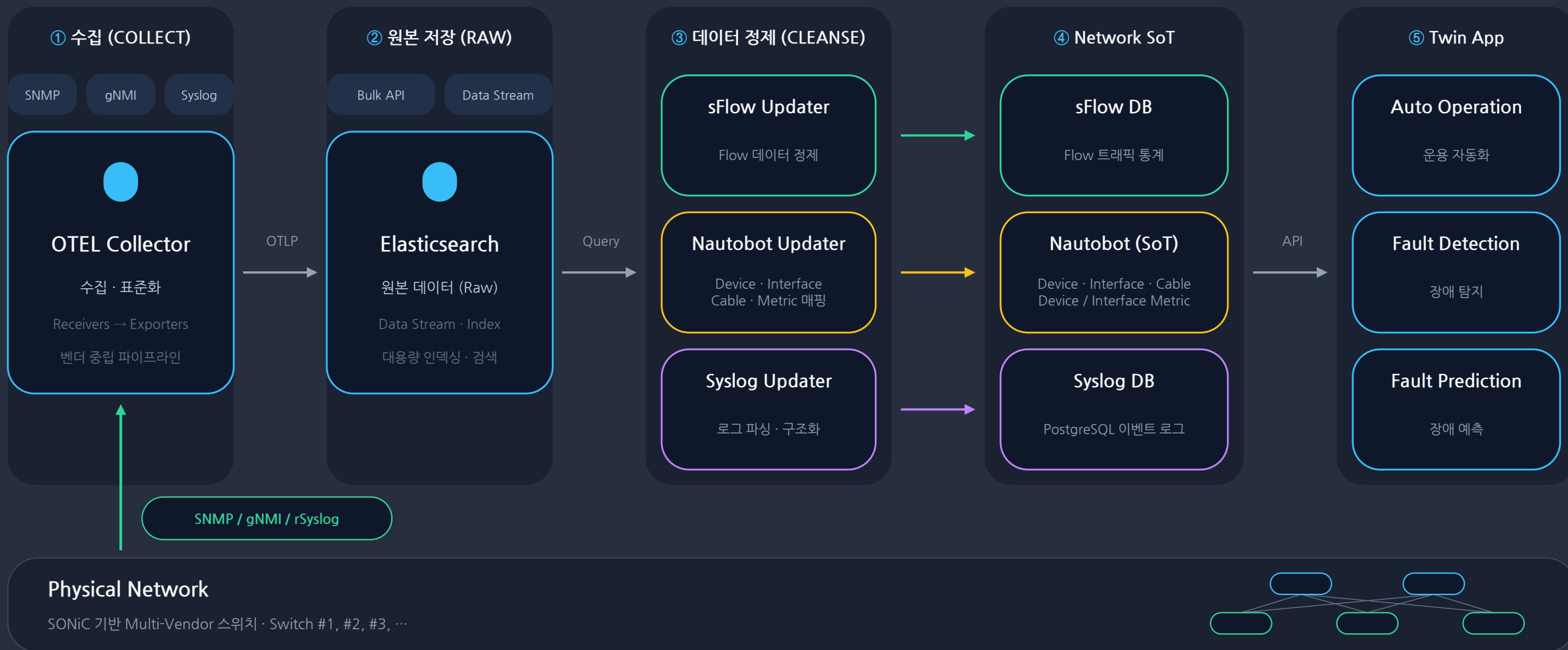
모델 일반성 강화로 신뢰도 향상

자동관제 시스템의 의사결정 능력 고도화

안전한 Change Control 검증 환경 제공

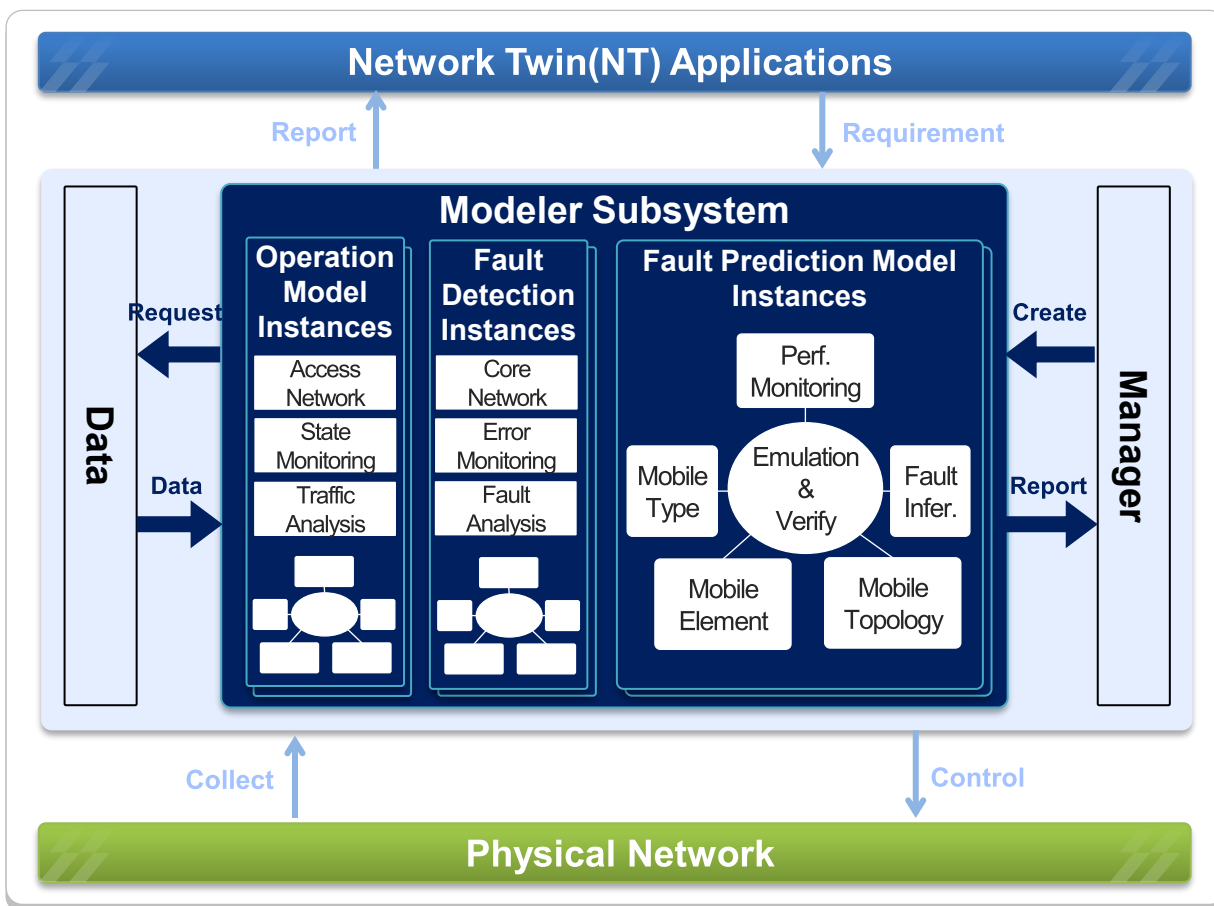
Network 데이터 수집/저장 Pipeline 구성도

● 전체 데이터 파이프라인 (END-TO-END DATA FLOW)



데이터 서브시스템의 정보를 활용하여 구축된 네트워크에 대한 분석, 진단, 예측 기능을 실행하는 고실용 서비스 모델러 서브시스템 개발

서브시스템 구조도



Basic Modelling

- ▶ Access Network Element Model (Switch, Router, IPS/IDS)
- ▶ Core Network Element Model (Router, LB, Controller)
- ▶ Mobile Network Element Model (5Gcore, RAN, UPF)



Functional Modelling

- ▶ Network Type Model (Access, Core, Mobile)
- ▶ Fault Diagnosis/Detection/Prediction



네트워크 구성 변경을 위한 Verification

- ▶ Full Emulation 기능을 통한 Change Verification

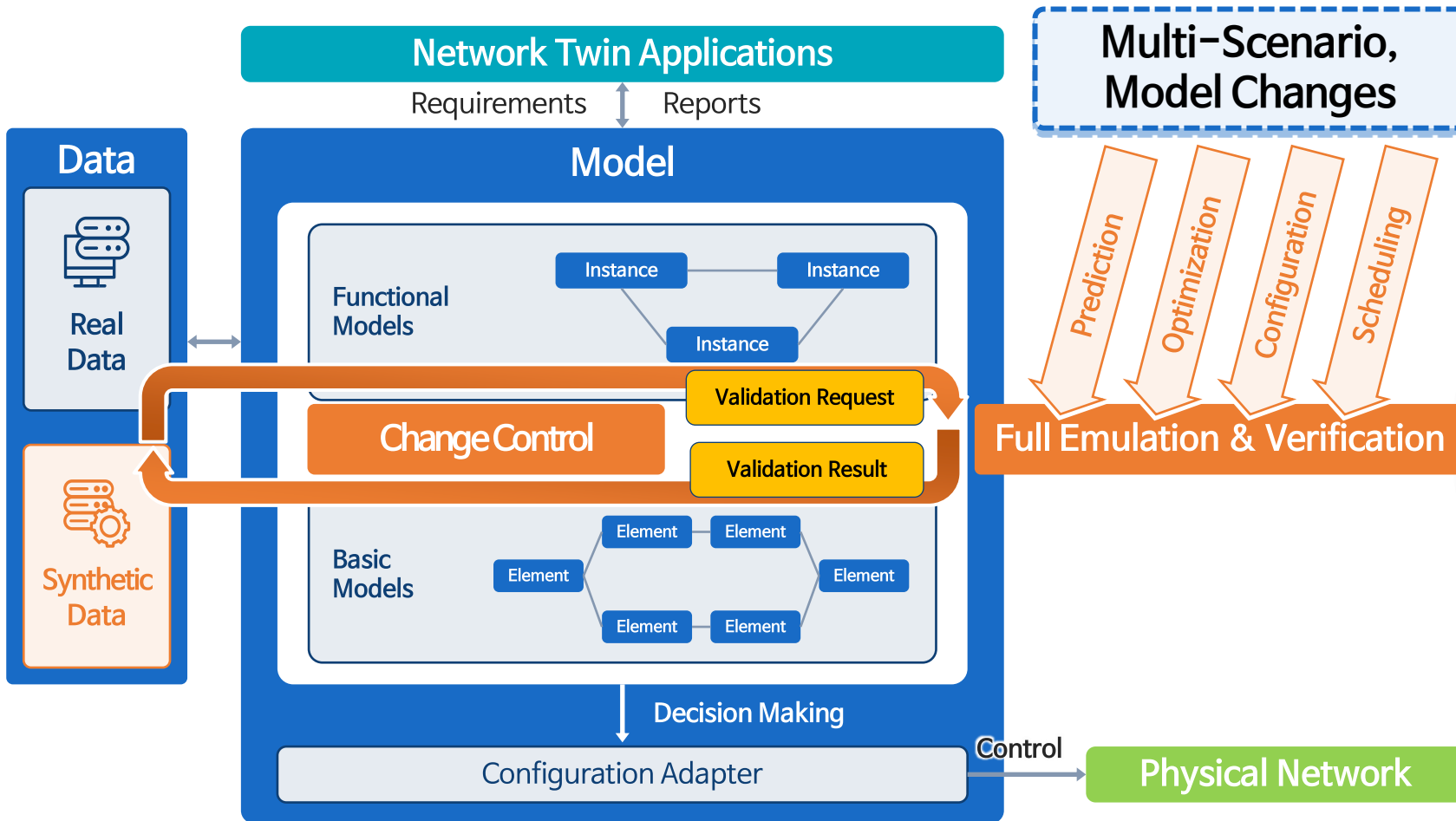


Closed-loop Change Control

- ▶ Closed-loop Feedback Control for Automated Changes

네트워크 트윈 레이어 Closed Loop Control

Full Emulation 및 Verification을 통한 운용 오류 최소화!



장애 예측/네트워크 최적화 등
다양한 응용 시나리오 검증

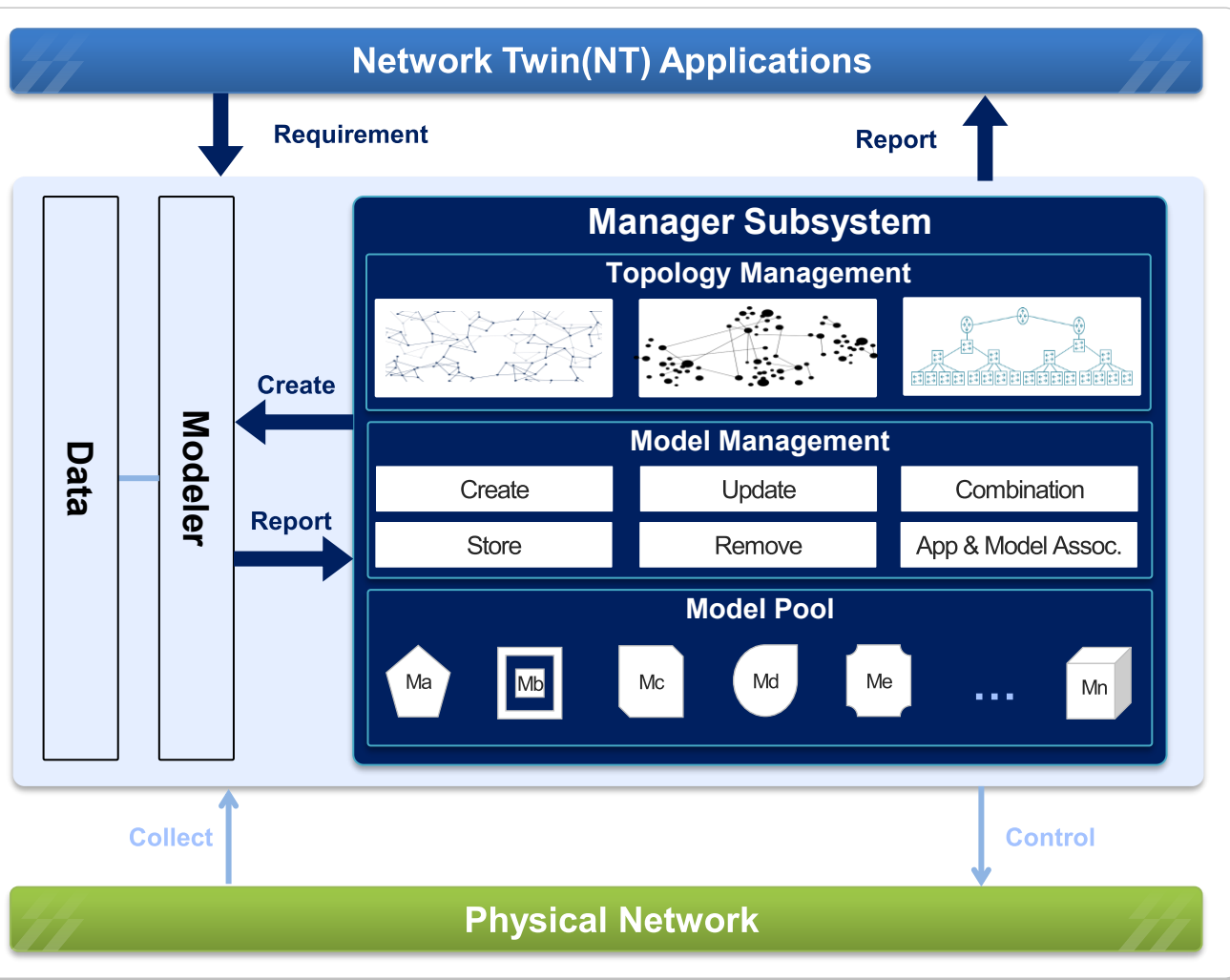


물리 네트워크 적용 전, 동작 검증
동작 검증을 통한 운용 오류 원천 차단



합성 데이터 제공을 통한 다양한
장애 상황 조기 테스트 및 기술 개발 가속화

네트워크 디지털 트윈의 다양한 요소를 시각화 및 제어하는 고신뢰 매니저 서브 시스템 개발



Twin Visualization

- ▶ Multi-dimensional Topology Visualization (Per-route, Per-flow, Symptom, ...)
- ▶ Multi-level Topology Visualization (Overlay, Underlay)
- ▶ Topology Visualization by Network Type (Access, Core, Mobile, Data Center)

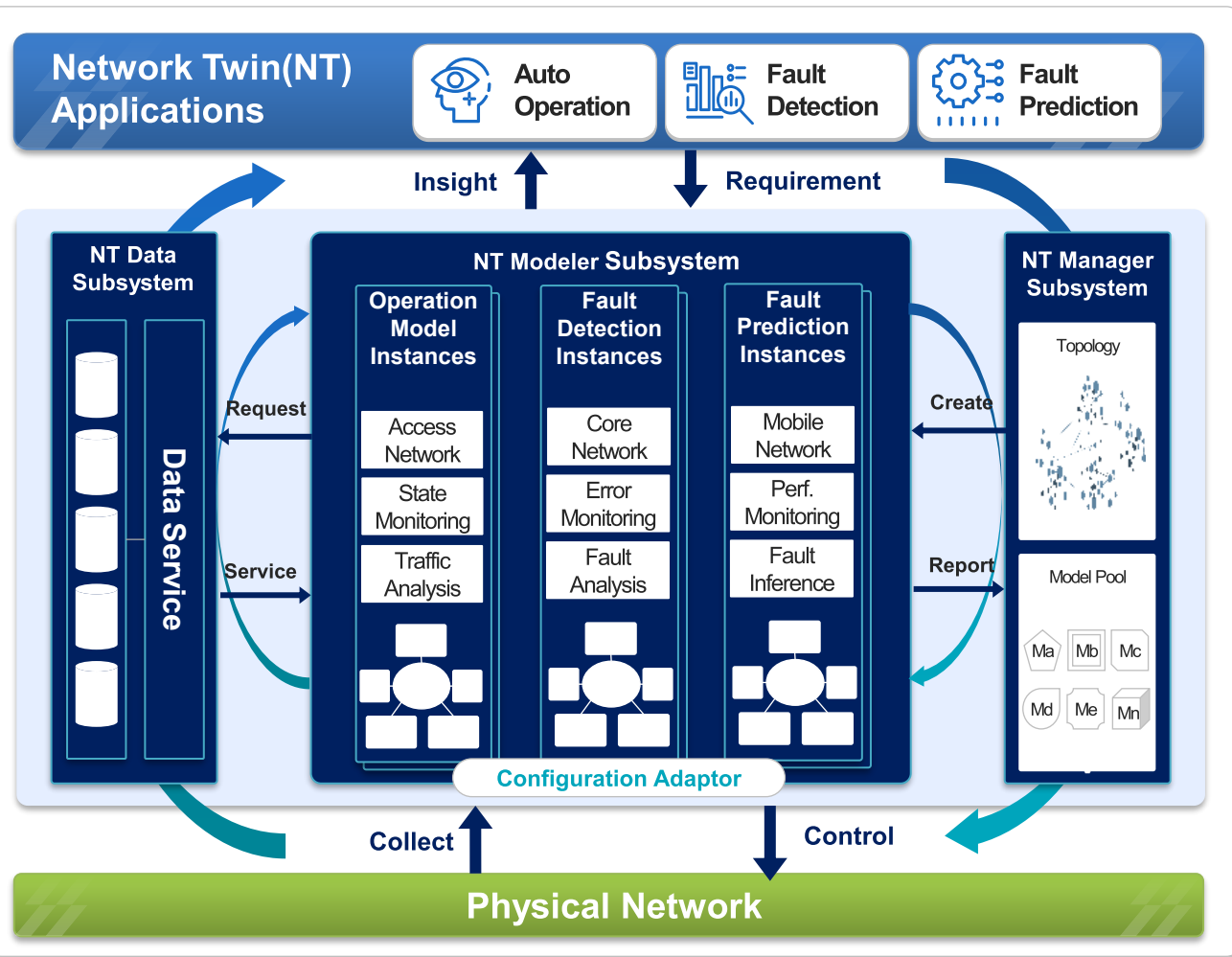


응용 기반 Models Lifecycle Management

- ▶ Basic/Functional Model Pool
- ▶ Basic/Functional Model Lifecycle Management
- ▶ 응용 요구사항 기반 Model들 결합
- ▶ 결합된 Model들의 Instantiation
- ▶ Model Lifecycle for Operational Application
- ▶ Model Lifecycle for Fault Detection/Prediction

네트워크 운영 및 장애 관리 혁신성을 제공하는 **지능형 자동관제 플랫폼**

플랫폼 구조도



지능형 자동관제 응용 서비스

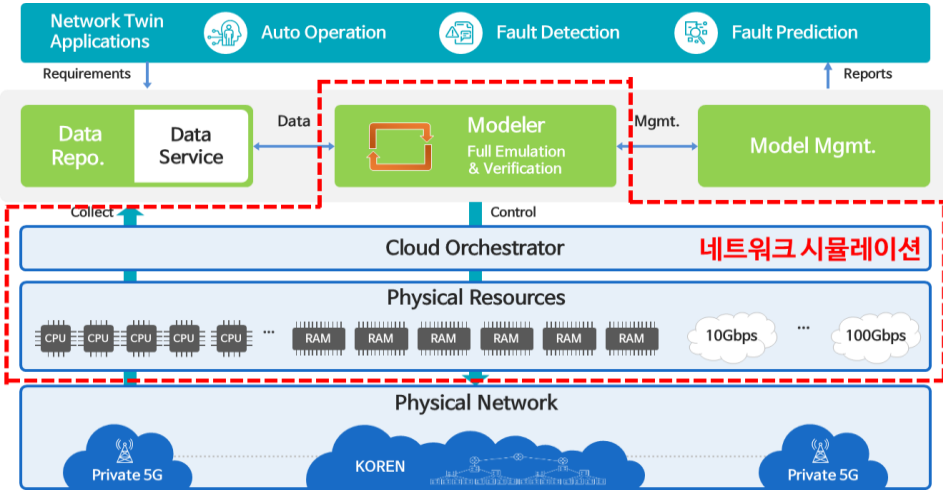
- ▶ 운용관리 자동화 응용
- ▶ 장애탐지 자동화 응용
- ▶ 장애예측 자동화 응용



Twin Application Interface

- ▶ 운용관리 Requirement/Report를 위한 Interface 개발
- ▶ 장애탐지 Requirement/Report를 위한 Interface 개발
- ▶ 장애예측 Requirement/

실제 네트워크의 데이터들 수집, 이를 바탕으로 모델링하고, 모델링 된 데이터를 이용하여 **가상 트윈 네트워크**를 구축하여 다양한 네트워크 응용을 목적으로 **시뮬레이션 하는 기능**을 제공



• 네트워크 시뮬레이션

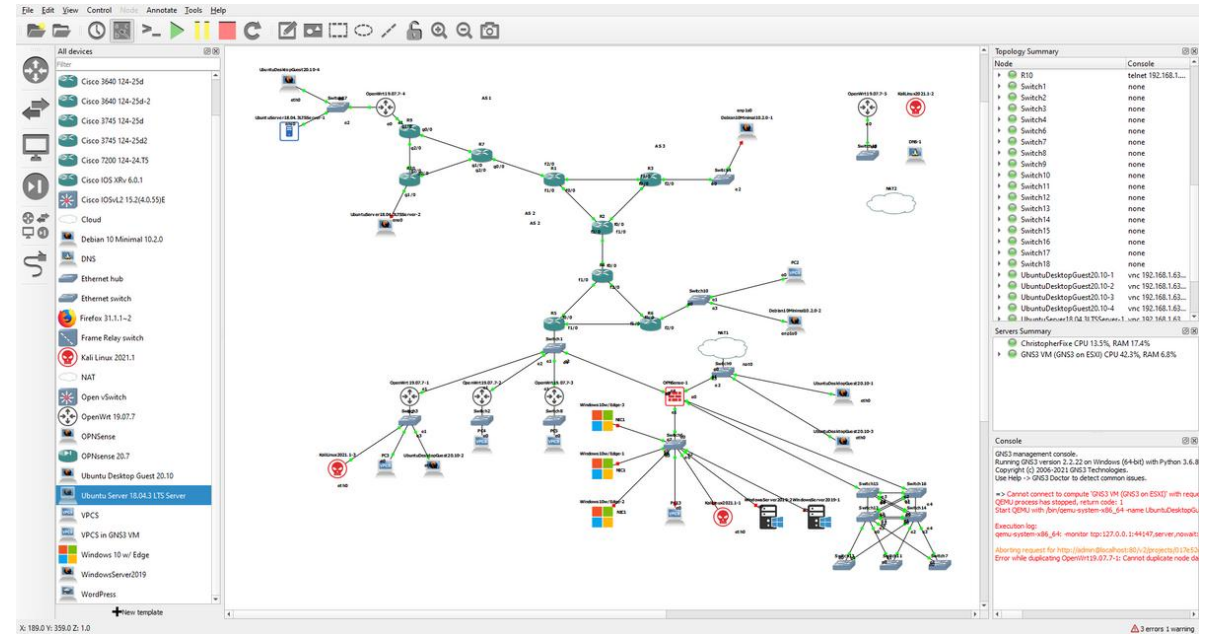
- 실제 네트워크 환경을 가상화 기술을 이용하여 구현하고 시뮬레이션 수행
- 소프트웨어적으로 구현한 노드, 링크들을 실제의 장비를 구성하듯이 가상적으로 구현

• 네트워크 시뮬레이션의 필요성

- 실제로는 수행하기 어려운 신규 서비스의 테스트
 - 네트워크 구성 변경과 같은 관리적인 측면의 작업
 - 새로운 아이디어를 가미한 프로토콜의 성능 테스트와 같은 작업
- 실제 네트워크에 적용시의 위험 요소가 있는 작업을 부담 없이 수행

• 대규모 네트워크 시뮬레이션을 위한 요구사항

- 확장성 (Scalability), 민첩성 (Agility)
- 확장 가능성 (Extensibility), 저비용 (Low-cost)

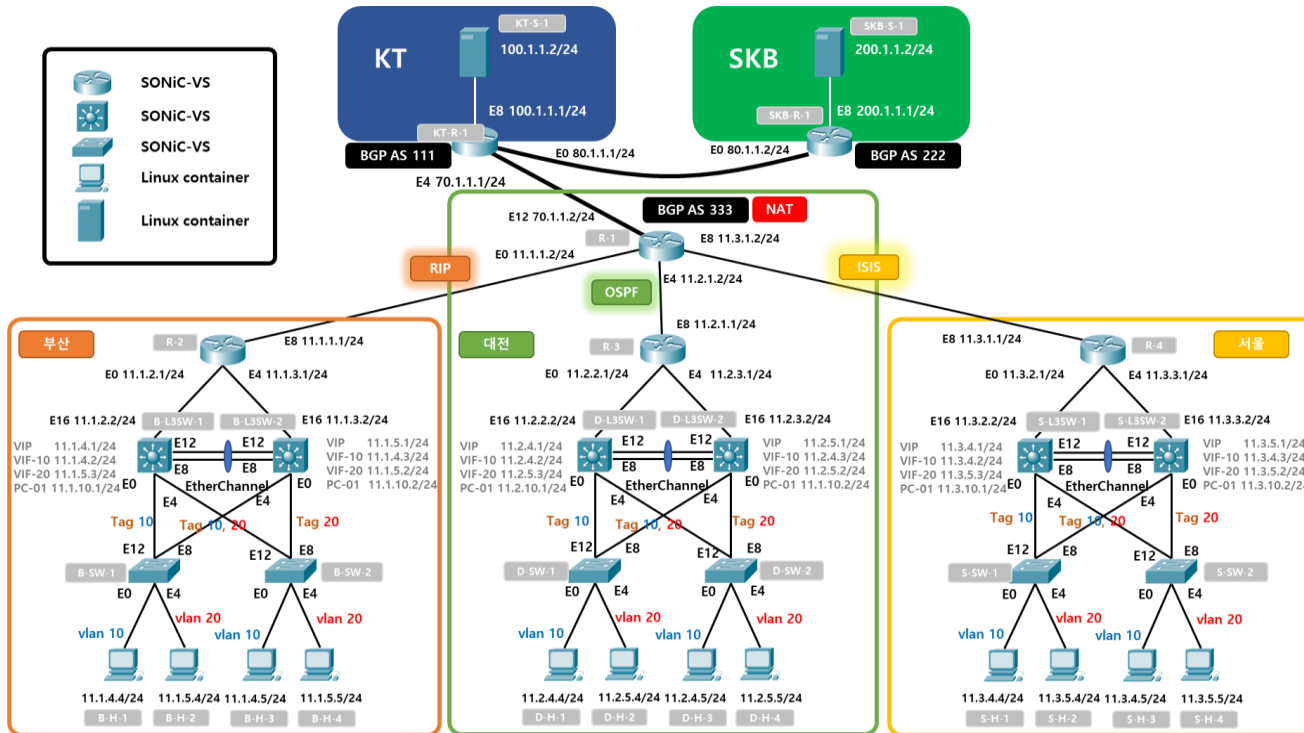


오픈 소스 기반 네트워크 시뮬레이터 참조시스템 구축

• 목적

- Real network 참조 토폴로지 배포 목적
- 토폴로지, 디바이스 configuration 정보 수집, 텔레메트리 정보 수집 용도 활용

• 참조 토폴로지 형상



토폴로지 YAML

```
name: sonic2host2
topology:
  nodes:
    sonicvs-1:
      kind: sonic-w
      image: etri-master:443/cfs/
      sonic_sonic-vs:202311
      memory: 4Gb
      cpu: 2
    sonicvs-2:
      kind: sonic-w
      image: etri-master:443/cfs/
      sonic_sonic-vs:202311
      memory: 4Gb
      cpu: 2
    client1:
      kind: linux
      image: etri-master:443/cfs/
      alpine-ssh-tcpdump:250620
    exec:
      - ip addr add 10.1.1.2/24 dev eth1
    client2:
      kind: linux
    exec:
      - ip addr add 10.1.1.3/24 dev eth1
  links:
    - endpoints: ["client1:eth1",
                  "sonicvs-1:eth1"]
    - endpoints: ["client2:eth1",
                  "sonicvs-1:eth2"]
```

토폴로지 YAML 생성

토폴로지 YAML 입력

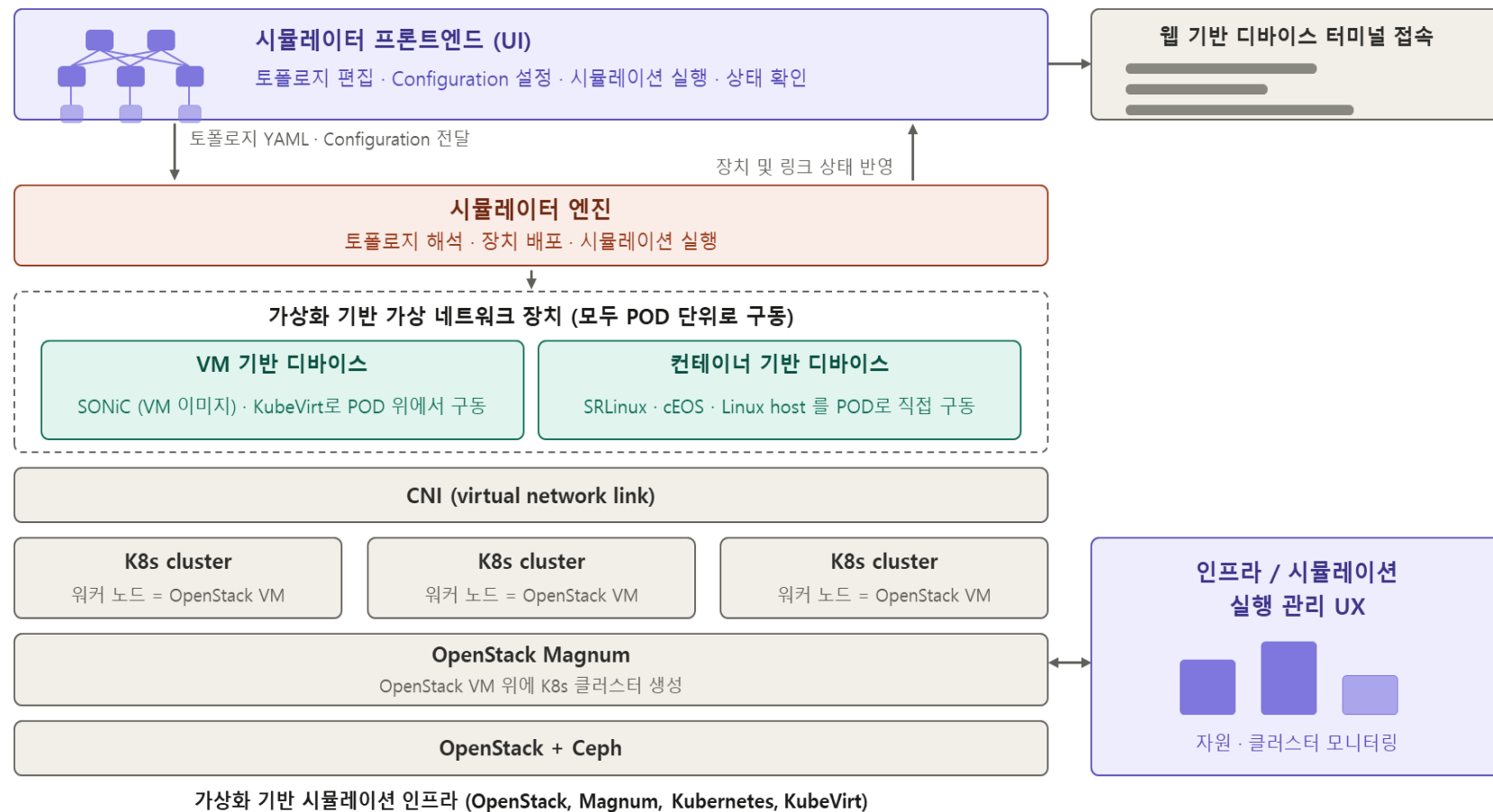
클라우드 기반 네트워크 시뮬레이션 환경

• 목적

- 가상화 인프라를 이용하여 위한 대규모 가상 트윈 구축
- DTN 응용의 시뮬레이션 환경 제공

• 특징

- 대규모 시뮬레이션 확장 및 인프라 자원의 효율적인 사용을 위한 K8s 가상화 인프라 구축 및 관리
- 컨테이너, 가상 머신 형태의 이기종 NOS 수용을 위한 POD, Kubevirt 기반 가상 머신 구동 환경 지원
- VxLan 기반의 가상 네트워크 링크 연결 지원

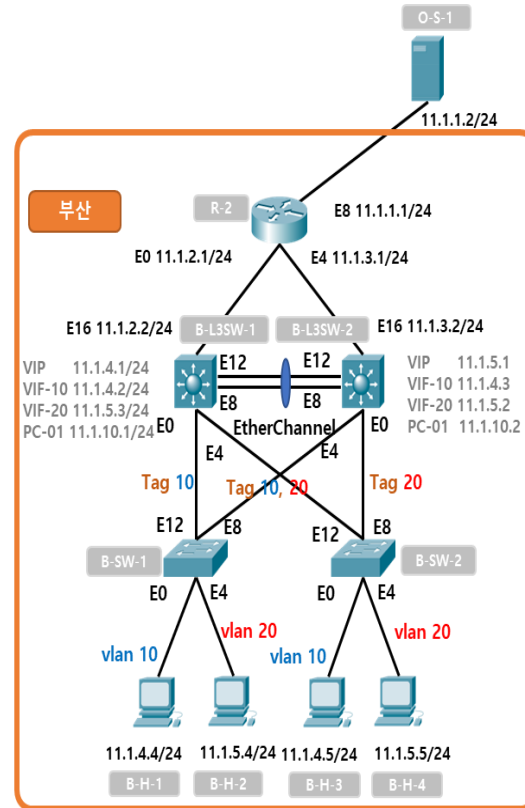


네트워크 시뮬레이터를 이용한 토폴로지 생성(예)

• 토폴로지 형상

• 토폴로지 YAML 정의

• 시뮬레이터 CLI를 이용한 토폴로지 구동 및 확인

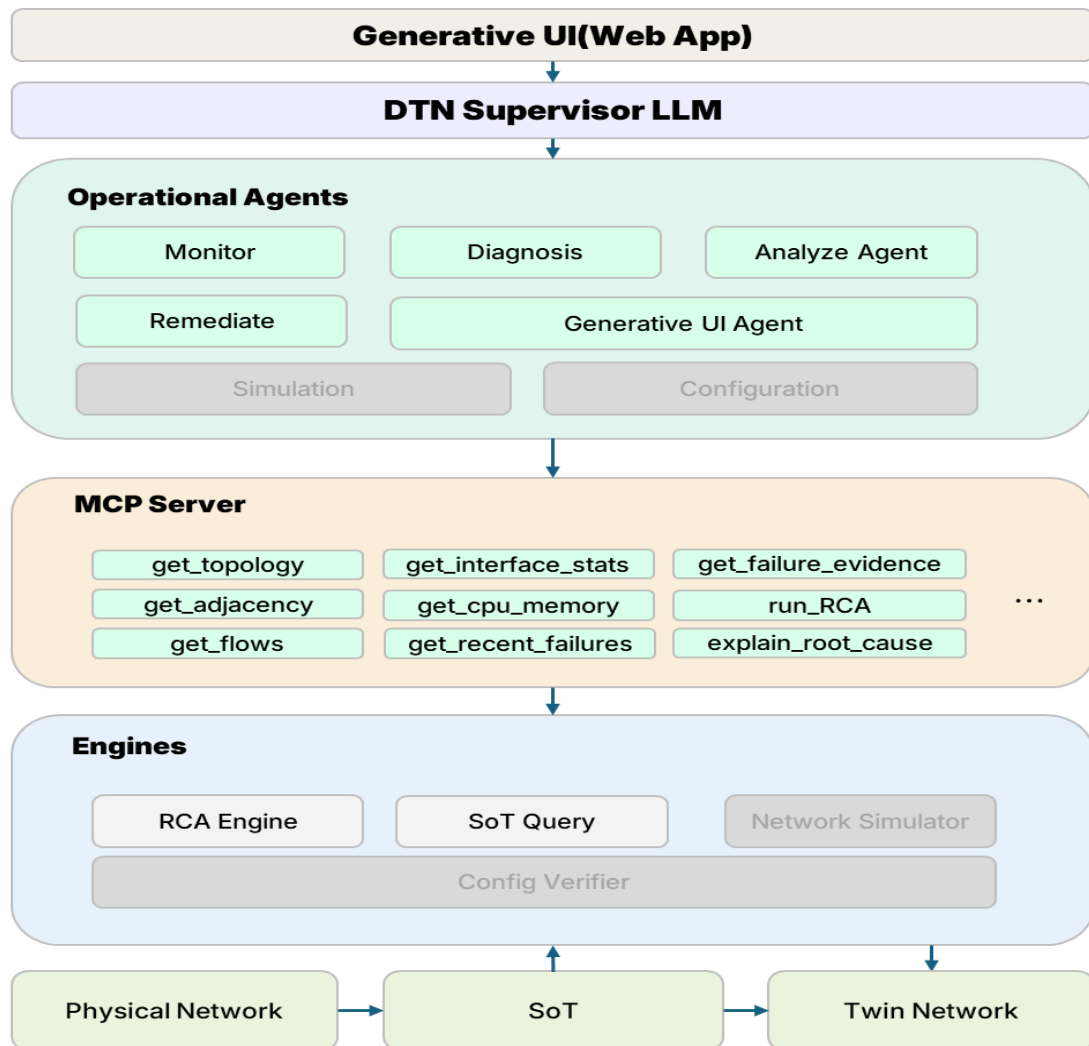


```
name: tpg-etri-dtn-part-0727
topology:
  nodes:
    r-2:
      cluster: etri-ns-cluster
      kind: sonic
      image: registry.system/etri/net-sim/net-sim-registry/sonic-vs:202505
      startup-config:
        memory: 4Gb
        cpu: 2
      b-sw-1:
        cluster: etri-ns-cluster
        kind: sonic
        image: registry.system/etri/net-sim/net-sim-registry/sonic-vs:202505
        startup-config:
          memory: 4Gb
          cpu: 2
      b-sw-2:
        cluster: etri-ns-cluster
        kind: sonic
        image: registry.system/etri/net-sim/net-sim-registry/sonic-vs:202505
        startup-config:
          memory: 4Gb
          cpu: 2
  links:
    - endpoints: ["b-sw-1:eth1", "b-h-1:eth1"]
    - endpoints: ["b-sw-1:eth2", "b-h-2:eth1"]
    - endpoints: ["b-sw-2:eth1", "b-h-3:eth1"]
    - endpoints: ["b-sw-2:eth2", "b-h-4:eth1"]
    - endpoints: ["b-l3sw-1:eth1", "b-sw-1:eth4"]
    - endpoints: ["b-l3sw-1:eth2", "b-sw-2:eth4"]
    - endpoints: ["b-l3sw-2:eth1", "b-sw-1:eth3"]
    - endpoints: ["b-l3sw-2:eth2", "b-sw-1:eth3"]
    - endpoints: ["b-l3sw-1:eth3", "b-l3sw-2:eth3"]
    - endpoints: ["b-l3sw-1:eth4", "b-l3sw-2:eth4"]
    - endpoints: ["b-l3sw-1:eth5", "r-2:eth1"]
    - endpoints: ["b-l3sw-2:eth5", "r-2:eth2"]
    - endpoints: ["r-2:eth3", "o-s-1:eth1"]
```

Topology Info

```
TOPOLOGY ID: 27d2f5ac-cd2
```

자연어 질문을 이해하여 디지털 트윈의 실데이터(SoT)를 근거로 답하고 그에 맞는 화면까지 스스로 만들어내는 LLM 기반 DTN 관리 시스템



Generative UI (Web App)

- ▶ 사용자가 자연어로 의도를 입력하고 결과를 받아보는 인터페이스
- ▶ LLM이 응답에 맞춰 UI 요소(차트, 다이어그램, 폼)를 동적으로 생성해서 보여주는 방식



DTN Supervisor LLM

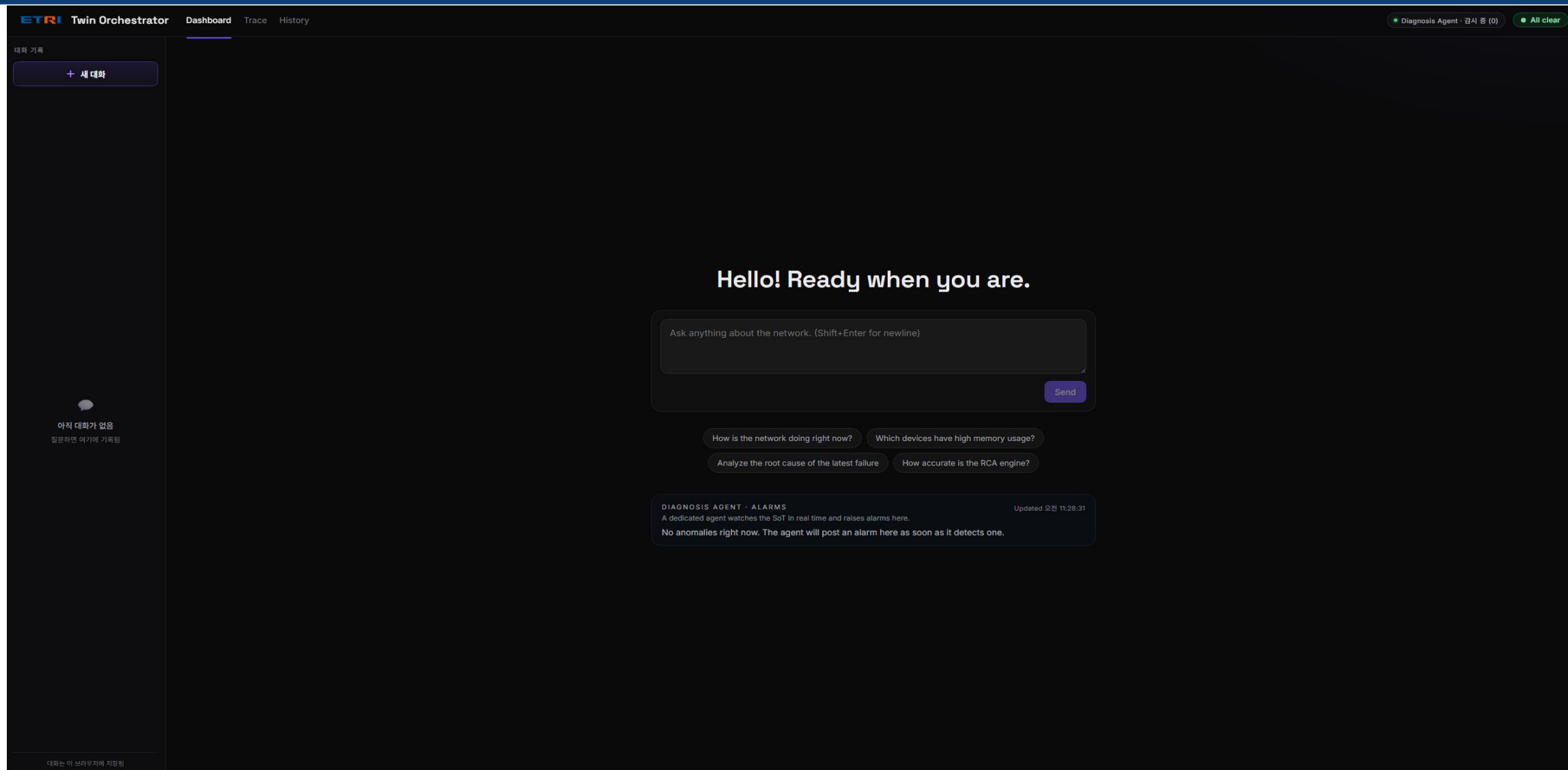
- ▶ 사용자의 의도를 해석하여 어느 에이전트를 어떤 순서로 호출할지 결정
- ▶ 에이전트들의 결과를 통합해 최종 응답(UI) 생성



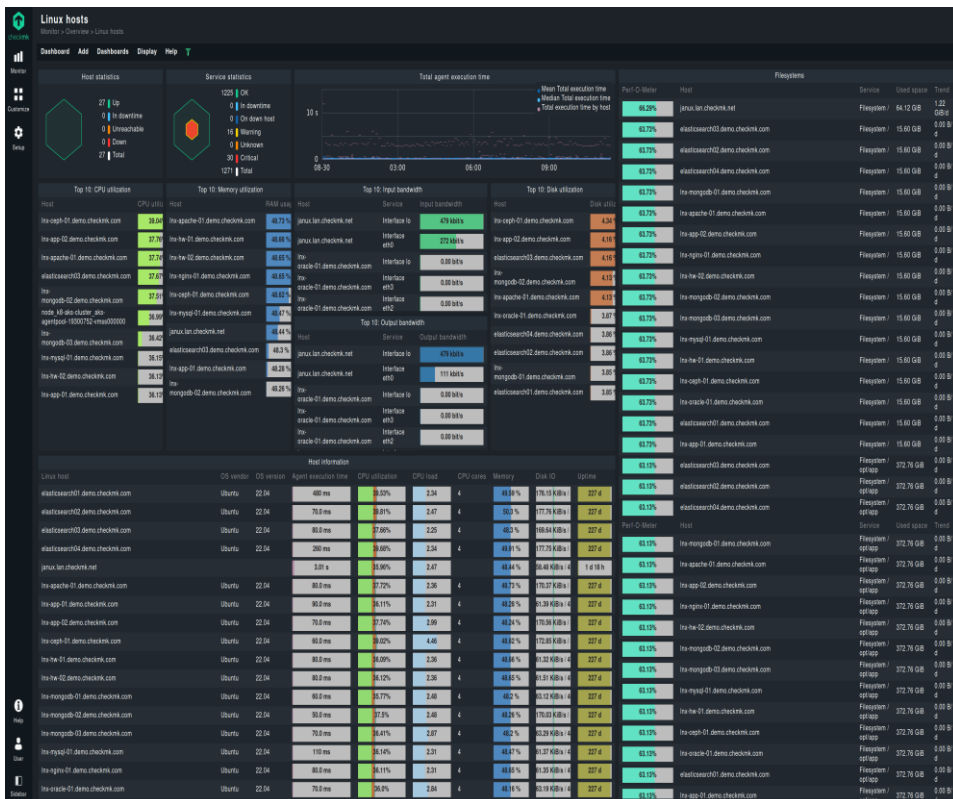
Agents

-

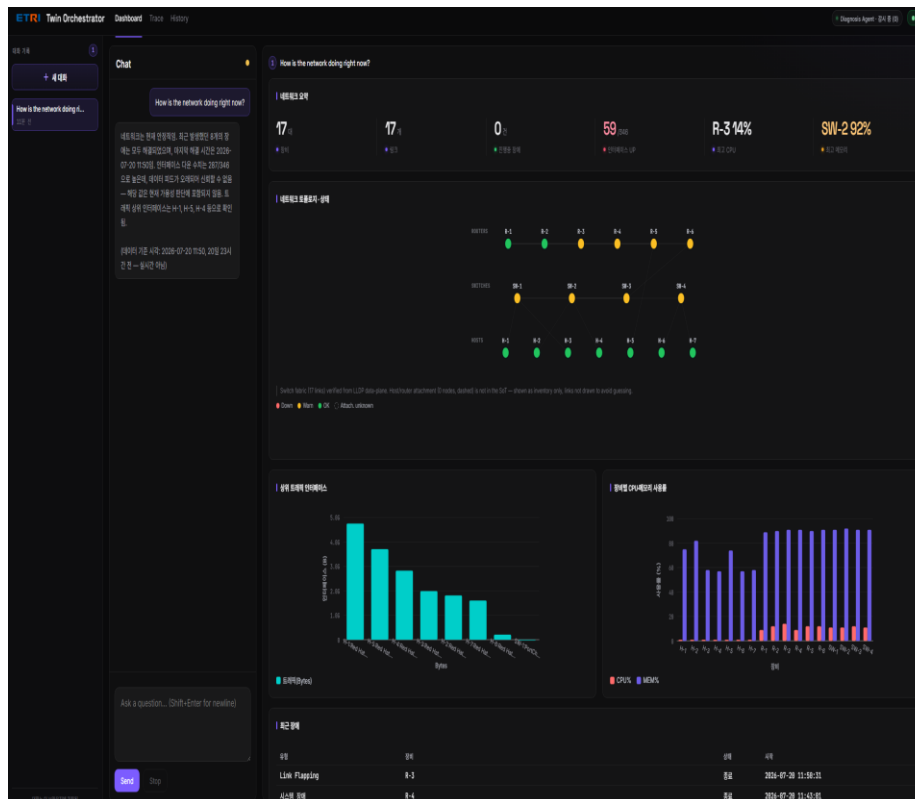
Digital Twin Orchestrator 메인화면



기존 Dashboard vs Generative UI



기존 Dashboard



Generative UI



프롬프트에 따라 필요한 데이터를
적절한 그래프를 통해 시각화



원하는 정보만 빠르게 획득



MTTR(Mean Time to Repair)
단축 가능 (장애 근본 원인 탐지)

특히 RCA(Root Cause Analysis)에 큰 장점이 있음



Accelerate resolution (MTTR)

Slash the time spent gathering context and chasing dead ends. Move from detection to remediation in record time.



Quicker time to innocence

Eliminate unaffected services and teams sooner with evidence-backed correlation. Stop the blame game and focus only on what's actually impacted.



Higher operator leverage

Agents retrieve and correlate cross-domain signals so your team can focus on decision-making. One operator can now manage the scope of work that used to require a full team.



Reduced cognitive load

Replace the swivel chair workflow of fragmented dashboards and scattered notes. Teams share one persistent workspace that acts as the single source of truth for the entire incident.

Operations slow
when context is
siloed

75% of MTTR*

Is spent finding the problem. The rest is fixing it.

The issue isn't data volume, it's turning signals into decisions when context is fragmented across consoles and handoffs.

*MTTR: mean time to resolution



고정형 Dashboard

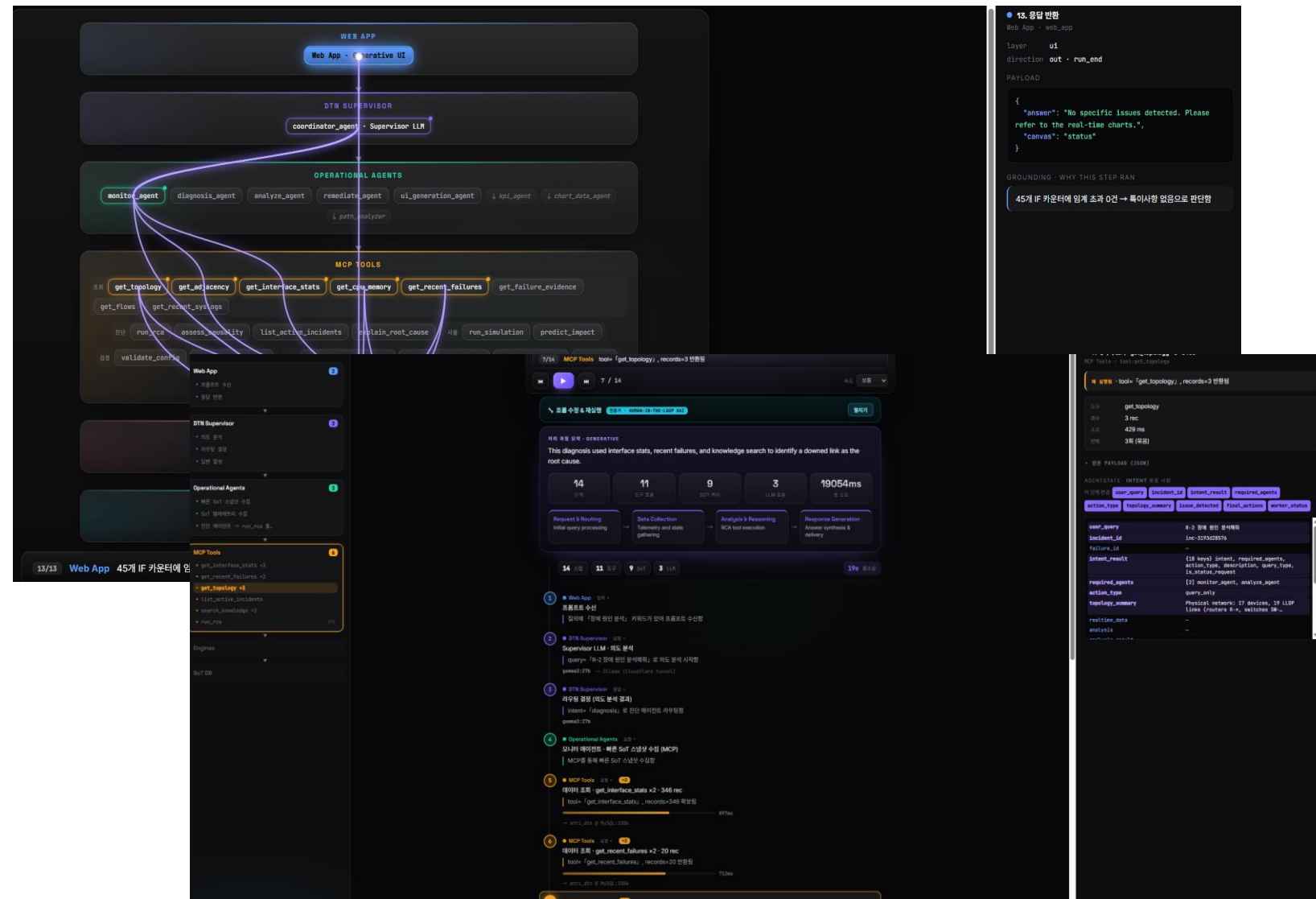
관리자가 다양한 화면을 옮겨 다니며
직접 화면에서 데이터를 찾고 분석하여 RCA수행
RCA가 사람의 역량에 좌우



Generative UI

RCA에 필요한 정보만 시각화

DTN Orchestrator도 무언가 결과를 보여주는데 이것이 신뢰할만한 결과일까?



Q&A