

MIDAS SQUARE 공학 기술강연

# 교량 관리 디지털 전환과 디지털 트윈

길흥배 | 한국도로공사 도로교통연구원

# CONTENTS

---

## 01 디지털 전환

- 디지털 전환이란
- 건설분야의 디지털 전환

---

## 02 교량 관리의 디지털 전환 핵심 기술

- Robot (UAV)
- IoT, Cloud Computing/ Edge Computing
- BIM
- 디지털 트윈

---

## 03 특수교량 안전·유지 관리 디지털 트윈 구축 사업

- 배경 및 목표
- 범위 및 내용
- 진행 현황

---

## 04 결론

# 디지털 전환

# 디지털 전환?

## Digitize, Digitalize, Digital transformation

- ❖ **Digitize** - transform analog forms to digital
- ❖ **Digitalize** - change of process to incorporate digital technologies
- ❖ **Digital transformation** - whole business transformation around digital technologies and processes

*<https://www.bsigroup.com/en-GB/blog/built-environment-blog/digitize-digitalize-digital-transformation/>*

# 디지털 전환?

## 디지털 전환을 위한 핵심 기술

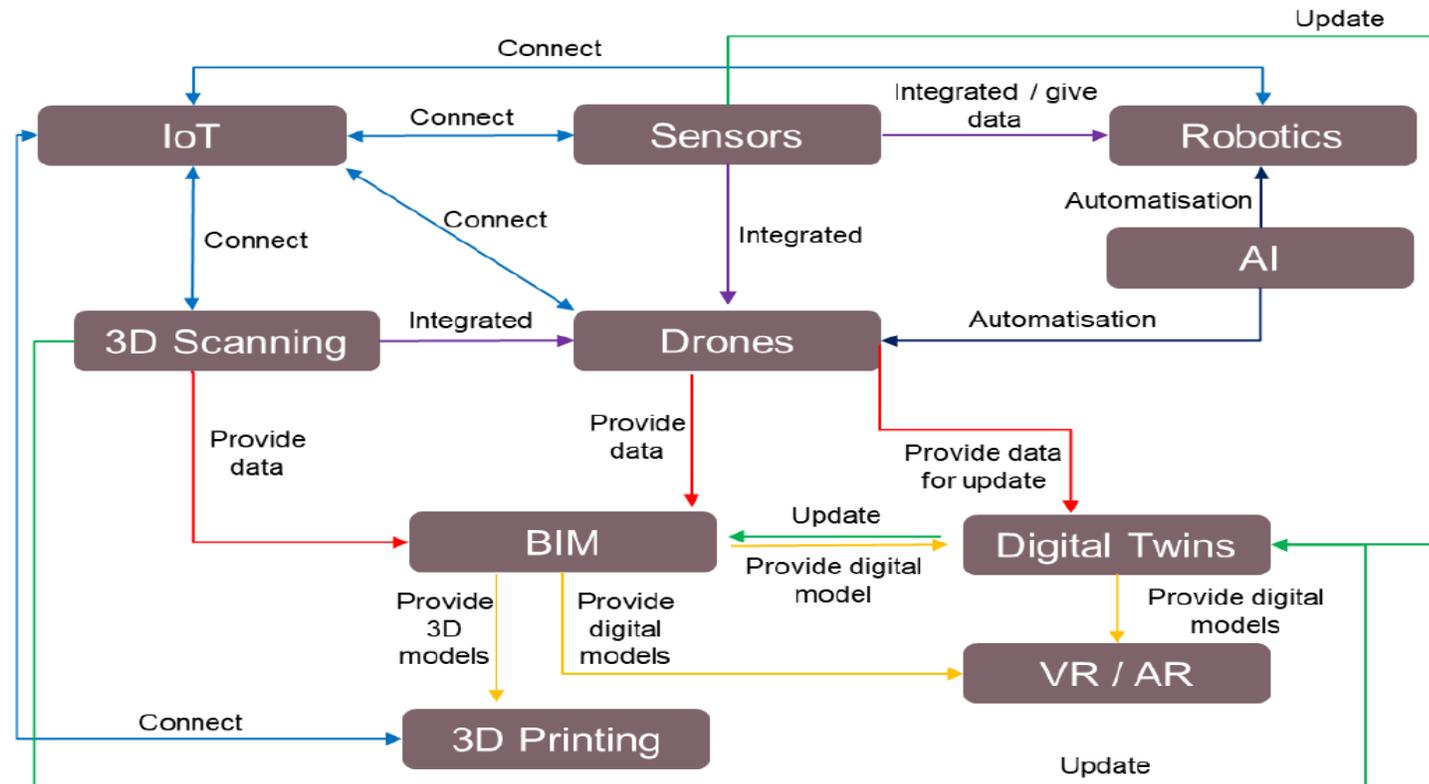
- ❖ Digital transformation is the integration of digital tools to optimize processes and make them more efficient
- ❖ The general definition of Industry 4.0 is the rise of digital industrial technology ... Industry 4.0 transformations allow us to work alongside machines in new, highly productive ways. (Daniel Burrus)
- ❖ Key Technologies for Industry 4.0 (IBM)
  - ✓ Internet of Things (IoT), Cloud Computing, AI & Machine Learning, Edge Computing, Cyber Security, Digital Twin
- ❖ Digitalisation technologies relevant for the construction sector (*Supporting digitalisation of the construction sector, EC, 2019*)
  - ✓ BIM, 3D printing, Robotisation, Drones, 3D Scanning, Sensors, IoT

# 디지털 전환?

## 디지털 전환을 위한 핵심 기술

### ❖ Digitalisation in the Construction Sector (EC, 2021)

- ✓ BIM, 3D printing, Robotics, Drones, 3D Scanning, Sensors, IoT, AI, DT, AR/VR
- ✓ 각종 디지털 기술의 관계도

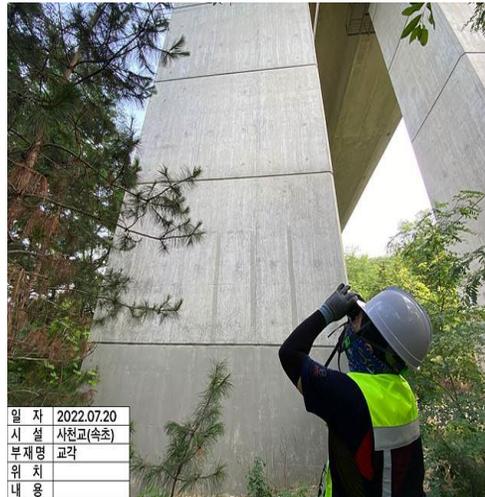


# 교량 관리의 디지털 전환 핵심 기술

# 핵심 기술

## Robotics & UAV.

- ❖ 교량 상태 평가와 안전도 확인을 위한 점검 및 진단
- ❖ 고교각(High rise pier), 장경간(Long span), 접근 어려운 부위의 접근성 및 육안 점검 한계
- ❖ 교량 점검자의 안전 문제
- ❖ 점검차 주차시 도로 차단 및 교통 사고 위험성

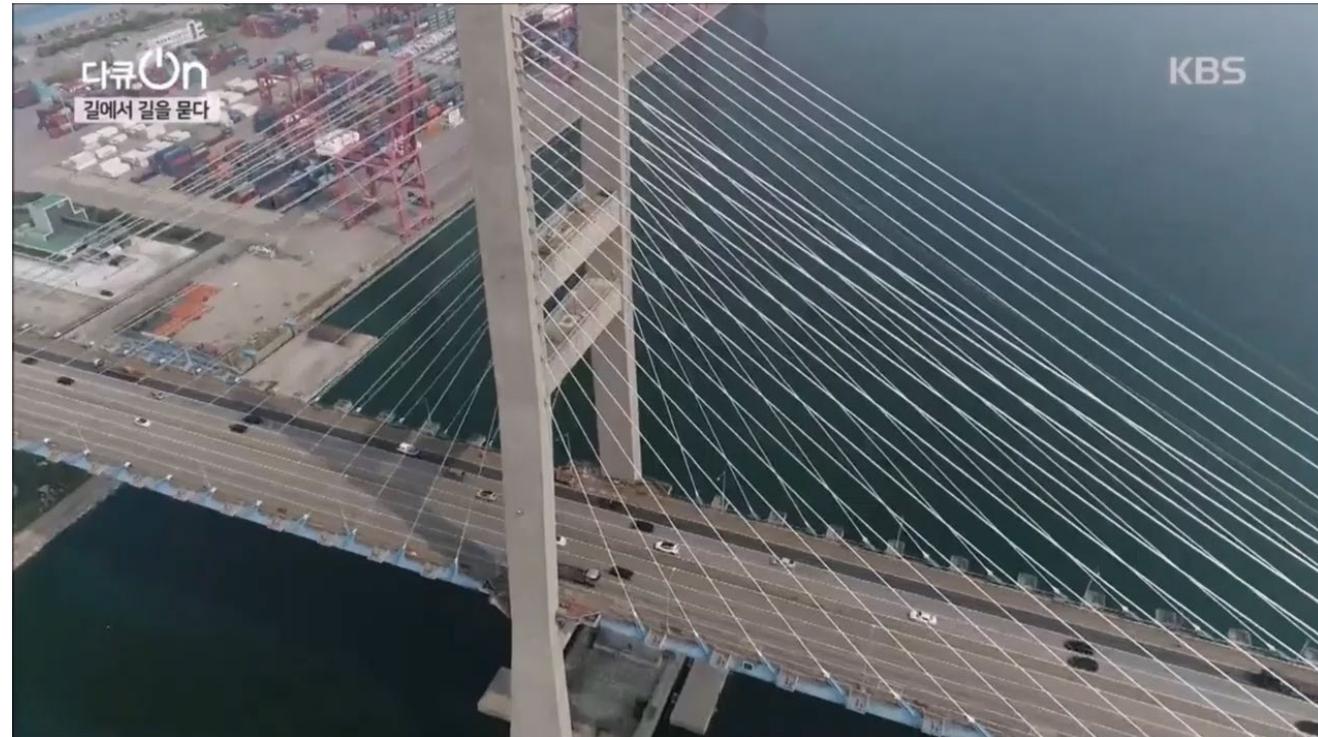


# 핵심 기술

## Robotics & UAV

### ❖ 케이블 점검 로봇

- ✓ 케이블 외부(HDPE pipe) 점검을 위한 고화질 카메라
- ✓ 내부 건전도 평가용 비파괴시험(NDT) 장비
- ✓ 케이블 장력 측정을 위한 가속도계



# 핵심 기술

## Robotics & UAV

- ❖ Unmanned Aerial Vehicle
  - ✓ UAV를 활용한 시설물 점검 및 결함 검출
  - ✓ 각 기관별 UAV 기반 시설물 점검 프로그램 개발 노력중
  - ✓ 한국도로공사 UAV 점검팀



# 핵심 기술

## Robotics & UAV

- ❖ 이미지 기반 결함 검출
  - ✓ 인공지능 활용 UAV 촬영 이미지 결함 검출
  - ✓ 다양한 인공지능 모델 이용 가능: Image classification, Object Identification(Mask R-CNN), Semantic segmentation(U-Net)

Typical output of a deep learning-based crack detection



approach based on the IC



approach based on the OR



approach based on the SS

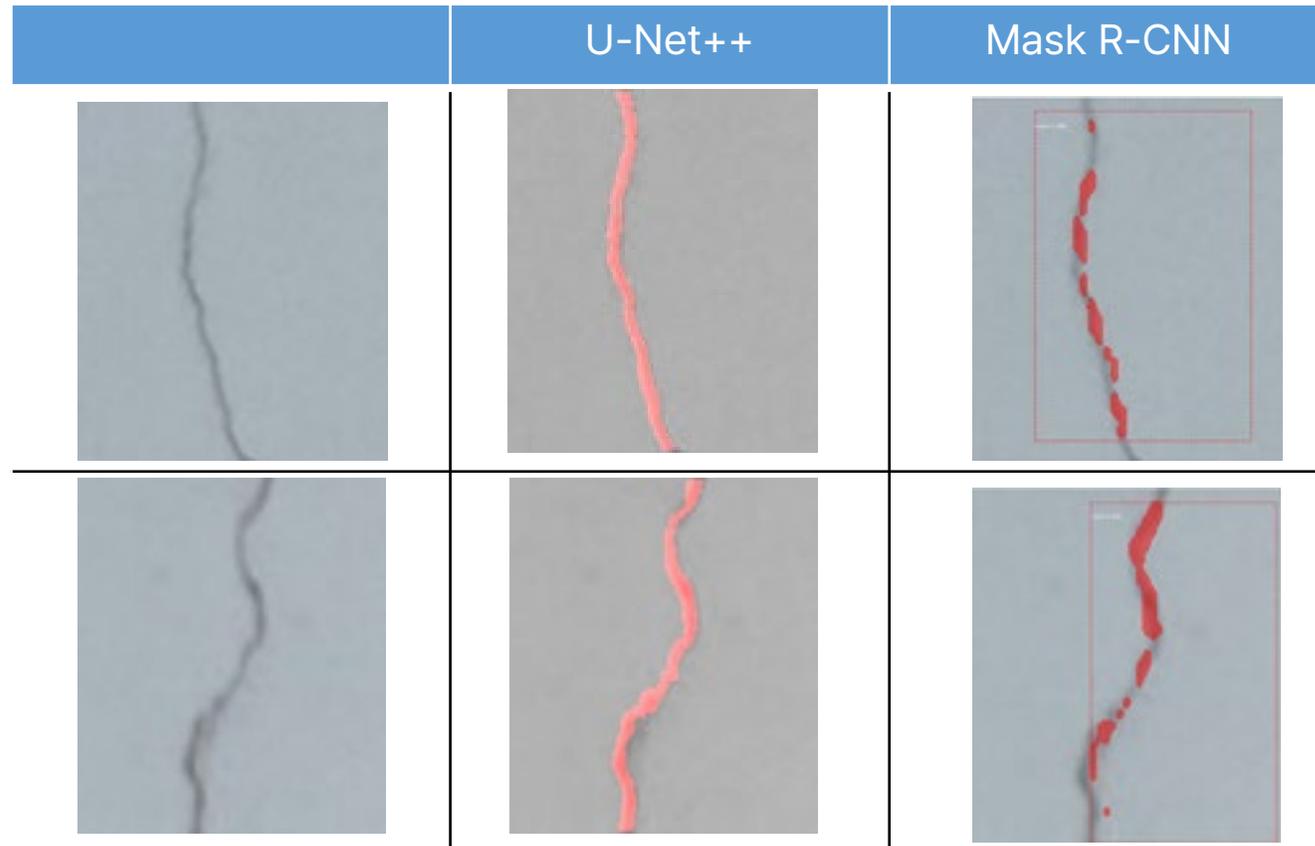
*Appl. Sci.* **2022**, 12(3), 1374; <https://doi.org/10.3390/app12031374>

# 핵심 기술

## Robotics & UAV

❖ 이미지 기반 결함 검출

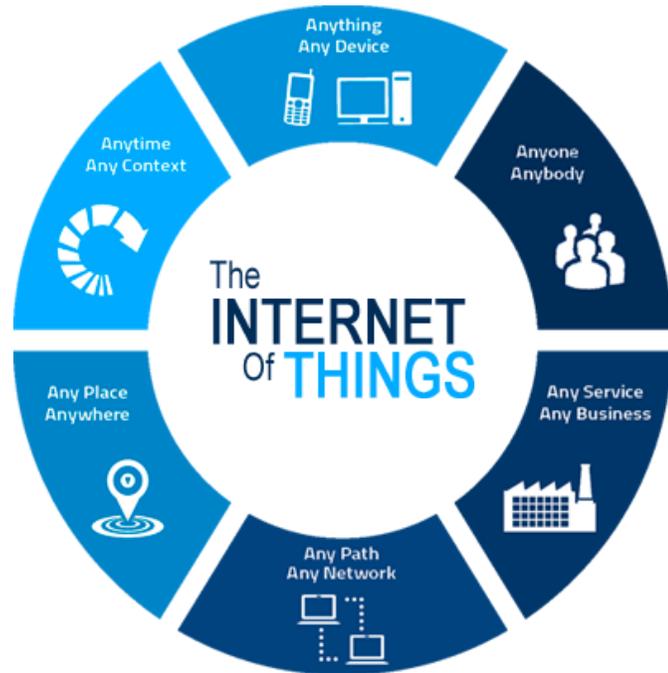
✓ Mask R-CNN, U-Net++ 비교



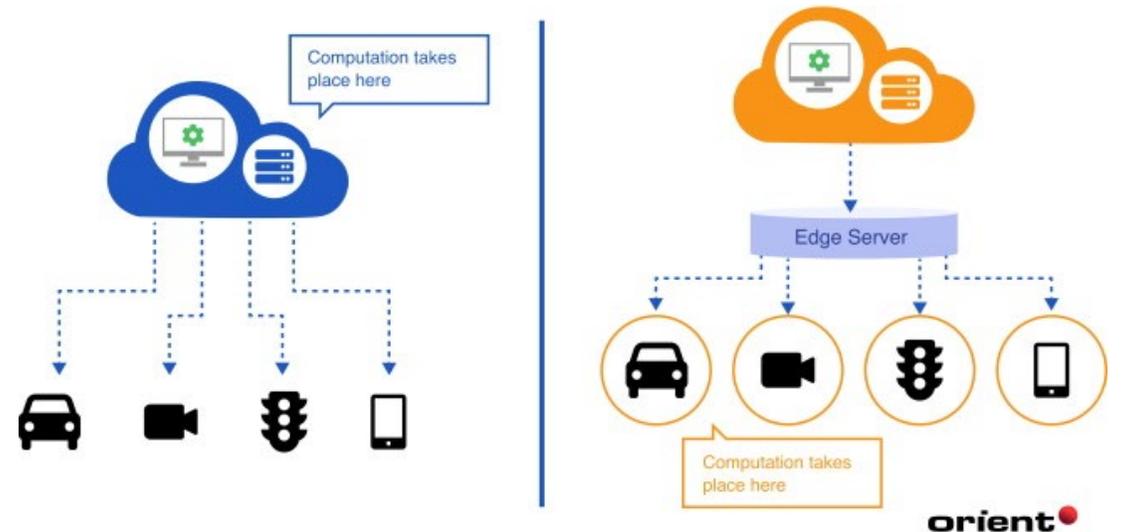
*Gil & Song, "UAV-based Bridge Inspection and Damage Detection", World Road Congress Proceeding, Prague, Czech, 2023*

# 핵심 기술

## IoT, Cloud & Edge Computing



## Cloud Computing vs Edge Computing



[chatGPT] IoT refers to the network of physical devices, vehicles, home appliances, and other items embedded with electronics, software, **sensors**, and connectivity which enables these objects to connect and exchange **data**. IoT allows for the seamless exchange of data between devices and systems, enabling new levels of efficiency, automation, and insights.

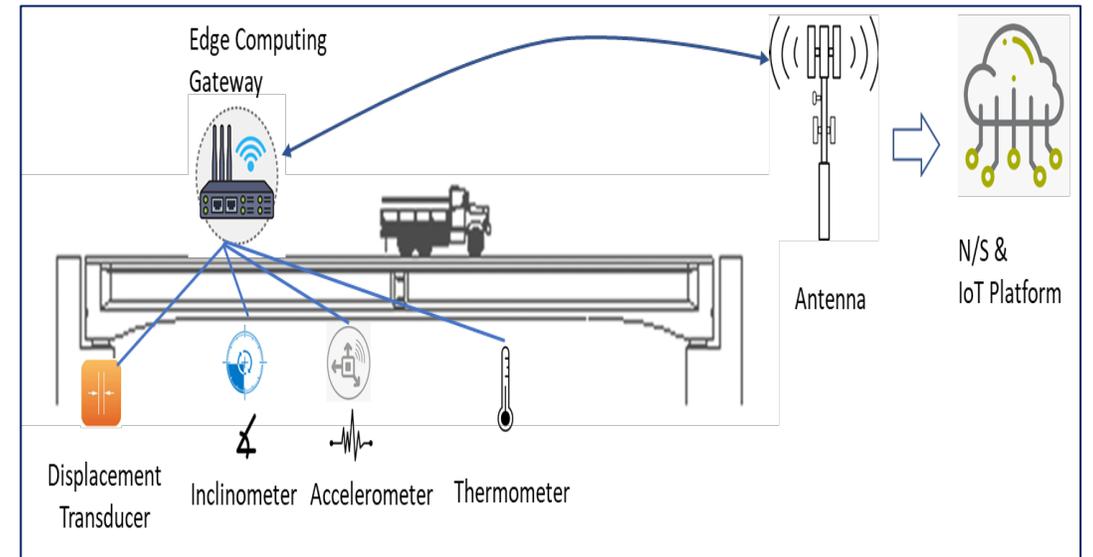
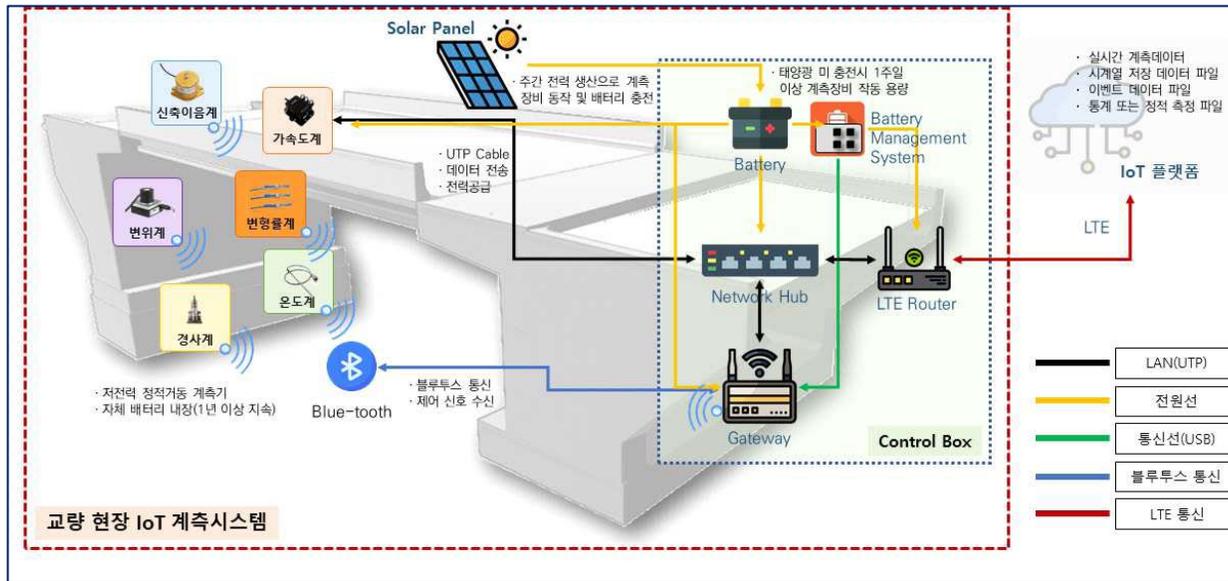
From <https://www.orientsoftware.com/blog/edge-computing-vs-cloud-computing/>

# 핵심 기술

## IoT, Cloud & Edge Computing

### ❖ IoT 기반 교량 현장 계측(모니터링) 시스템

- ✓ 국도 : LTE 기반 모니터링 시스템
- ✓ 고속도로: LoRaWan 네트워크 기반 모니터링 시스템

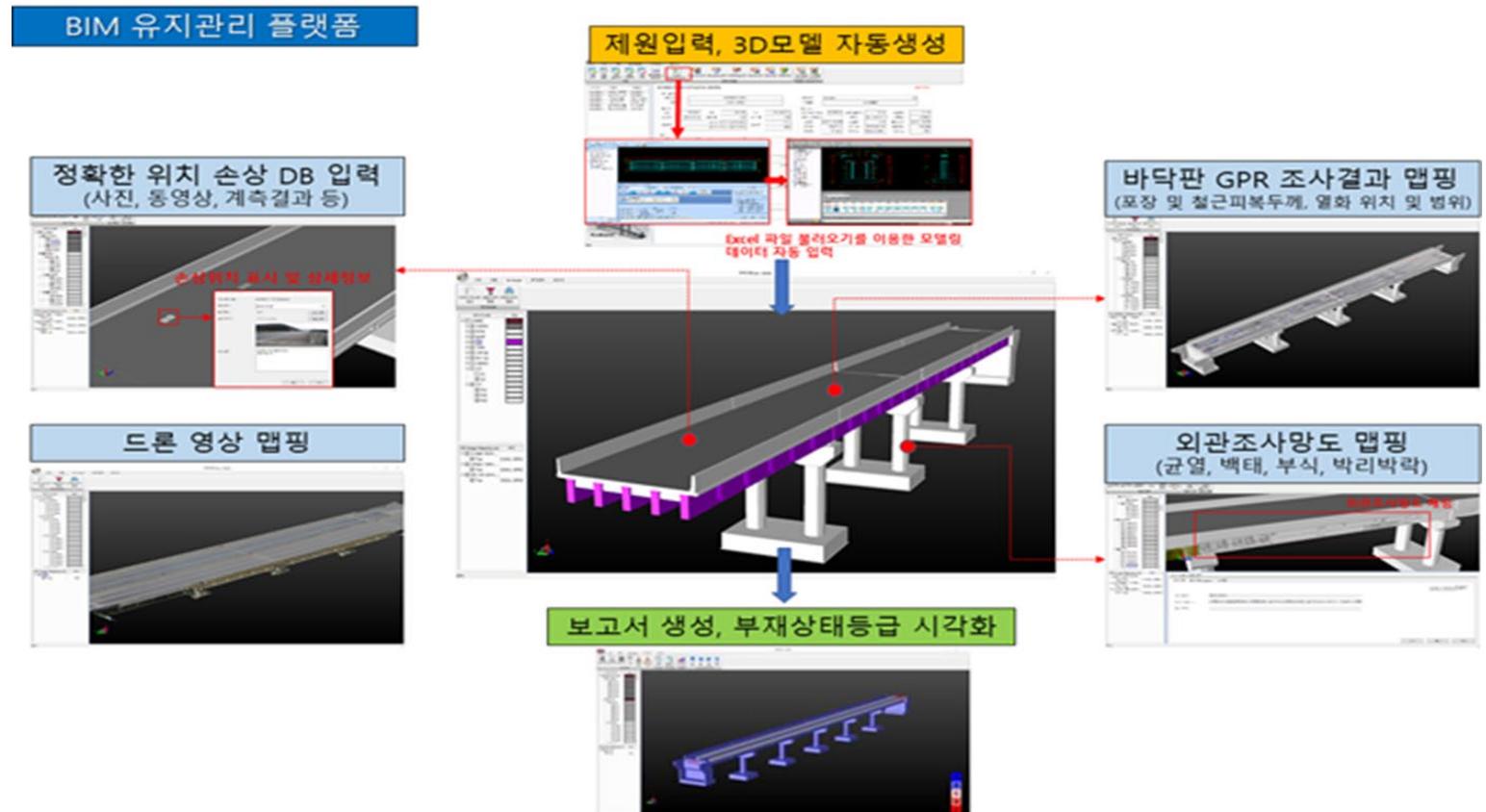


\*LoRaWan: Long Range Wide Area Network, Max. coverage: 11km, Max. data transfer range: 50kbps

# 핵심 기술

## BIM (Building Information Modeling)

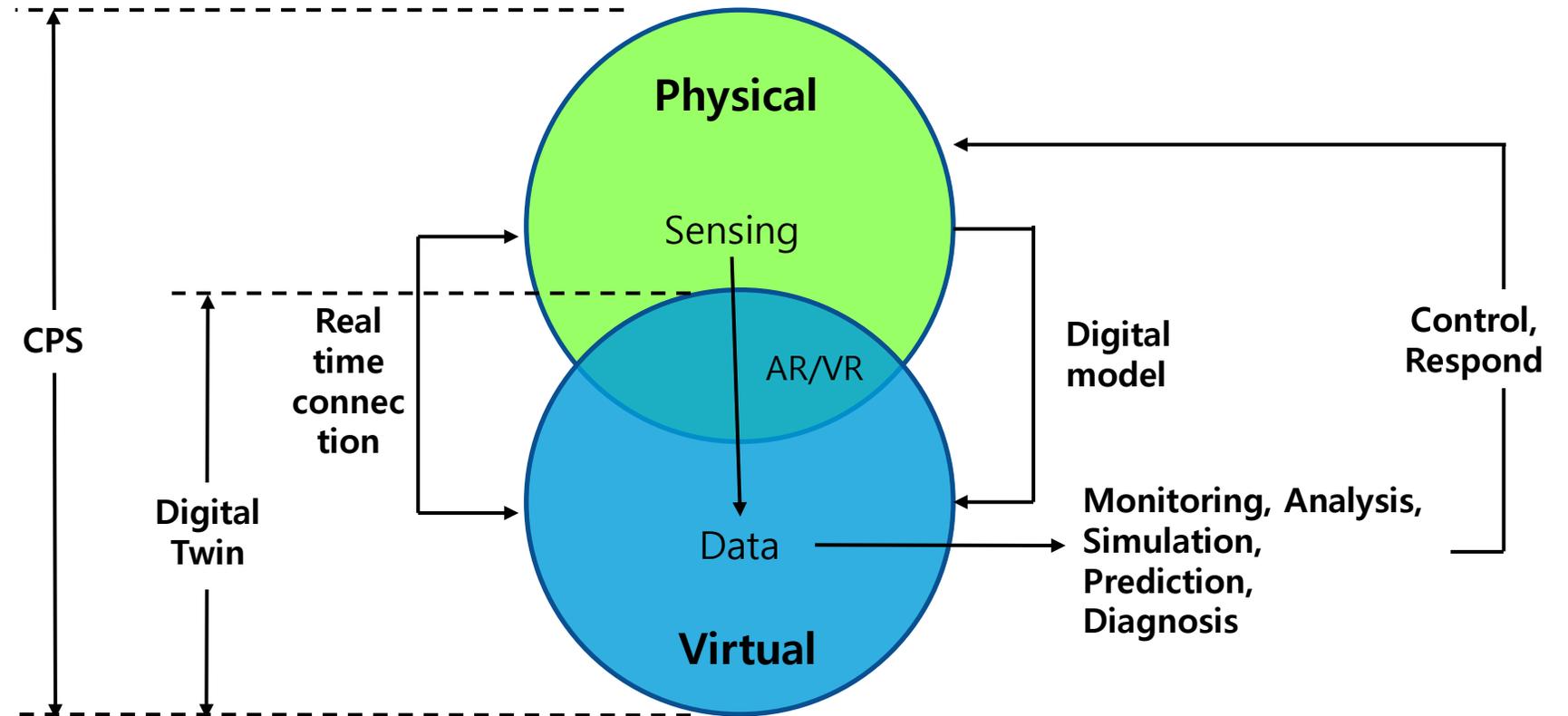
- ❖ 설계 및 건설 관리 위주 BIM 활성화
- ❖ 한국도로공사: 유지관리 BIM (BIMEX) 개발



# 핵심 기술

## 디지털 트윈

- ❖ A digital twin is a virtual representation of an object or system that spans its lifecycle, is updated from real-time data, and uses simulation, machine learning and reasoning to help decision-making - IBM



# 핵심 기술

## BIM vs. 디지털 트윈

BIM	DT
Static data	Static and dynamic data
Formed by data	Includes both data and algorithms to explain the behavior of physical objects
Cannot be networked	Networkable
Cannot be updated without manual intervention	Continuously linked to the physical object and gets updated
Is not designed for real-time operational monitoring	Is fed by real-time data

*\* Mahmoodian, et al, "Development of Digital Twin for Intelligent Maintenance of Civil Infrastructure", Sustainability, 2022, 14.*

# 특수교량 안전·유지 관리 디지털 트윈 구축 사업



# 배경 및 목표

## 장대 케이블 교량 재난 및 손상

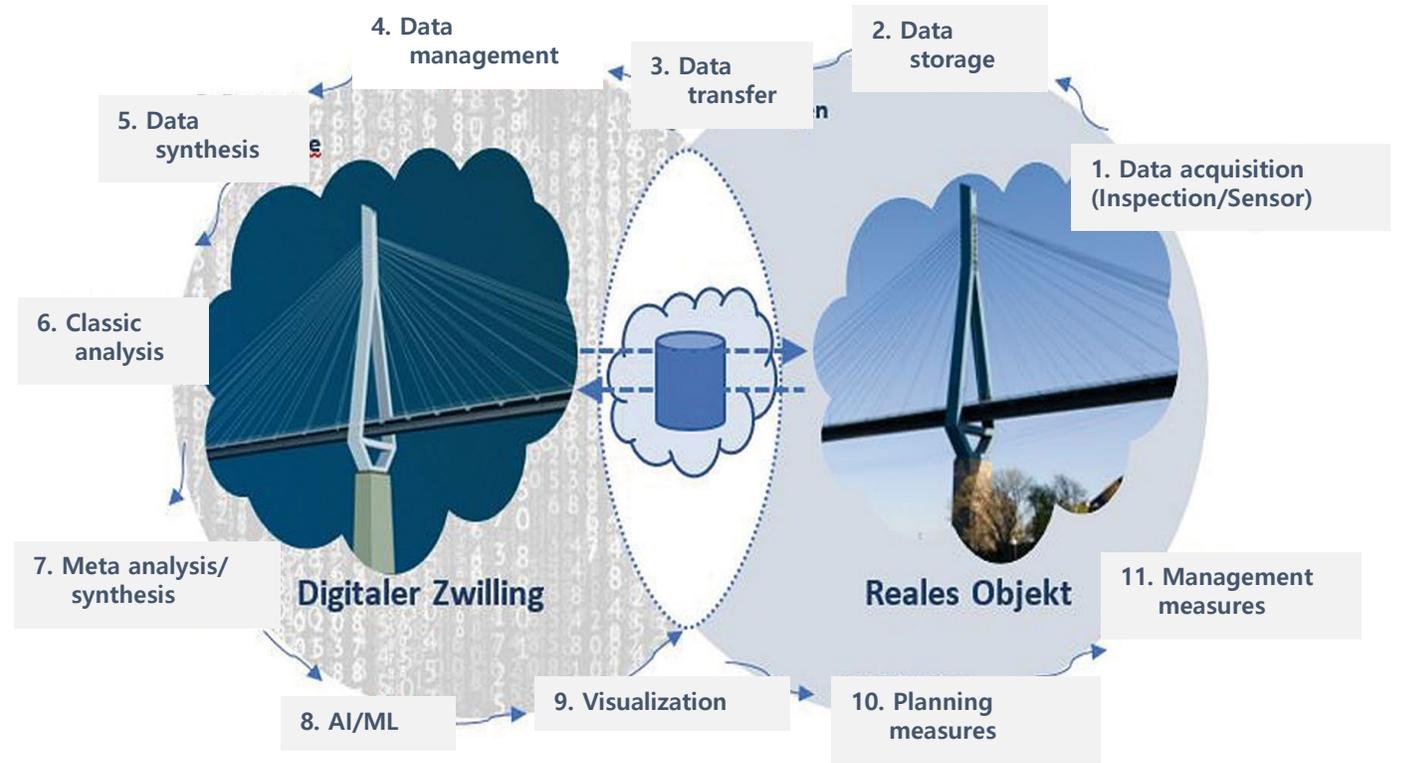
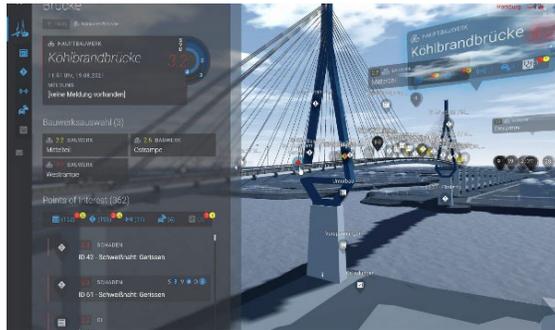


# 배경 및 목표

## 교량 디지털 트윈



A digital twin of a bridge is a virtual replica of the physical bridge that incorporates data from **sensors**, **simulations**, and **other sources** to provide real-time insights into the bridge's **condition**, **performance**, and **potential issues**.



<https://www.homeport.hamburg/portfolio/smartbridge>

# 배경 및 목표

## 디지털 트윈 성숙도 분류

- ❖ 묘사적인(Descriptive) 디지털 트윈
  - ✓ 데이터의 수집 및 표출
- ❖ 정보적인(Informative) 디지털 트윈
  - ✓ 정보를 데이터로 변환하여 통찰력 확보
- ❖ 예측적인(Predictive) 디지털 트윈
  - ✓ 실시간 데이터를 활용하여 미래 상태 예측
- ❖ 통합적인(Comprehensive) 디지털 트윈
  - ✓ 1~3 단계를 종합하여 문제를 예방 및 개선된 결과 도출을 위한 개입[intervention] 제안
- ❖ 자율적이고 연결된(Autonomous & Connected) 디지털 트윈
  - ✓ AI, 기계학습 등을 이용하여 인간개입의 최소화

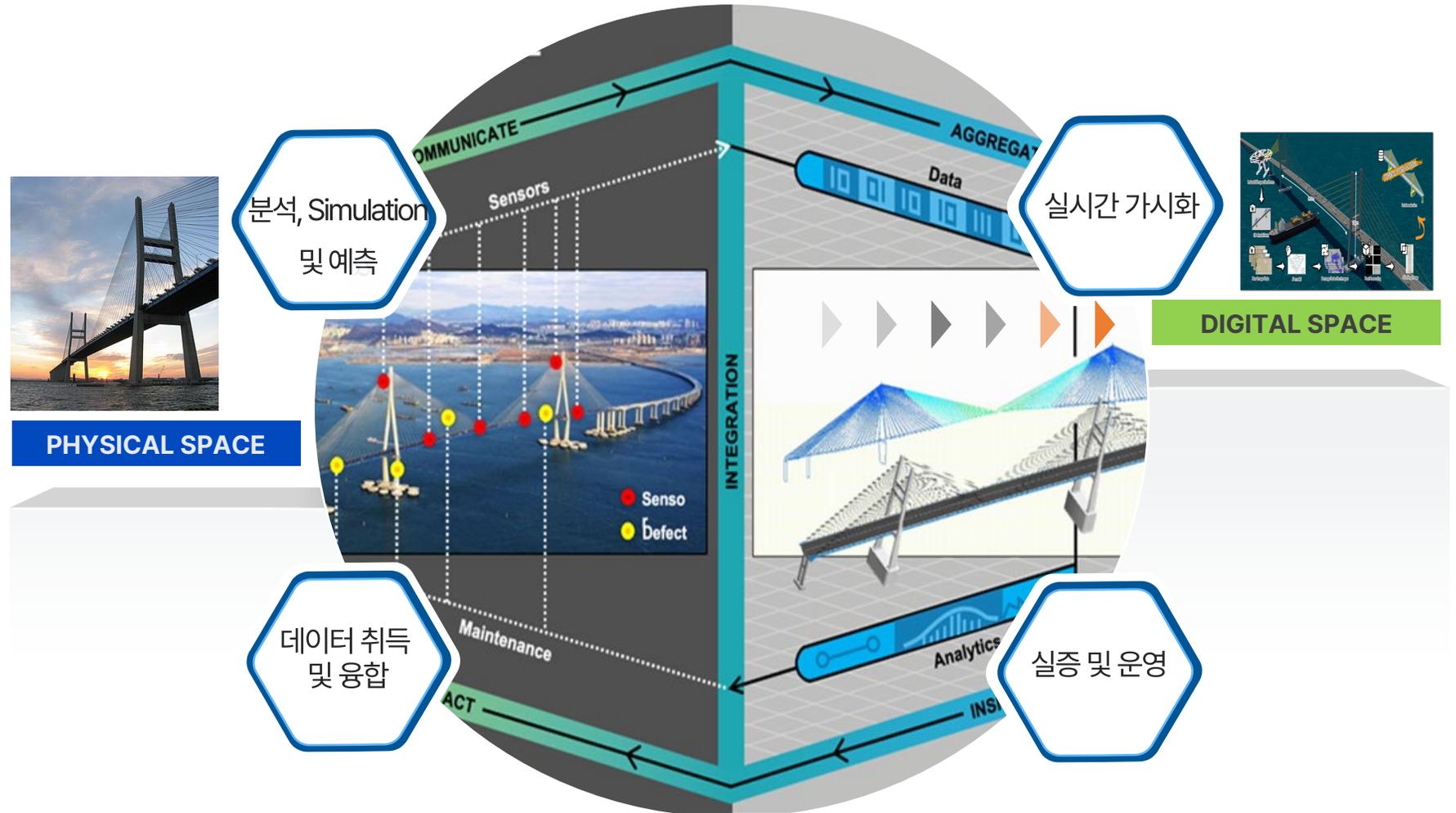
# 배경 및 목표

## 디지털 트윈 플랫폼 구축



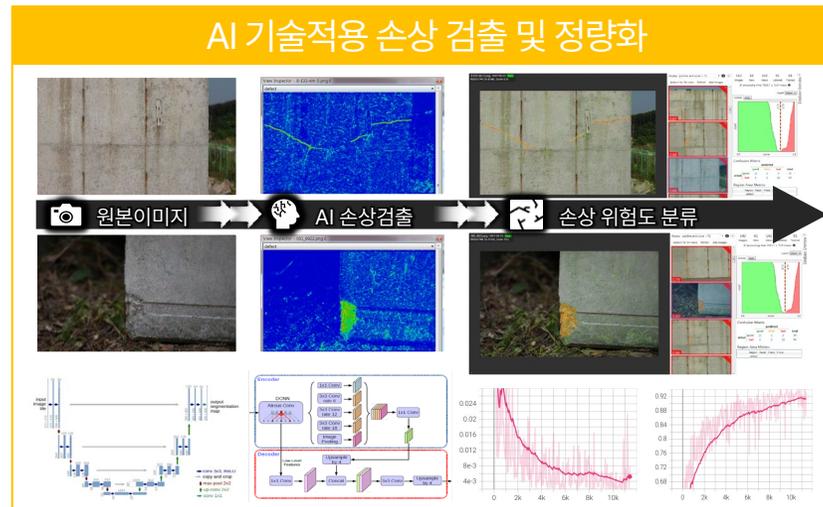
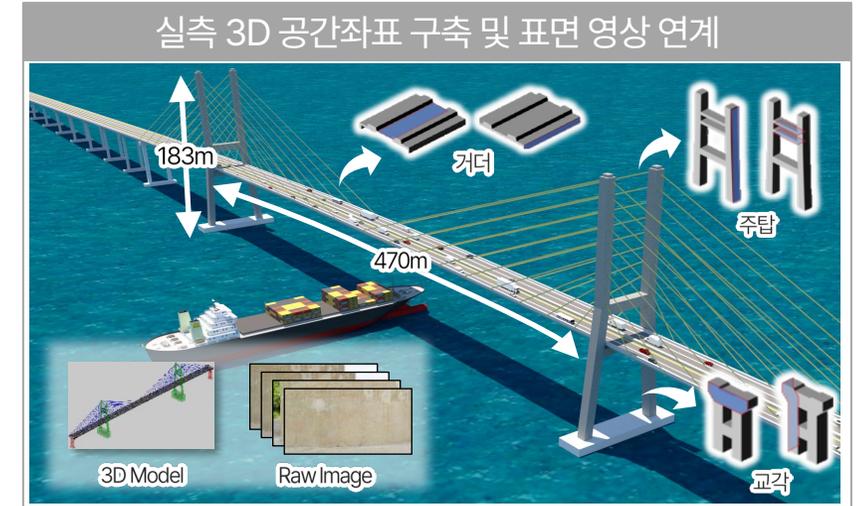
# 범위 및 내용

## Data, Network, AI 및 시뮬레이션 융합



# 범위 및 내용

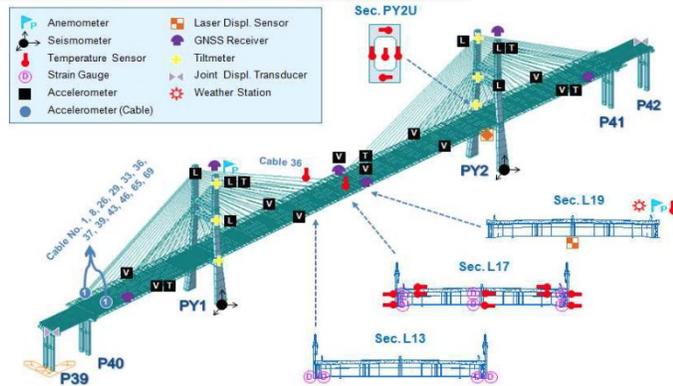
## [Data] 드론, AI 활용 결합 정보 수집 및 매핑



# 범위 및 내용

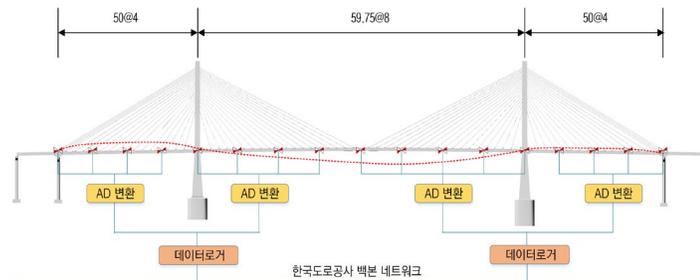
## [Data] 실시간 센서 모니터링 데이터 통합 수집

### 구조건전도 모니터링 시스템



- 2008년 재구축 이후 10년 이상 장기 계측 데이터 축적
- 10종 약 100개 센서 배치, 주기적인 건전성 평가

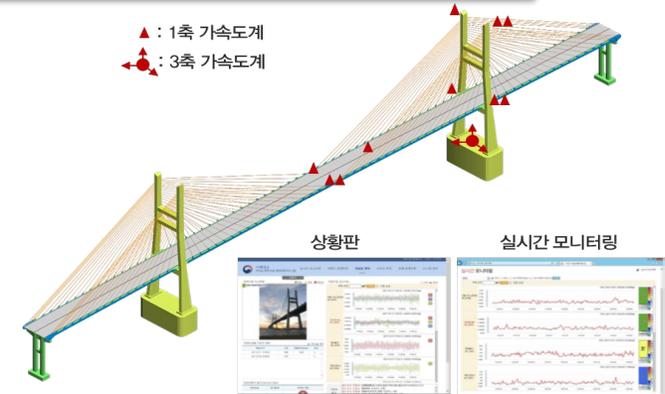
### 변위 형상 모니터링 시스템



- 신규 센서 및 측정시스템 설치
- 중앙경간 60M 간격, 측경간 50M 간격 보강거더 회전변위 측정

### 지진가속도 계측시스템

- ▲ : 1축 가속도계
- ▲▲▲ : 3축 가속도계



- 2017년 관련 법령에 따라 구축, 지진 발생 모니터링
- 지진하중 입력 가속도 데이터, 지진하중 응답 가속도 데이터 획득

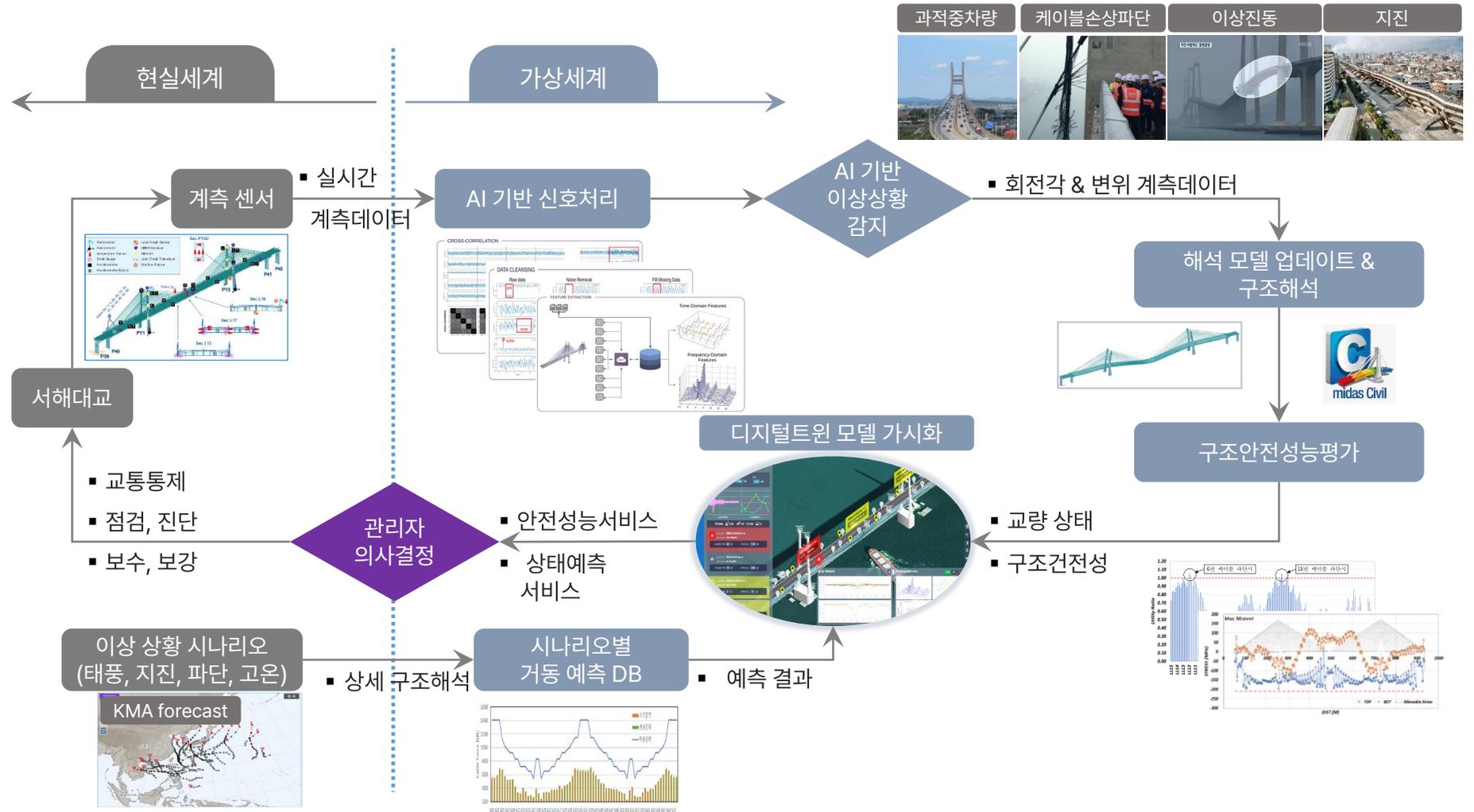
### 기상정보시스템



- 사창교 중앙경간: 시정계, 풍향풍속계, 강우량계, 일사계, 온습도계
- 행담도 안전관리센터: 강우량계, 온습도계, 강우강설감지기
- 교량 시점, 종점, 진입로: 시정계

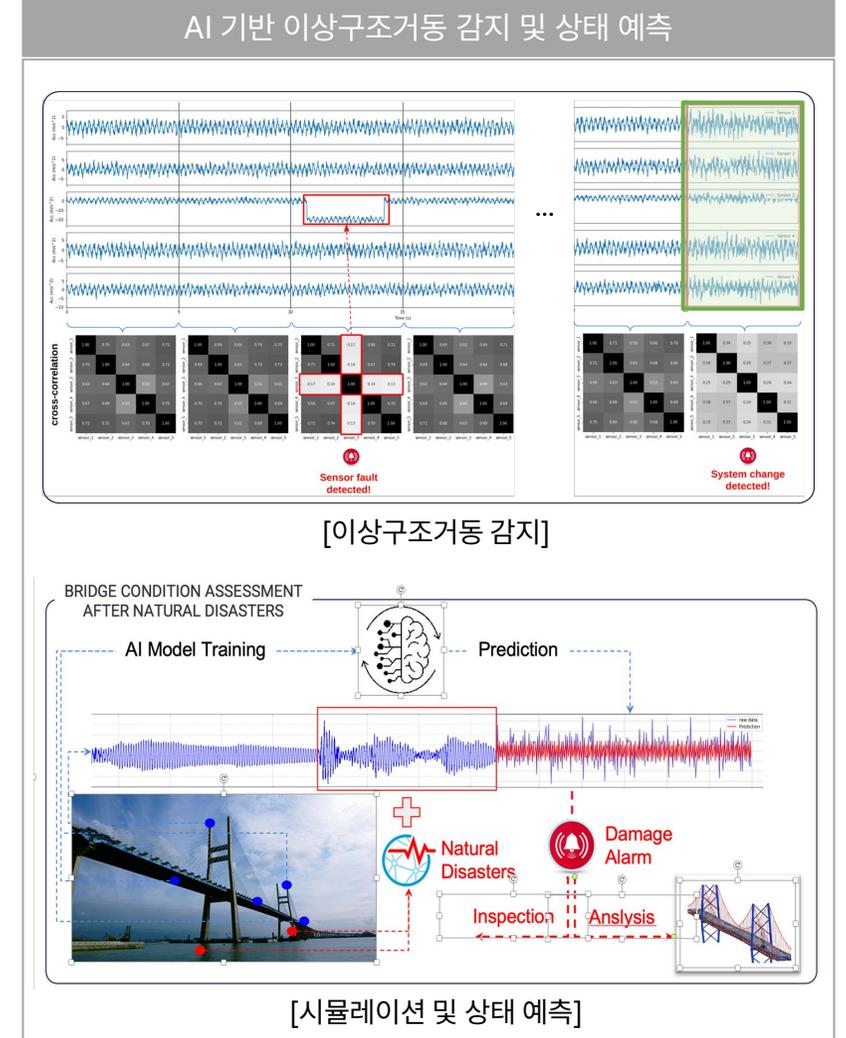
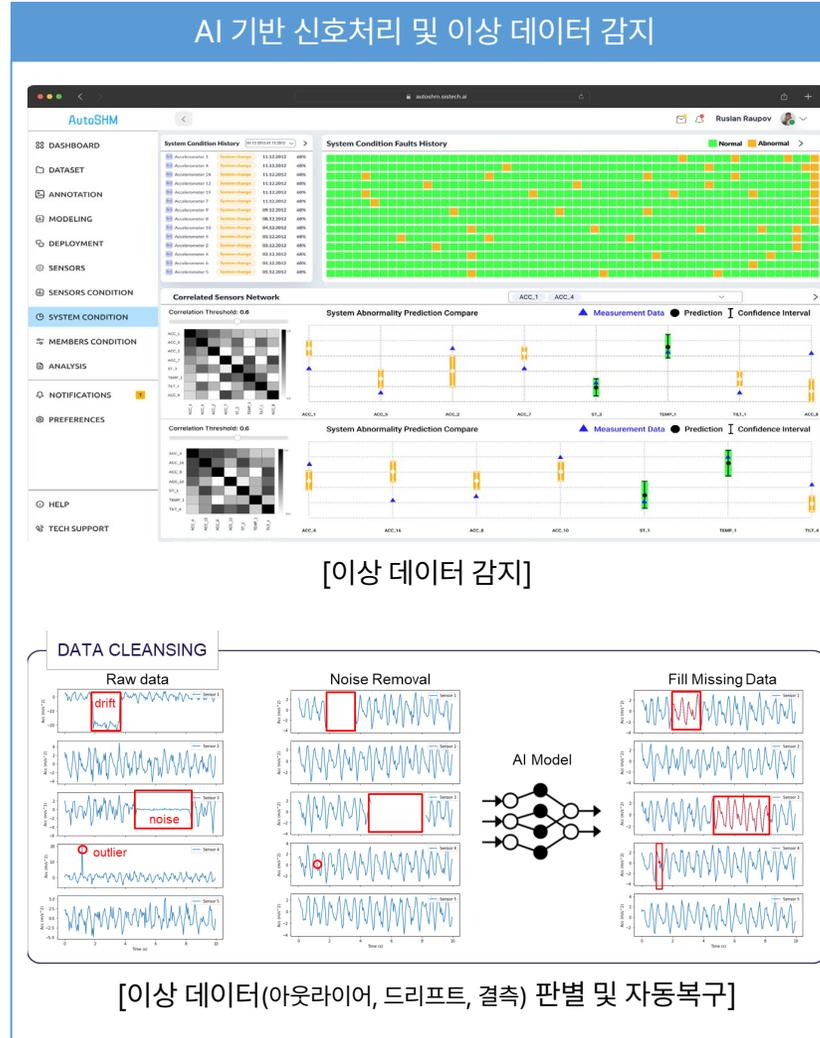
# 범위 및 내용

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성평가



# 범위 및 내용

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성평가



# 범위 및 내용

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성능평가

### 세계최초 구조안전성능평가 자동화 프로세스 구축



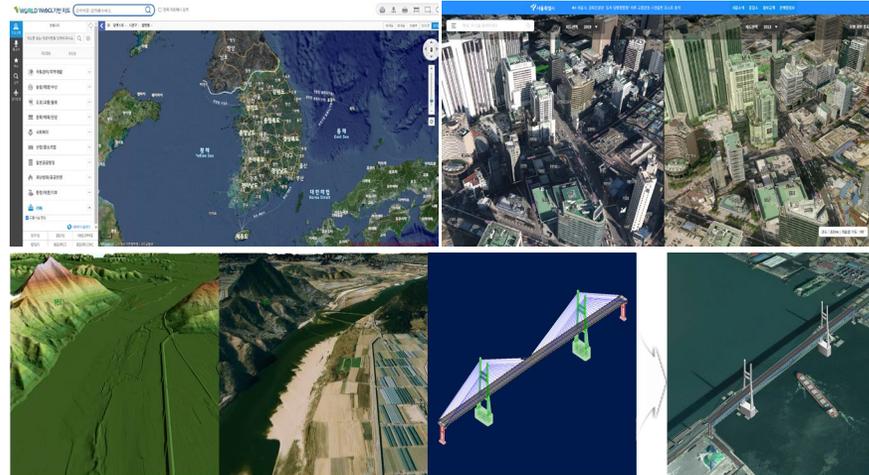
### 이상 상황 시나리오 기반 해석 및 학습데이터 구축



# 범위 및 내용

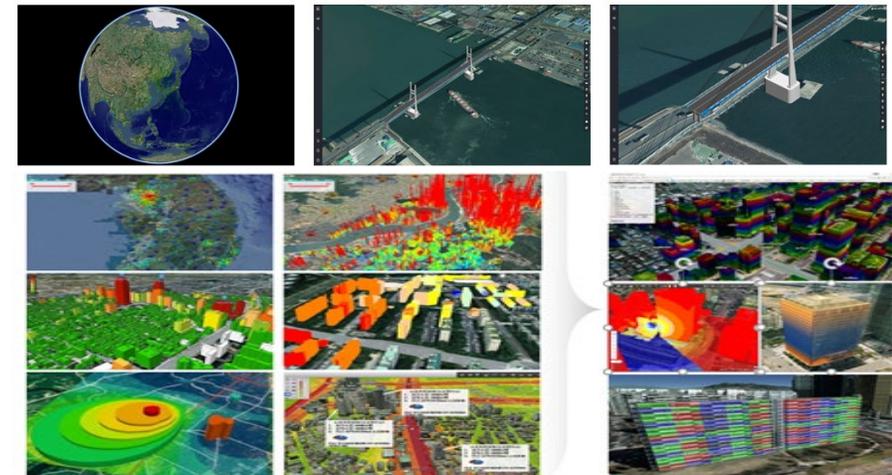
## [실시간 가시화] 대형 교량 디지털 트윈 플랫폼 구현

### 디지털 트윈 데이터 구축

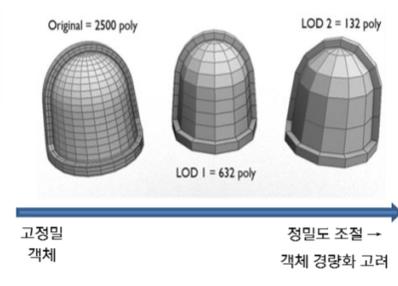


[배경지도, BrIM, 도면 기반 교량 데이터 구축]

### 디지털 트윈 플랫폼 구현



[디지털 트윈 가시화]



[모델링 데이터 경량화]



[CCTV 영상 융복합 가시화]

# 범위 및 내용

## [실시간 가시화] 신속한 의사결정 지원 위한 3D 시뮬레이션 플랫폼 구현

### 실시간 안전 및 유지관리 정보 표출



[센서 계측데이터 및 상태 정보 연계 표출]



정상시 플랫폼

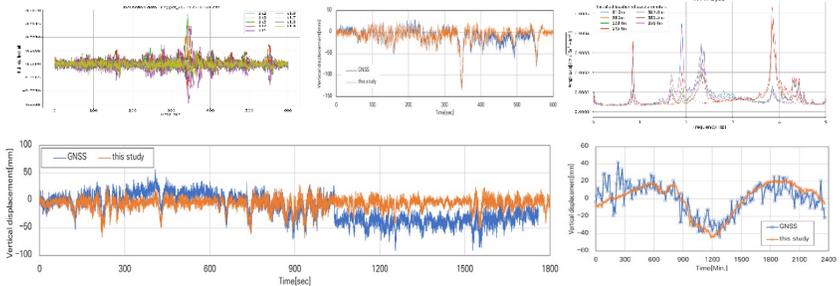


비상시 알림 발생

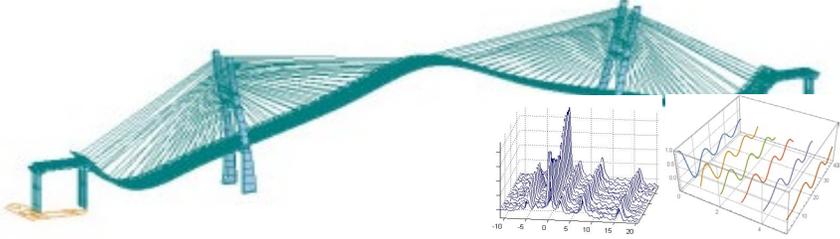
### [이상 상황 감지]

### 교량 상태 및 안전 가시화

변위	회전각	케이블장력
가속도	이동량	기후



### [실시간 모니터링 데이터]



### [태풍, 지진, 케이블 파단 등 고려 시뮬레이션 해석]

# 범위 및 내용

## [실증] 신속한 의사결정 지원 위한 3D 시뮬레이션 플랫폼 구현



- 교량 운영 및 유지관리
- 사용자 재난 대응, 안전 확보



- 모니터링 데이터 정밀 분석과 평가
- 시스템 개선 및 고도화



- 운영지원 및 장기 운영계획 마련
- 사업 확장과 정책 수립

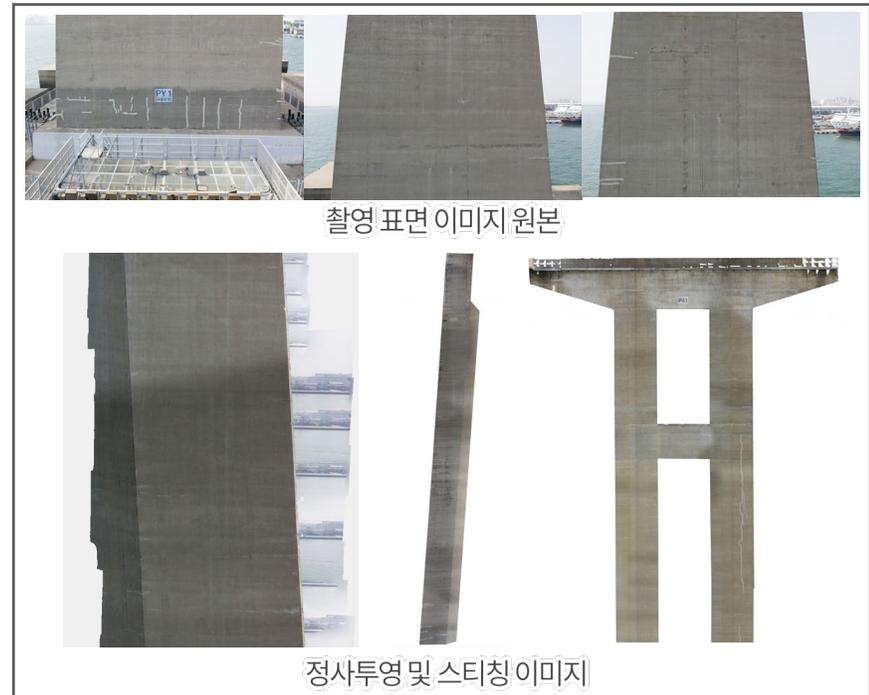
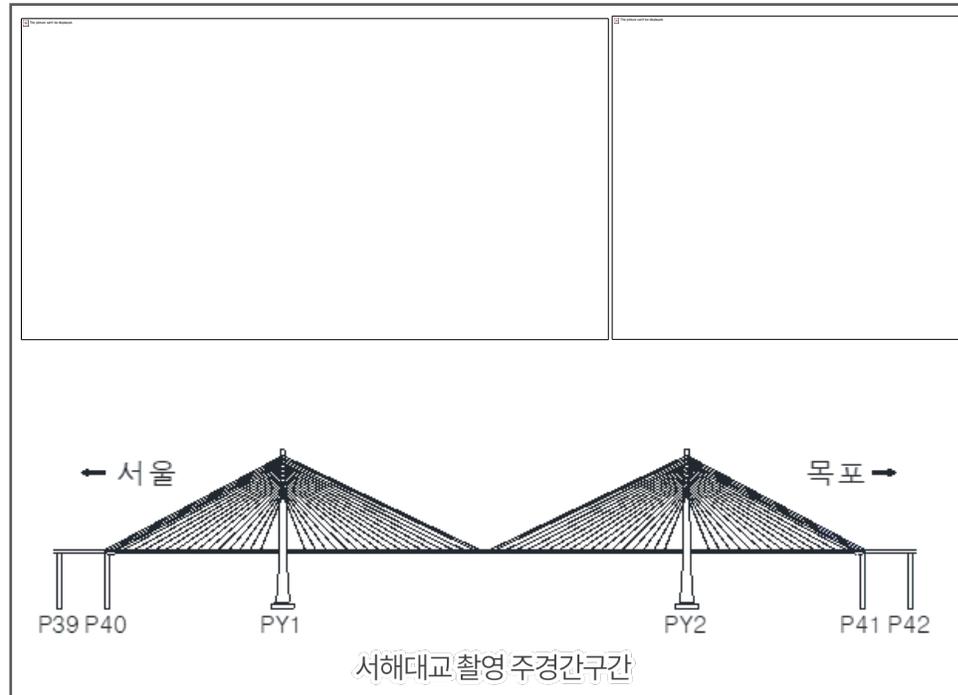


# 진행 현황

## [Data] 드론, AI 활용 결함 정보 수집 및 매핑

### ❖ 서해대교 주경간 구간의 부재 별 표면 촬영 데이터 취득

- 서해대교 주탑과 접속교 교각 하부 표면 촬영
- 균열 폭 0.5mm의 탐지를 위한 해상도 확보를 위해 약 5 ~ 6m의 Working Distance를 두고 진행
- 촬영 이미지는 정사투영 및 스티칭을 통해 부재의 각 면 당 하나의 이미지로 통합



# 진행 현황

## [Data] 드론, AI 활용 결함 정보 수집 및 매핑

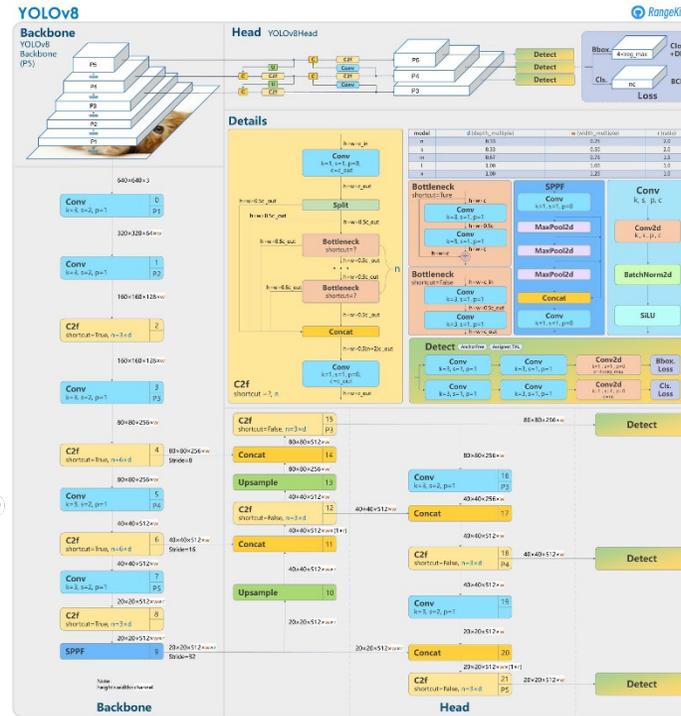
### ❖ (AI) 객체 탐지 모델을 활용한 콘크리트 표면 손상 검출

- 콘크리트 표면 손상 학습용 Bounding box 형 라벨을 사용하여 객체 탐지 모델 훈련 진행
- 콘크리트 표면 주요 4종 손상(균열, 박리·박락, 백태, 철근노출·부식)에 대한 Bounding box 형 탐지
- YOLOv8 Architecture 적용



학습용 Bounding Box 형 라벨

Training



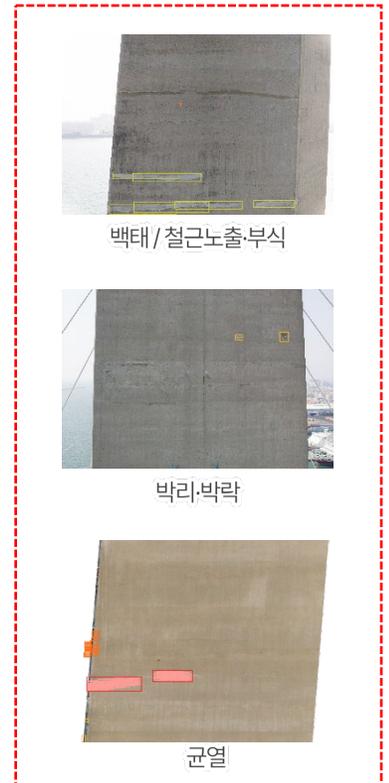
객체 탐지 모델



Inference Input

항공 촬영 이미지

Inference Output



백태 / 철근노출·부식

박리·박락

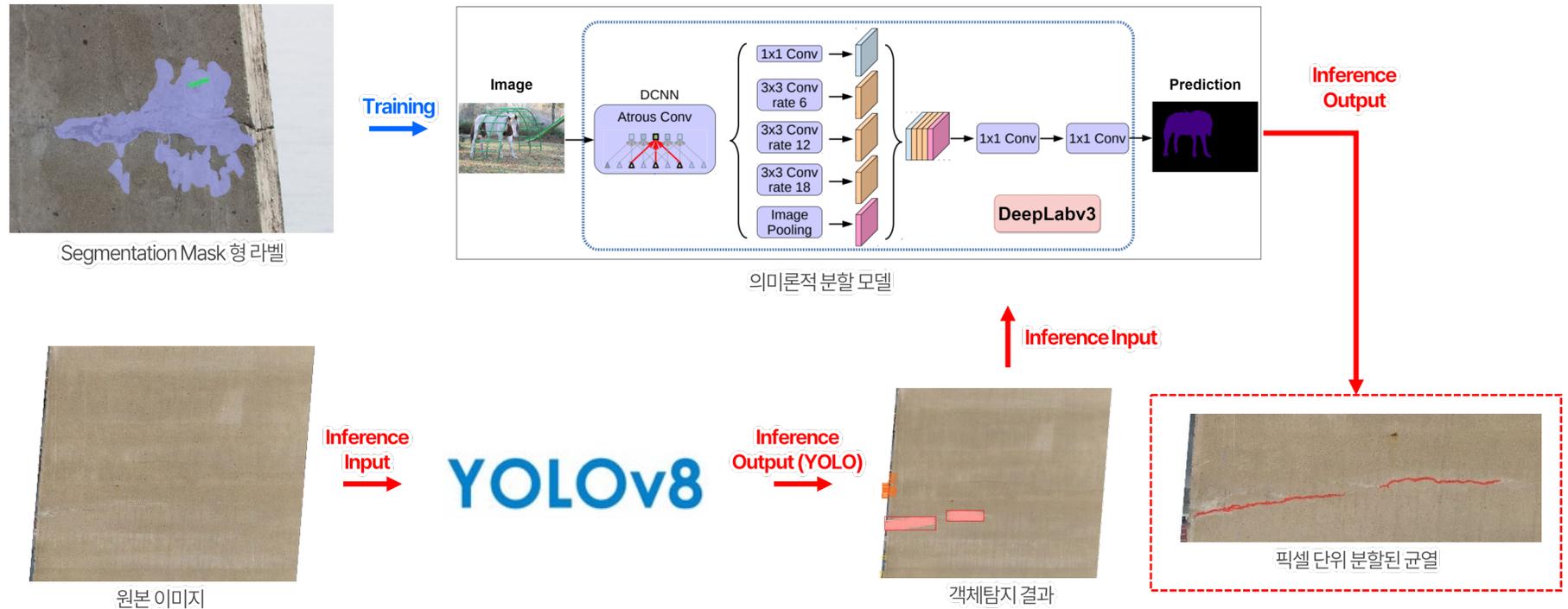
균열

# 진행 현황

## [Data] 드론, AI 활용 결함 정보 수집 및 매핑

### ❖ (AI) 의미론적 분할(Semantic Segmentation) 모델 활용 균열 탐지

- Segmentation mask 형 학습 데이터를 사용하여 의미론적 분할 모델 학습
- 균열 형태의 손상에 대해 픽셀 단위의 분할 진행
- DeepLabV3+-ResNet50



# 진행 현황

## [Data] 실시간 센서 모니터링 데이터 통합 수집

### ❖ 모니터링 데이터 통합 및 DB 구축

#### ✓ 모니터링 센서 및 수량

구분	센서 구성
구조건전도 모니터링시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10종 94개 센서</li> <li>• 가속도계, 변형률, 처짐계, 온도계, 풍향 풍속계, 경사계, 신축변위계, GNSS</li> </ul>
지진가속도 계측시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1축, 2축, 3축 가속도계로 구성</li> <li>• 9개 센서, 16개 채널 성분의 가속도</li> </ul>
변위 형상 모니터링시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1축 경사계로 구성</li> <li>• 17개 센서, 17개 채널 성분의 경사 변위</li> </ul>
기상정보시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6종 10개 센서</li> <li>• 시정계, 풍향풍속계, 강우량계, 일사계, 온습도계, 강우강설감지기</li> </ul>

#### ✓ 데이터 구성

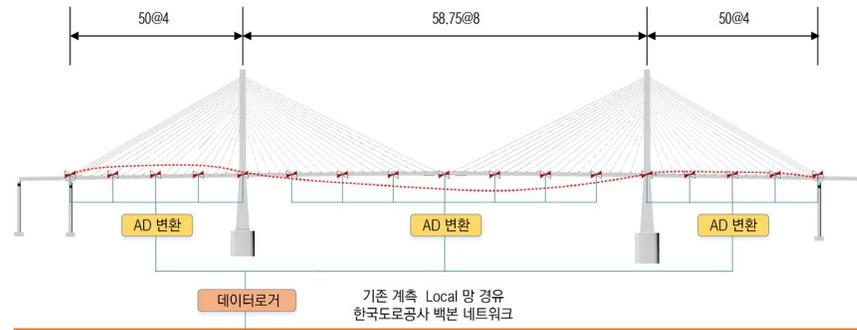
구분	데이터 구성
실시간 측정값	① 실시간 100Hz: 구조건전도모니터링시스템, 지진가속도 계측시스템, 형상변위 측정시스템 ② 실시간 10Hz: GNSS RTK 측위
1분 단위 대푯값	① RWIS ② 1분 평균 풍속, 풍향, 최대값, 10분 평균 풍속 ③ 기상정보
10분 단위 통계 대푯값	① 구조건전도 모니터링시스템, 형상변위 측정시스템 ② Min., Max., Avg., Std., RMS, (Skewness, Kurtosis, Count) ③ 진동수 영역: 고유진동수, 장력
시스템 데이터	① 물리량 환산 계수 ② 진동수 영역 처리 설정값 ③ 네트워크 및 로거

# 진행 현황

## [Data] 실시간 센서 모니터링 데이터 통합 수집

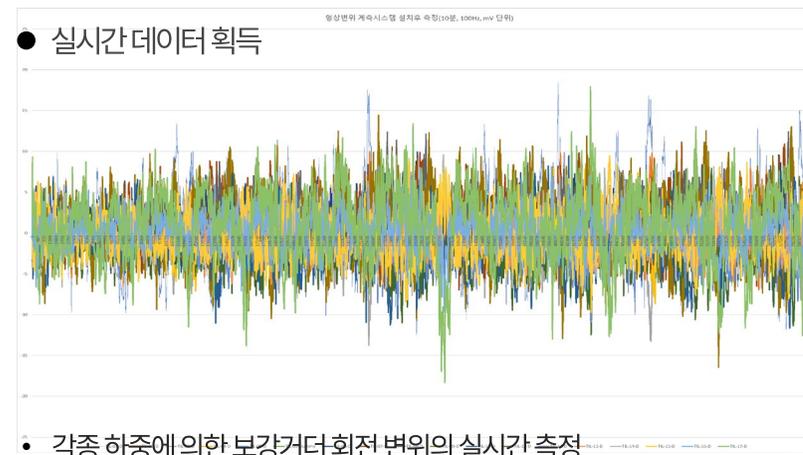
### ❖ 경사계 기반 형상 변위 모니터링 시스템 설치

#### ● 시스템 배치



- 중앙경간 약 60M 간격, 측경간 50M 간격 회전변위 측정

#### ● 실시간 데이터 획득



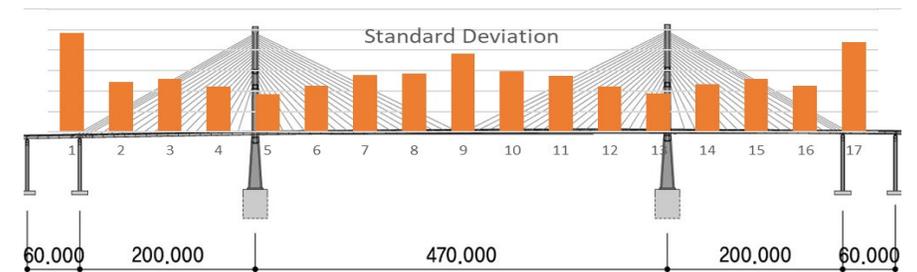
- 각종 하중에 의한 보강거더 회전 변위의 실시간 측정

#### ● 계측 센서 (경사계)



#### ● 회전 변위의 분포

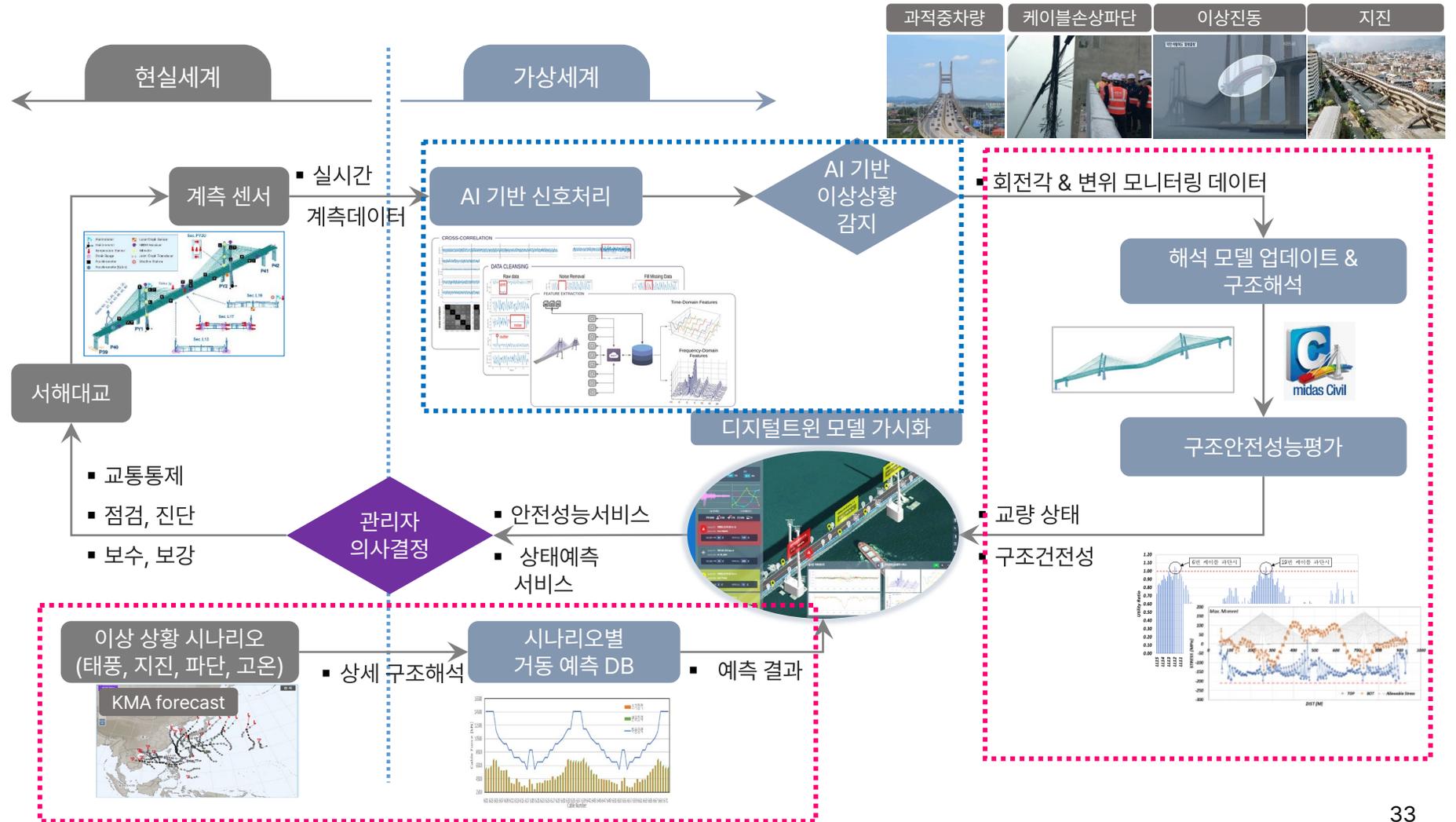
10분 측정값의 표준편차 분포



- 내부 지점부 교각과 중앙경간 1/2에서 최대 변화 발생

# 진행 현황

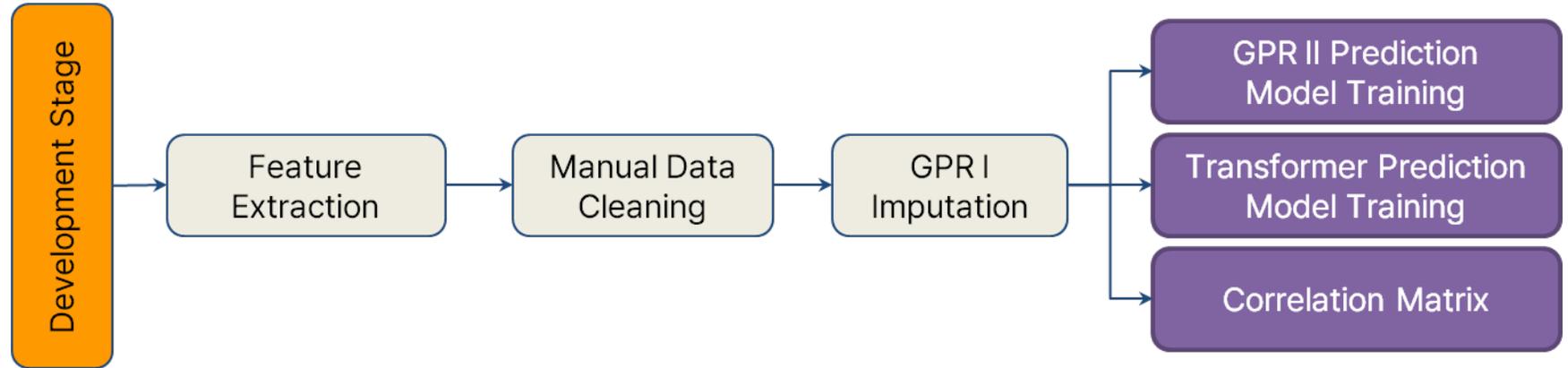
## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성평가



# 진행 현황

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성능평가

❖ AI 기반 이상상태 탐지 및 분석



➤ **Data Collection:** (Memory size: 8TB+2.7TB)

- 21 ACC sensors data (100 Hz)
- 18 CBT sensors data (100 Hz)
- 2 EXP sensors data (100 Hz)
- 12 TIL sensors data (100 Hz)
- 8 WGD sensors data (100 Hz)
- 9 EQK sensors data (100 Hz)
- 10 DSG sensors data (100 Hz)
- 10 STM sensors data (100 Hz)
- 18 TMP sensors data (100 Hz)
- 4 DIS sensors data (100 Hz)
- 48 GNSS sensors data (10 Hz)
- 16 EX sensors data (100 Hz)

➤ Total: 166 sensors data

➤ **Feature Extraction:**

- Extract median values every 10 minutes from all 166 sensors.

➤ **Data Cleaning:**

- Drop non-correlated sensors: Earthquake Sensors (9 + 16) and Wind Speed Sensors (8).
- Drop redundant displacement sensors: 2 out of 4.
- Drop 30 out of 48 GNSS sensors due to 12 missing sensors and 18 redundant sensors
- Drop 6 Cable Tension Sensors due to irrelevant data.
- Manual removal of abnormalities from the remaining 111 sensors' data.

➤ **Missing Values Imputation.**

- Development of Gaussian Process Regression (GPR I) for missing value reconstruction.
- Validation of GPR I for short (12 hours), middle (1 day), and long (1 week) term missing data.
- Full reconstruction of missing values for the initial **5 months**.

➤ **Train GPR II prediction models** with its uncertainties for each of the 93 sensors except 18 TMP sensors.

- Uses data from 10 most correlated sensors 1-lag data to predict the current sensor's next step.

➤ **Train a Transformer-based prediction model.**

- Utilizes 1-day lag data from all sensors to predict the next day.
- 18 Temperature sensors used as external features for prediction.

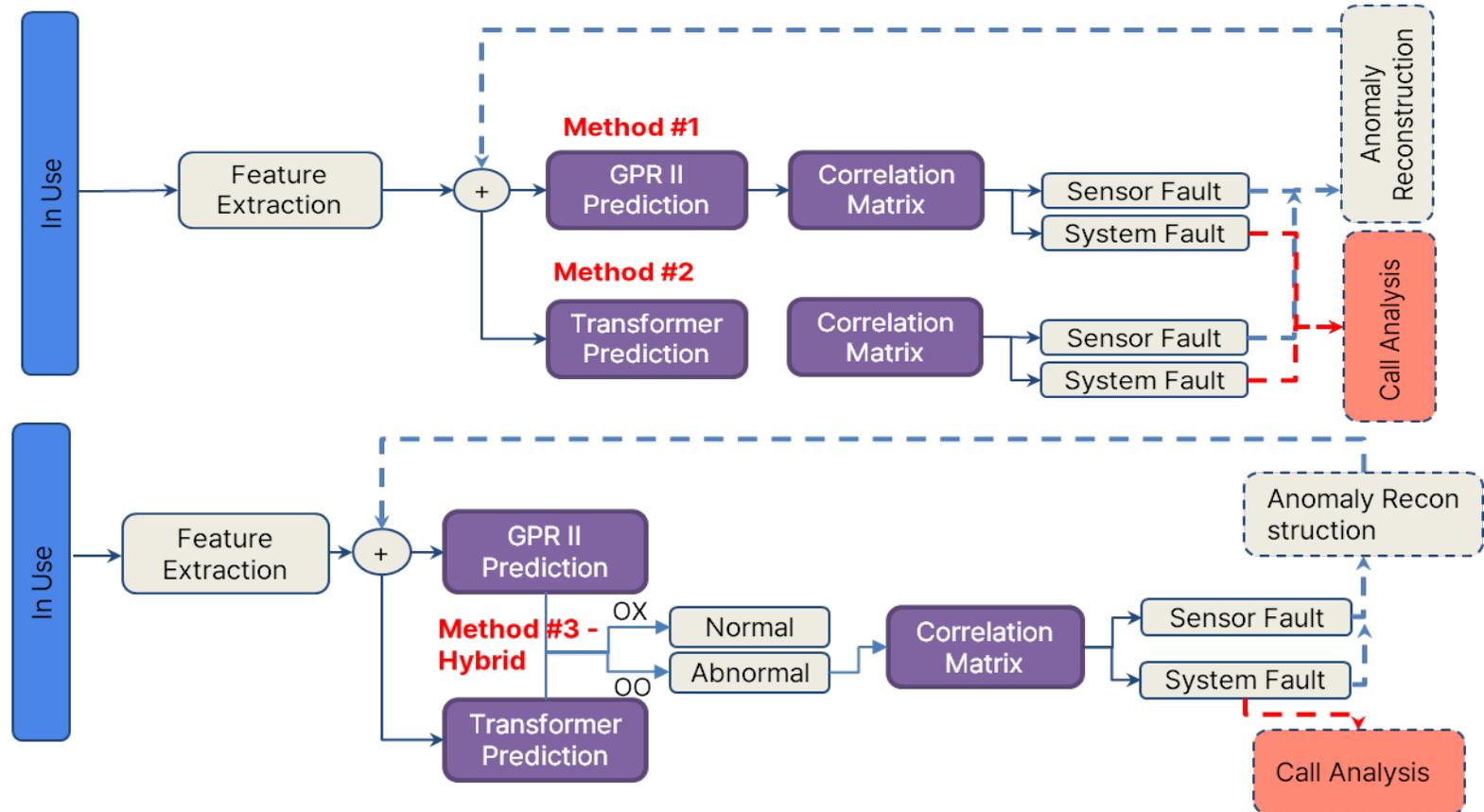
➤ **Correlation Matrix.**

- Calculate the correlation matrix for all sensors using the cleaned **5 months** of data.

# 진행 현황

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성능평가

❖ AI 기반 이상상태 탐지 및 분석

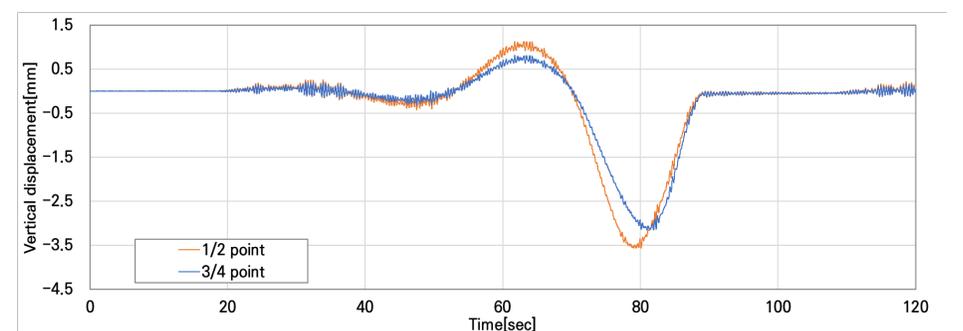
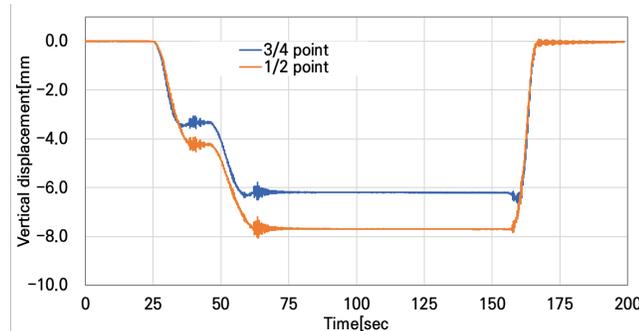
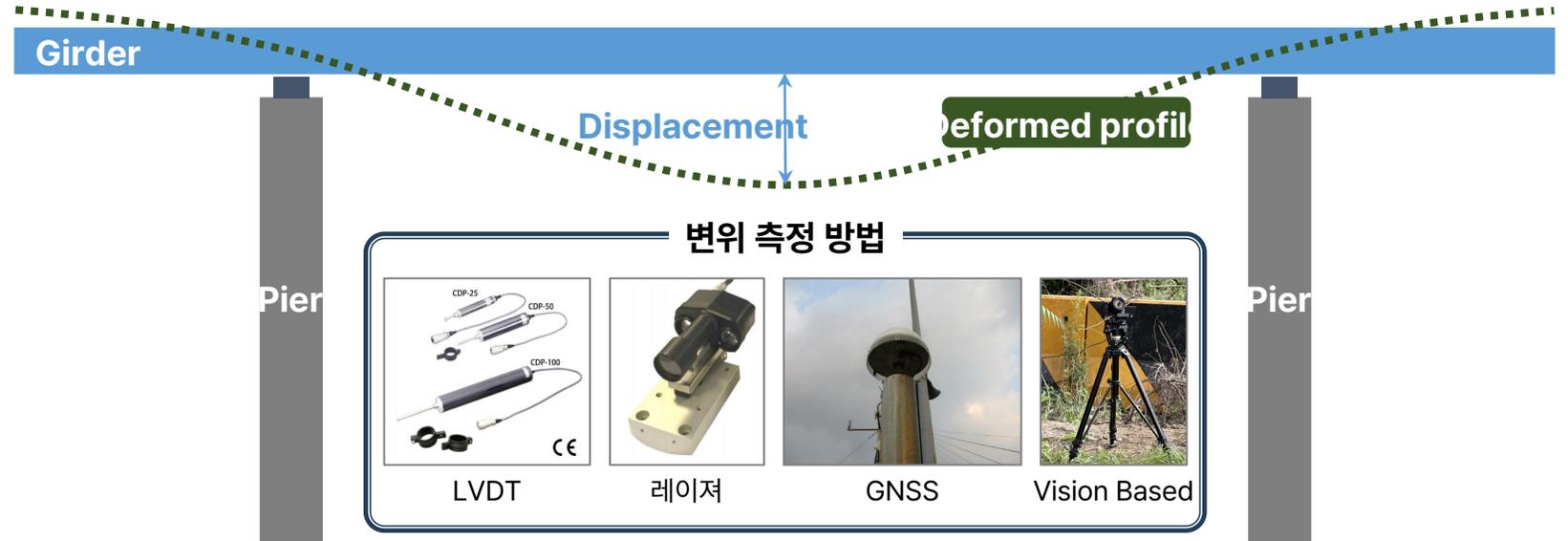


\*GPR: Gaussian Process Regression

# 진행 현황

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성능평가

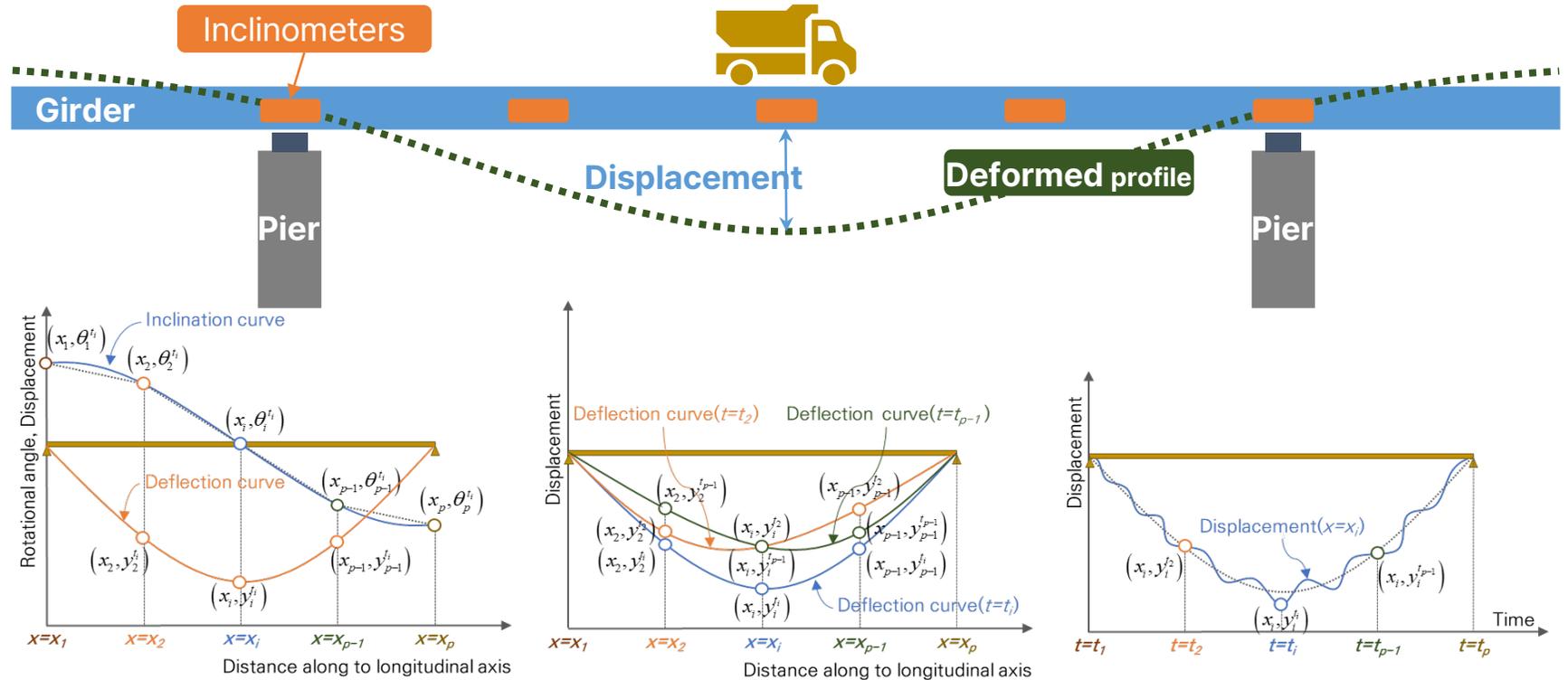
❖ 기존 구조물 변위 계측 방법



# 진행 현황

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성평가

❖ 회전각(Rotation)기반 변위 모니터링 기법



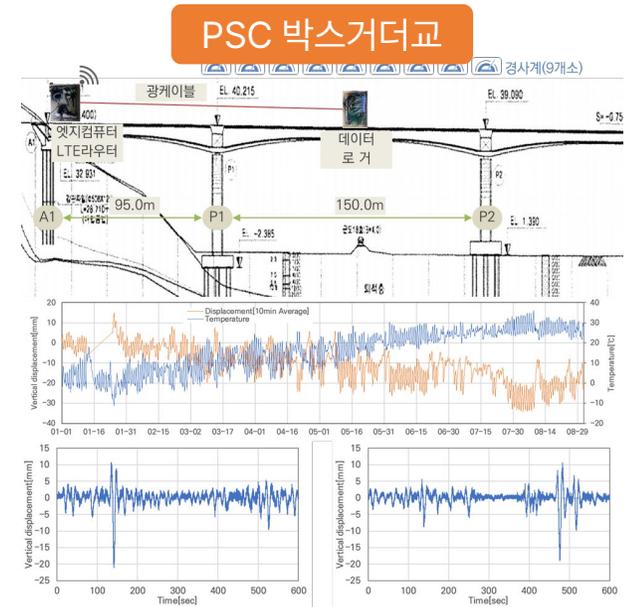
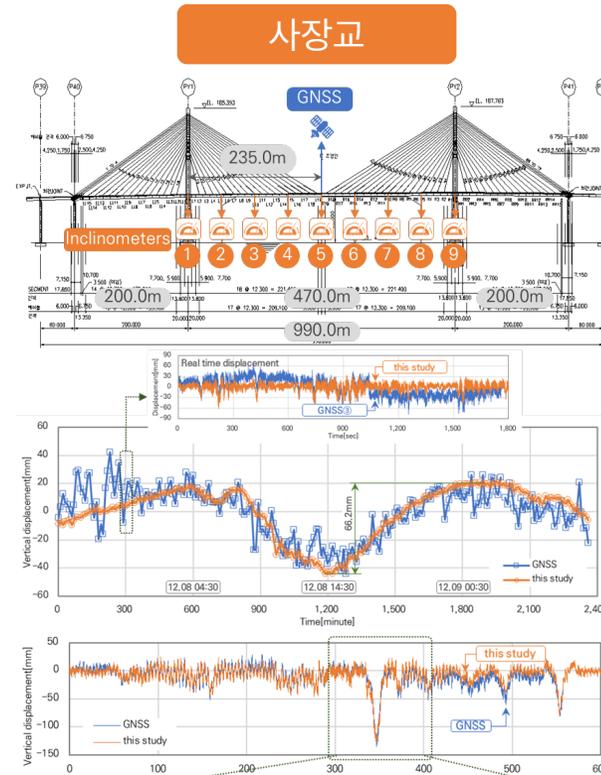
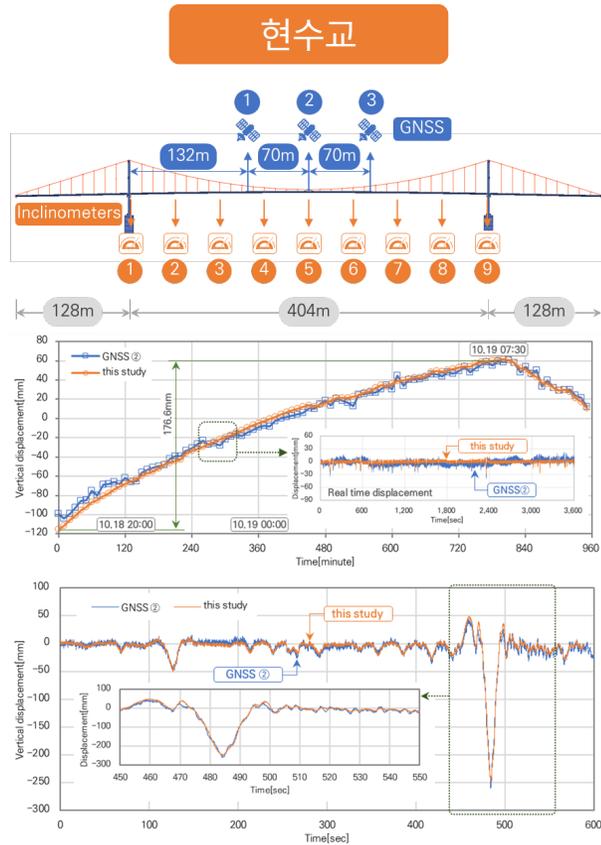
※ 선행 연구 결과

- 도로교통연구원(2022~2024), 고속도로 IoT 통신망 기반 교량 지능형 모니터링 시스템 개발
- 공민준 등(2023), 경사계를 이용한 케이블교량의 변위 산정, KSCE, Vol. 43, No. 3, pp. 297-308.
- 특허(제10-2579391호) : 회전각 계측과 신호처리를 통한 구조물 변위 측정 시스템 및 그 방법

# 진행 현황

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성평가

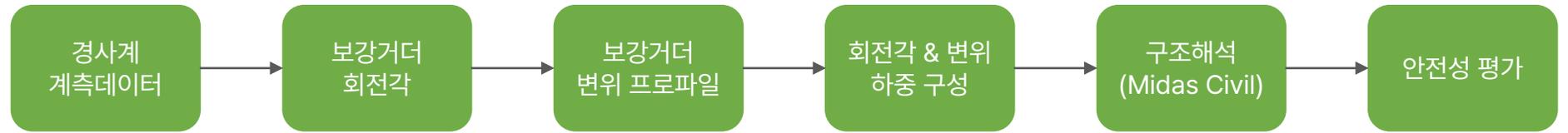
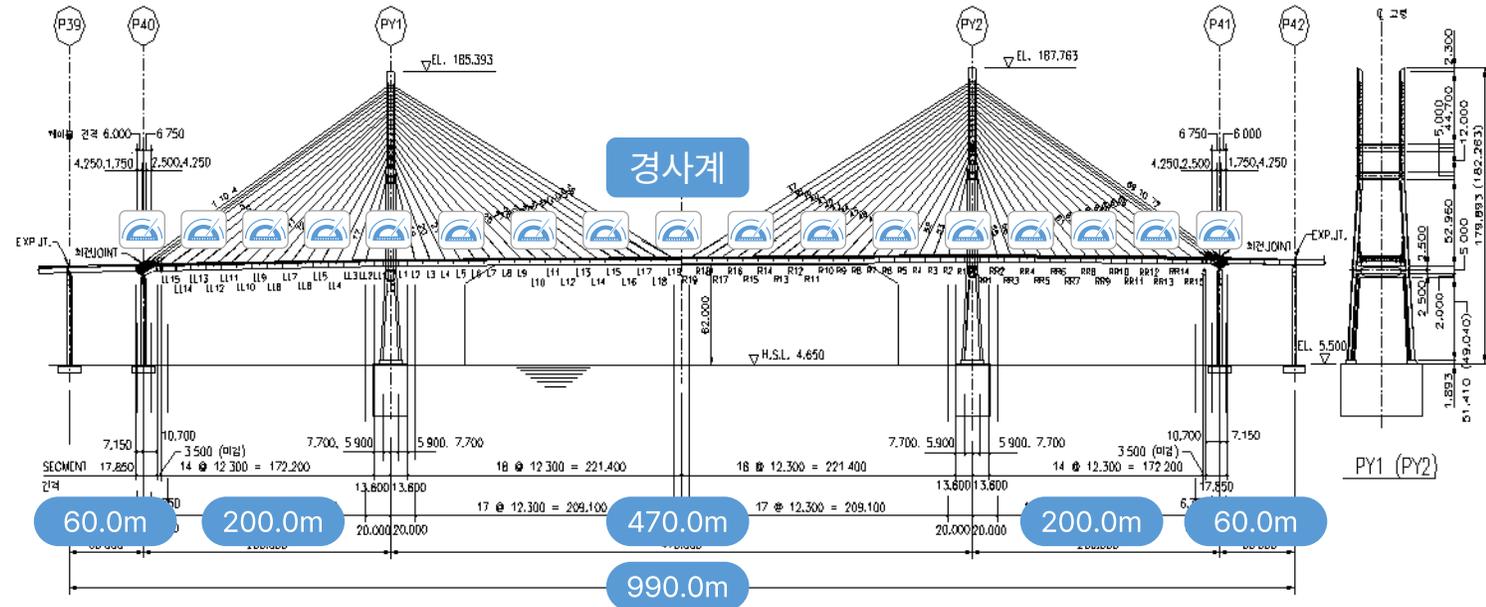
❖ 회전각(Inclination)기반 변위 모니터링 기법 현장 검증



# 진행 현황

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성평가

❖ 변위 모니터링 데이터 기반 구조 안전성 평가 절차

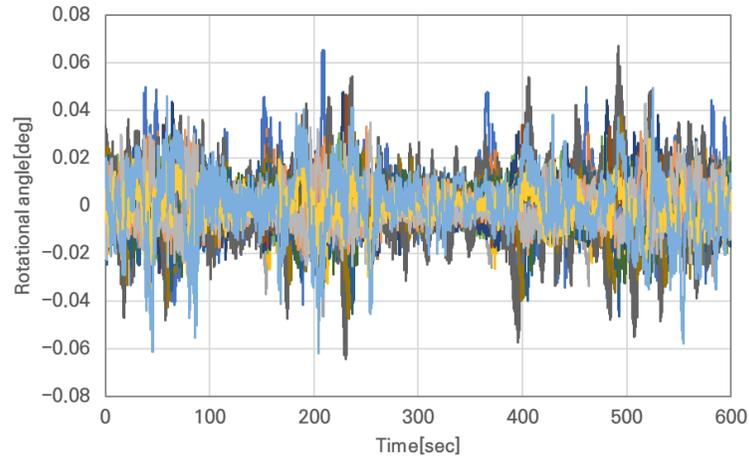


# 진행 현황

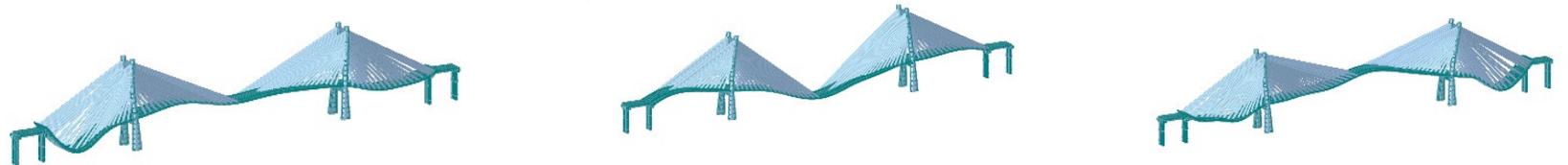
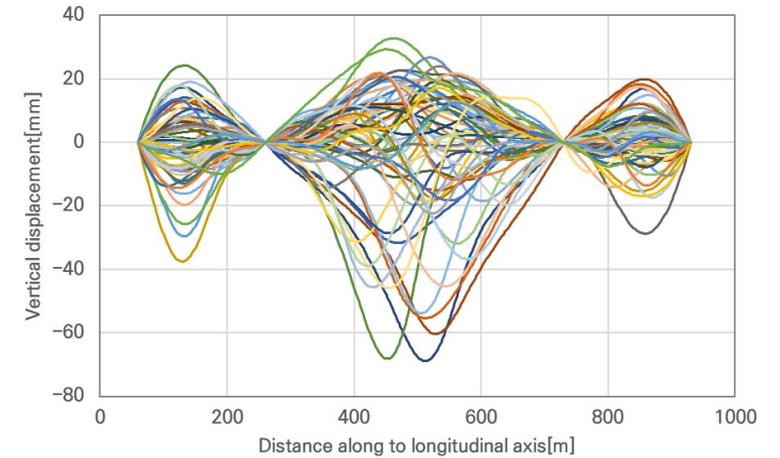
## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성능평가

❖ 변위 프로파일 및 해석 모델 업데이트

경사계 계측데이터



변위 프로파일(10초간격)

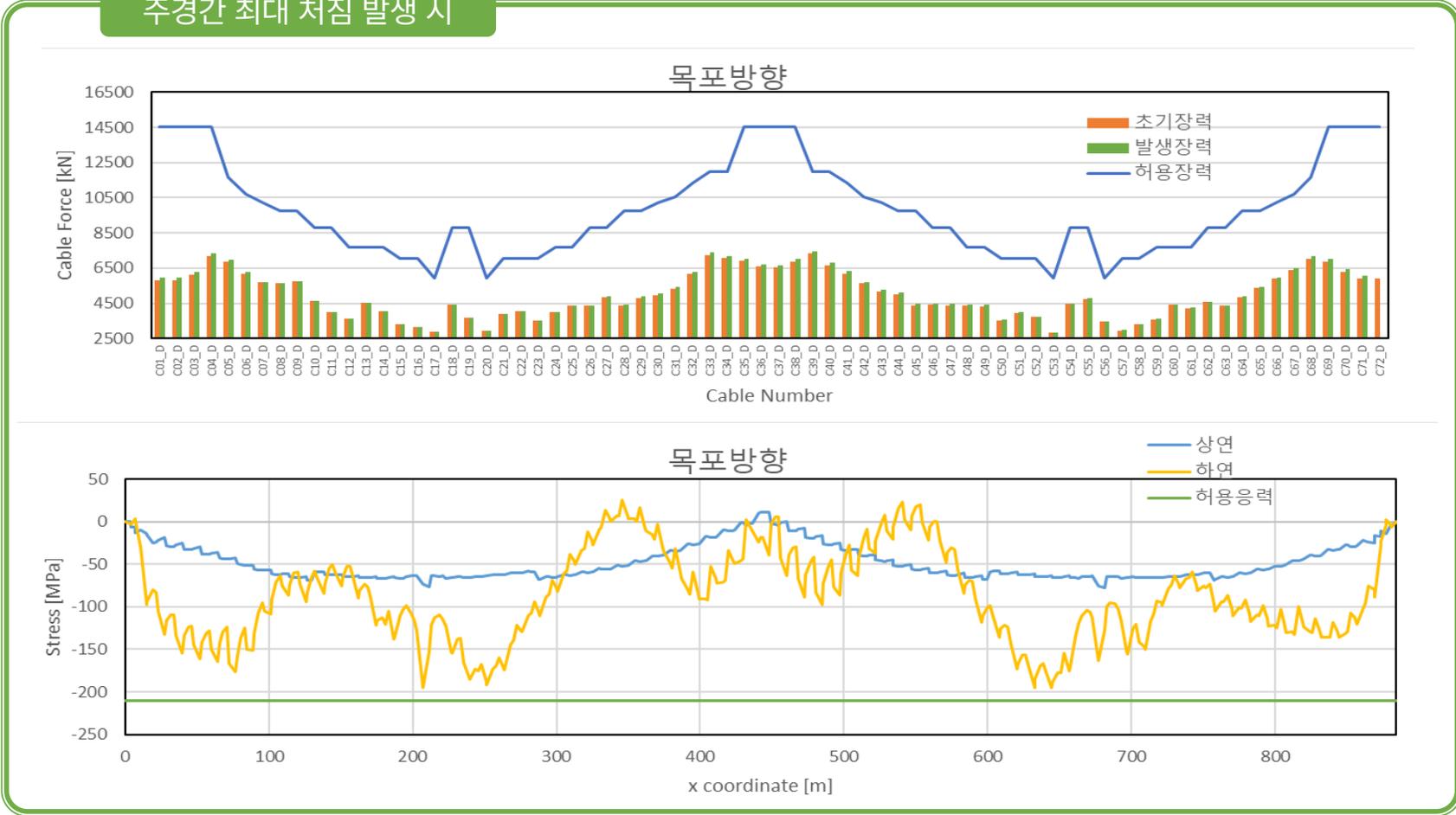


# 진행 현황

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성능평가

❖ 구조 해석 결과: 케이블 장력 및 거더 응력

주경간 최대 처짐 발생 시



# 진행 현황

## [분석 및 예측] 데이터-AI-시뮬레이션 융합을 통한 안전성능평가

❖ 이상상황 시나리오별 거동 예측 데이터베이스 구축

케이블 파단 시나리오 데이터 정의						지진재난 시나리오 데이터 정의																																																																																																																																																								
구분	케이블파단	비고	구분	케이블파단	비고	구분	지진 가속도	비고																																																																																																																																																						
Case1	SC01		Case73	MC01		Case1	0.005g(4.5Gal)																																																																																																																																																							
Case2	SC02		Case74	MC02		Case2	0.08g(78.5Gal)	기능수행																																																																																																																																																						
Case3	SC03		Case75	MC03		Case3	0.10g(98Gal)	재난'심각'																																																																																																																																																						
Case4	SC04		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">강풍재난 시나리오 데이터 정의</th> </tr> <tr> <th>구분</th> <th>풍속</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Case1</td> <td>10m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case2</td> <td>15m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case3</td> <td>20m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case4</td> <td>25m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case5</td> <td>29m/s</td> <td>재현기간100년 기준풍속</td> </tr> <tr> <td>Case6</td> <td>30m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case7</td> <td>35m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case8</td> <td>40m/s</td> <td>설계풍속(<math>V_b</math>)의 75%</td> </tr> <tr> <td>Case9</td> <td>45m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case10</td> <td>50m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case11</td> <td>53m/s</td> <td>설계풍속(<math>V_D</math>)</td> </tr> <tr> <td>Case12</td> <td>55m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case13</td> <td>60m/s</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			강풍재난 시나리오 데이터 정의			구분	풍속	비고	Case1	10m/s		Case2	15m/s		Case3	20m/s		Case4	25m/s		Case5	29m/s	재현기간100년 기준풍속	Case6	30m/s		Case7	35m/s		Case8	40m/s	설계풍속( $V_b$ )의 75%	Case9	45m/s		Case10	50m/s		Case11	53m/s	설계풍속( $V_D$ )	Case12	55m/s		Case13	60m/s		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">이상고온 시나리오 데이터 정의</th> </tr> <tr> <th>구분</th> <th>적용기온</th> <th>비고</th> <th>구분</th> <th>적용기온</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Case1</td> <td>20.0°C</td> <td></td> <td>Case17</td> <td>36.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case2</td> <td>21.0°C</td> <td></td> <td>Case18</td> <td>37.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case3</td> <td>22.0°C</td> <td></td> <td>Case19</td> <td>38.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case4</td> <td>23.0°C</td> <td></td> <td>Case20</td> <td>39.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case5</td> <td>24.0°C</td> <td></td> <td>Case21</td> <td>40.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case6</td> <td>25.0°C</td> <td></td> <td>Case22</td> <td>41.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case7</td> <td>26.0°C</td> <td></td> <td>Case23</td> <td>42.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case8</td> <td>27.0°C</td> <td></td> <td>Case24</td> <td>43.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case9</td> <td>28.0°C</td> <td></td> <td>Case25</td> <td>44.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case10</td> <td>29.0°C</td> <td></td> <td>Case26</td> <td>45.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case11</td> <td>30.0°C</td> <td></td> <td>Case27</td> <td>46.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case12</td> <td>31.0°C</td> <td></td> <td>Case28</td> <td>47.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case13</td> <td>32.0°C</td> <td></td> <td>Case29</td> <td>48.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case14</td> <td>33.0°C</td> <td></td> <td>Case30</td> <td>49.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case15</td> <td>34.0°C</td> <td></td> <td>Case31</td> <td>50.0°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Case16</td> <td>35.0°C</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			이상고온 시나리오 데이터 정의			구분	적용기온	비고	구분	적용기온	비고	Case1	20.0°C		Case17	36.0°C		Case2	21.0°C		Case18	37.0°C		Case3	22.0°C		Case19	38.0°C		Case4	23.0°C		Case20	39.0°C		Case5	24.0°C		Case21	40.0°C		Case6	25.0°C		Case22	41.0°C		Case7	26.0°C		Case23	42.0°C		Case8	27.0°C		Case24	43.0°C		Case9	28.0°C		Case25	44.0°C		Case10	29.0°C		Case26	45.0°C		Case11	30.0°C		Case27	46.0°C		Case12	31.0°C		Case28	47.0°C		Case13	32.0°C		Case29	48.0°C		Case14	33.0°C		Case30	49.0°C		Case15	34.0°C		Case31	50.0°C		Case16	35.0°C				
강풍재난 시나리오 데이터 정의																																																																																																																																																														
구분	풍속	비고																																																																																																																																																												
Case1	10m/s																																																																																																																																																													
Case2	15m/s																																																																																																																																																													
Case3	20m/s																																																																																																																																																													
Case4	25m/s																																																																																																																																																													
Case5	29m/s	재현기간100년 기준풍속																																																																																																																																																												
Case6	30m/s																																																																																																																																																													
Case7	35m/s																																																																																																																																																													
Case8	40m/s	설계풍속( $V_b$ )의 75%																																																																																																																																																												
Case9	45m/s																																																																																																																																																													
Case10	50m/s																																																																																																																																																													
Case11	53m/s	설계풍속( $V_D$ )																																																																																																																																																												
Case12	55m/s																																																																																																																																																													
Case13	60m/s																																																																																																																																																													
이상고온 시나리오 데이터 정의																																																																																																																																																														
구분	적용기온	비고	구분	적용기온	비고																																																																																																																																																									
Case1	20.0°C		Case17	36.0°C																																																																																																																																																										
Case2	21.0°C		Case18	37.0°C																																																																																																																																																										
Case3	22.0°C		Case19	38.0°C																																																																																																																																																										
Case4	23.0°C		Case20	39.0°C																																																																																																																																																										
Case5	24.0°C		Case21	40.0°C																																																																																																																																																										
Case6	25.0°C		Case22	41.0°C																																																																																																																																																										
Case7	26.0°C		Case23	42.0°C																																																																																																																																																										
Case8	27.0°C		Case24	43.0°C																																																																																																																																																										
Case9	28.0°C		Case25	44.0°C																																																																																																																																																										
Case10	29.0°C		Case26	45.0°C																																																																																																																																																										
Case11	30.0°C		Case27	46.0°C																																																																																																																																																										
Case12	31.0°C		Case28	47.0°C																																																																																																																																																										
Case13	32.0°C		Case29	48.0°C																																																																																																																																																										
Case14	33.0°C		Case30	49.0°C																																																																																																																																																										
Case15	34.0°C		Case31	50.0°C																																																																																																																																																										
Case16	35.0°C																																																																																																																																																													
Case5	SC05																																																																																																																																																													
Case6	SC06																																																																																																																																																													
Case7	SC07																																																																																																																																																													
Case8	SC08																																																																																																																																																													
Case9	SC09																																																																																																																																																													
Case10	SC10																																																																																																																																																													
...	...																																																																																																																																																													
Case68	SC68																																																																																																																																																													
Case69	SC69																																																																																																																																																													
Case70	SC70																																																																																																																																																													
Case71	SC71																																																																																																																																																													
Case72	SC72																																																																																																																																																													

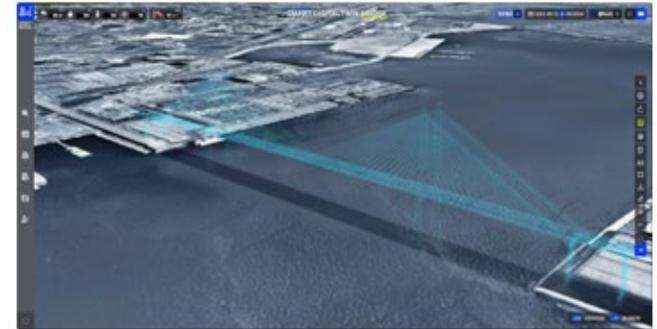
# 진행 현황

## [실시간 가시화] 대형 교량 디지털 트윈 플랫폼 구현

### 디지털 트윈 플랫폼 화면



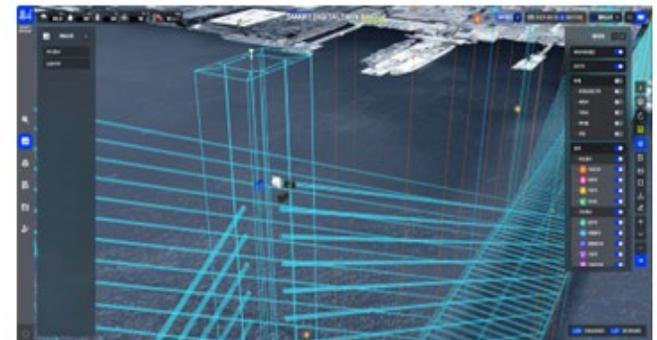
대시보드



와이어 프레임



이상상황 알림



센서 모델링

### 센서 모니터링

#### 실시간 계측 데이터



#### ① 계측 데이터 가시화

- 지진정보 : 실시간
- 변위정보 : 10초 단위
- 바람정보 : 1분 단위
- 장력정보 : 10분 단위



#### ② 3차원 정보 표출

- 센서 계측 임계값에 따른 이상 상황 알림
- 변위 그래프 표출

### 손상정보

#### 손상정보 3D 데이터



#### ① 손상정보 가시화

- 연도별, 부재별 손상데이터 조회 및 위치 표출



#### ② 손상구분 조회

- 드론촬영 이미지의 AI분석을 통해 4가지 손상 유형 조회 (균열, 부식, 박리, 백태)
- 표면손상 이미지 제공

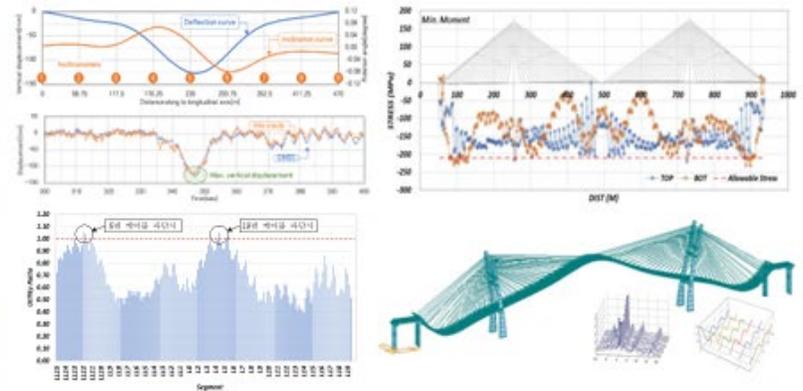
# 진행 현황

## [실시간 가시화] 대형 교량 디지털 트윈 플랫폼 구현

### 구조안정성평가 데이터 표출 및 교량 상태 예측 시뮬레이션



- 안전성평가 결과 조회
  - 케이블 장력, 보강거더 응력 기반의 구조안정성 평가
  - 안전성평가표출: 평상시 1시간 단위 표출, 이상상황 발생시 즉시 분석
  - 변위 계측데이터의 임계값 초과시 이상 상황 알림 및 구조안정성평가
- 변위 데이터 표출: 10초 단위 데이터 및 그래프 표출



- 처짐(지진) 그래프 데이터 표출
  - 10분 단위 데이터 및 그래프 표출
- 시계열 교량 상태 예측 시뮬레이션 (평가 데이터 분석)

# 결론

## 결론

### Conclusion

- ❖ 4차산업혁명 핵심 기술(IoT, Cloud Computing, AI & Machine Learning, Edge Computing, Cyber Security, Digital Twin)에 기반한 디지털 전환은 모든 산업분야에서 발생중
- ❖ 교량 운영 및 관리도 4차산업혁명 핵심기술을 활용한 디지털 전환이 진행되고 있음
- ❖ 장대 케이블 교량의 디지털 트윈 구축 시범사업이 진행되고 있으며, 실시간 모니터링 및 안전성 평가 등을 통해 교량의 안전 및 유지 관리에 활용될 예정임

# 謝辭

## Acknowledgement

### 2023년 기반시설 디지털 트윈 확산 (대형 교량 안전 및 유지 관리)



과학기술정보통신부

NIA 한국지능정보사회진흥원



Korea Expressway  
Corporation

NEW LAYER  
뉴레이어



감사합니다