한국수력원자력㈜
KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD

2026.07
한국수력원자력

KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD

# AI 원전운영 혁신을 통한 불시정지 예방

## 한국수력원자력 발전처



# 01 한국수력원자력 원전 운영현황

## 운영원전 23호기 / 발전량 (약) 24,000 MW [30%]

### (경북 경주) 본사 / 월성원자력본부

**한수원 본사** — 한국수력원자력㈜ KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD

- 경상북도 경주시 불국로
- 원전종합상황실(E-Tower) 소재

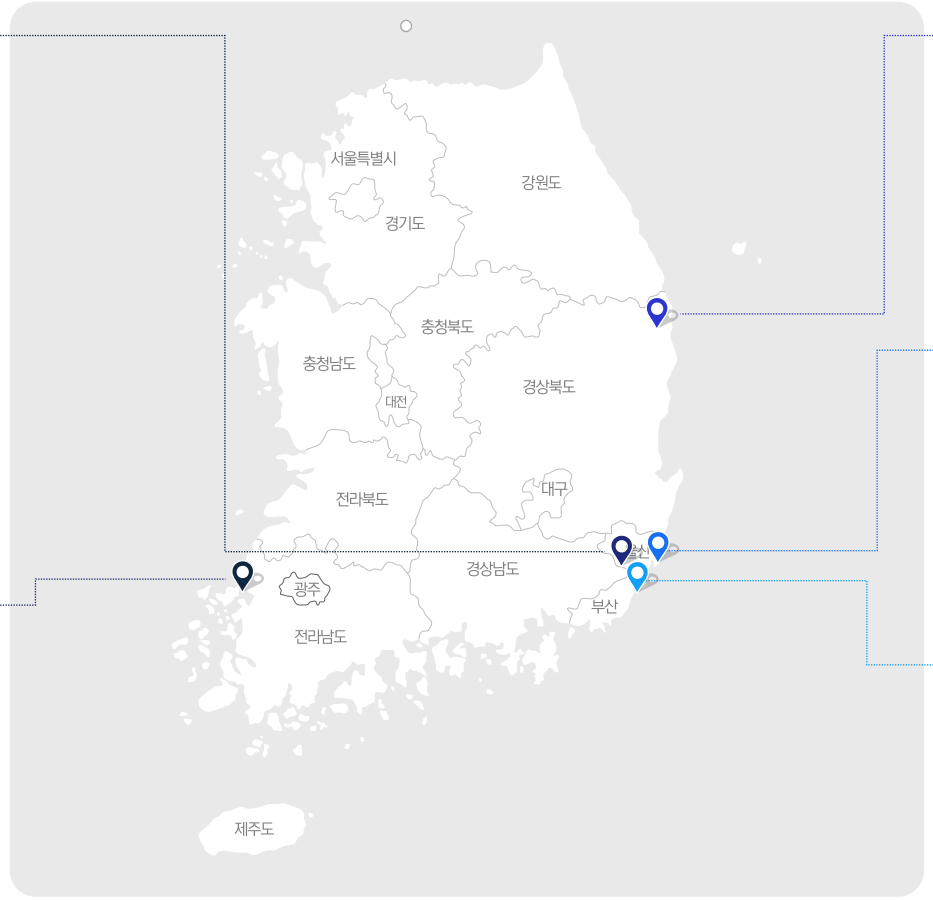
**월성원자력본부** — 원전 5개 호기 운영 중

- 중수로 노형 – 3개호기 / 표준형(OPR) – 2개 호기

### (전남 영광) 한빛원자력본부

**한빛원자력본부** — 원전 5개 호기 운영 중

- WH – 1개호기 (한빛 2)
- 표준형(OPR) – 4개호기 (한빛 3,4,5,6)




### (경북 울진) 한울원자력본부

**한울원자력본부** — 원전 8개 호기 운영 중

- FR – 2개호기 (한울1,2) / 표준형 – 4개호기
- APR – 2개호기 (신한울 1,2)

### (부산 기장) 고리원자력본부

**고리원자력본부** — 원전 3개 호기 운영 중

- 표준형(OPR) – 2개호기 (신고리1,2)
- WH – 1개 계속운전 승인 (고리2)

### (울산 울주) 새울원자력본부

**새울원자력본부** — 원전 2개 호기 운영 중

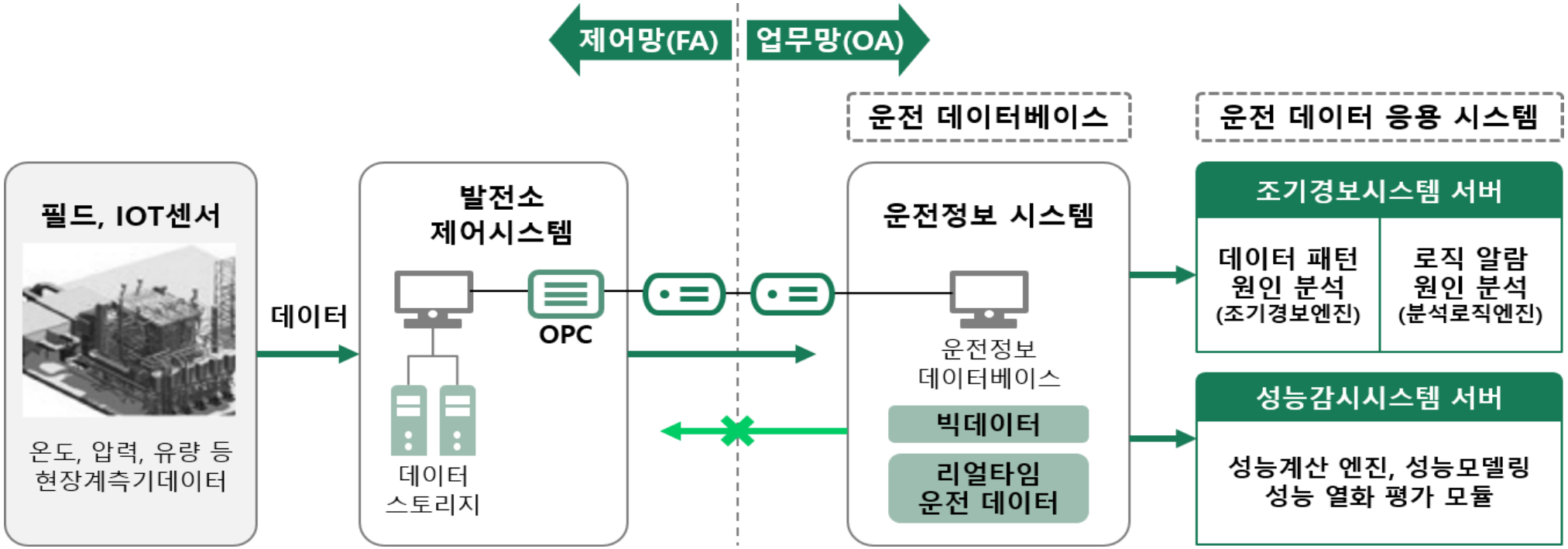
- APR – 2개 호기 (새울1,2) / 새울3호기 운영 허가승인
- 새울4호기 건설 중

# 02 원전 모니터링시스템 일반구성

## "발전소 주요 설비의 실시간 데이터를 취득, 이상상태 사전인지 및 고장예방에 기여"

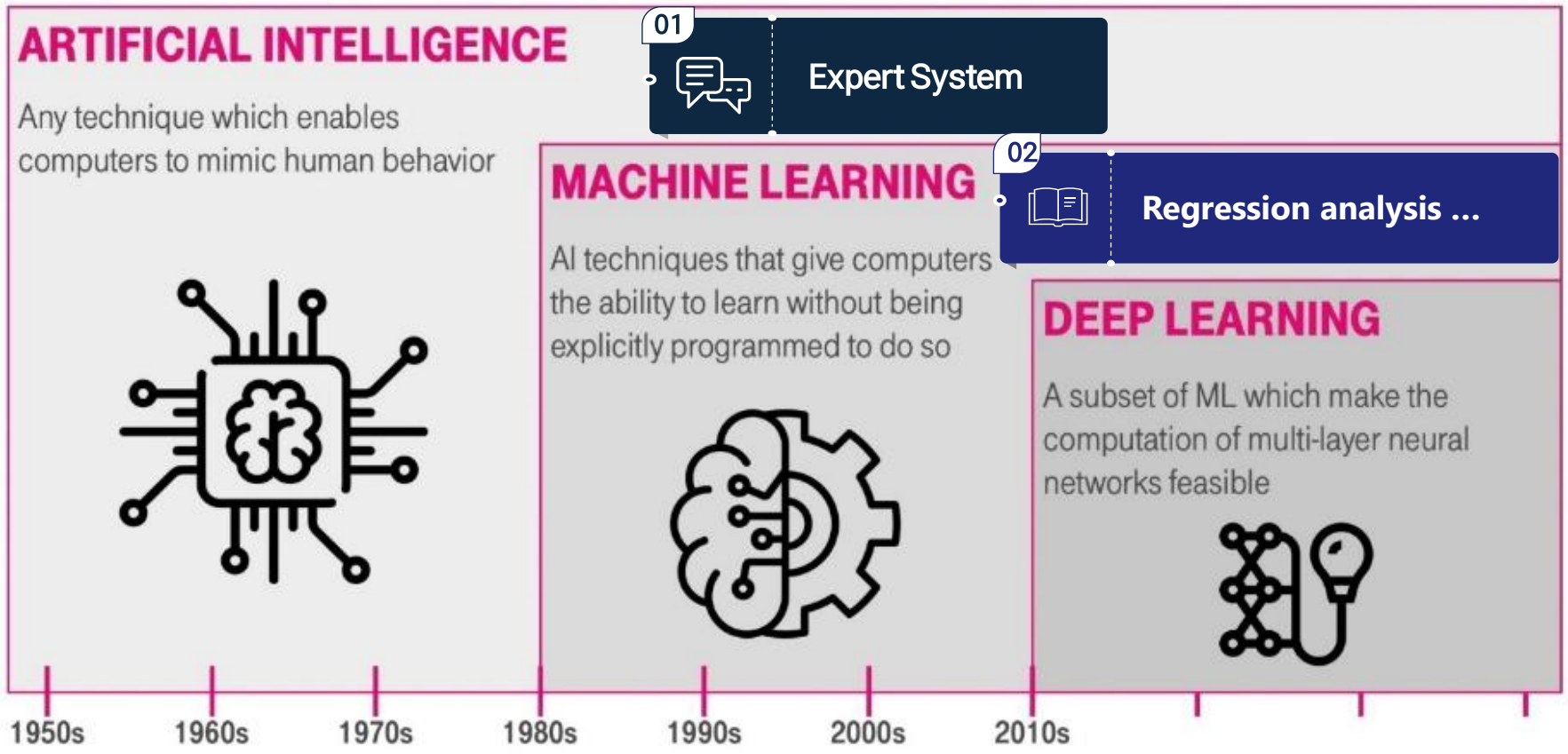
① IOT 센서 및 계측기를 통해 데이터 1초 단위 수집, 원격으로 설비의 운전상태 실시간 모니터링 기반 역할

② 대상 설비에 부착된 압력, 유량 등 각종 센서의 계측 데이터와 출력, 온도 등의 데이터 Tag를 취득 및 전송



# 03 한수원 조기경보 및 예측진단 시스템 개요

"한수원은 원자력에 특화된 다양한 AI 기법을 통해 **조기경보 / 예측진단** 등 시스템을 구축 운영 중"




**01 AI**
- 생성형 LLM (Hy-NURI)
- 운영기술지침서 탐색시스템
- 온톨로지기반 의사결정 지원

**02 ML**
- 고지능형 조기경보시스템
- 예측진단시스템
- 발전설비 탐색시스템

**03 DL**
- 고지능형 조기경보시스템
- 예측진단시스템
- 인공지능기반 통합검토

# 04 원자력발전소 조기경보시스템 개요

## 원자력발전소 조기경보시스템 (Early Waring System)

### 01 목적 및 역할

1 **원전 계통/기기의 실시간 운전상태 감시 및 이상상태 파악**

① 기존의 MCR 경보보다 빠른 조기경보로 인해 잠재 고장 예방 및 선제적 조치 활성화
② 복합 측정변수의 운전 패턴인식 기반 다양한 운전 상황에 대한 대처
③ 全원전 대상 원전종합상황실의 기저 감시 시스템으로의 역할 수행

### 02 주요기능

1

① **사전 학습한 데이터 기반 조기경보 알고리즘**
- 일정 주기 동안 운전 데이터 학습 후, 정상 운전 데이터와 현재 측정치와 차이를 분석하여 일정범위 이탈시 조기경보 발생
- 과거 학습한 패턴을 벗어날 경우 잠재 고장으로 판단하여 경보 발령

② **전원전 대상, 호기당 평균 1,500개 신호 초 단위 예측 및 실시간 이상징후 경보**
- 온도 상승, 입력선 연결 오류, 냉각수 전도도 증가 등 이상징후 사전 발견

③ **조기경보지수(KHNP Early Warning Index) 활용**
- 감시대상 조기경보 변수들의 상태를 정략적인 지수화를 통해 직관적으로 쉽게 파악

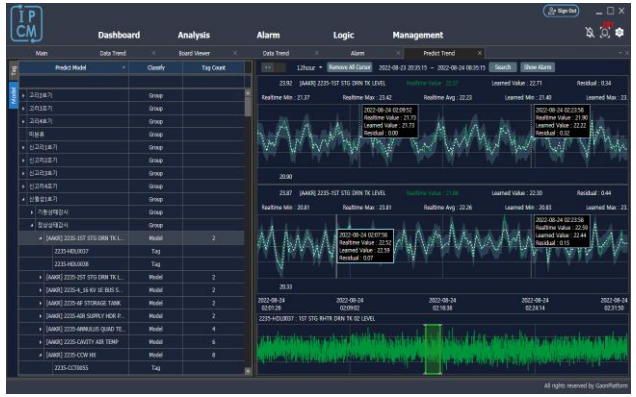
# 05 원전 고지능형경보시스템 개요

항목 | 주요내용

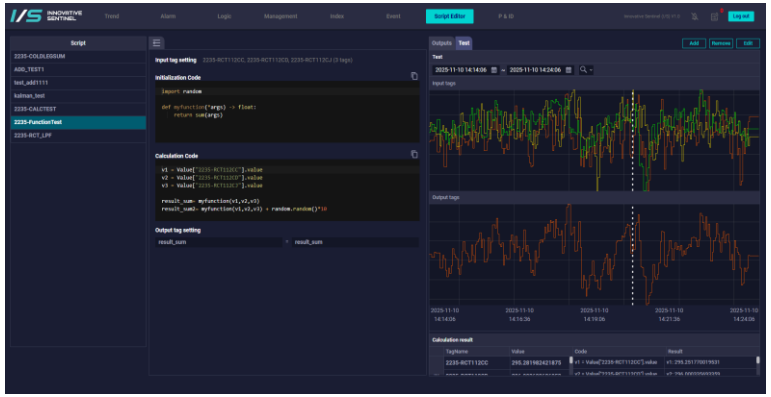
- 웹 기반 클라이언트 개발
- 예측기법 다변화
- 머신러닝 딥러닝
- 혼합모델

➢ 건강지수(Health Index) 기반의 예측오차 가시화 및 성능지표 계산

– 고지능형 경보시스템 신호별 모니터링 구조




신호별 Health Index 계산



파이썬 스크립트 기능 내장

➢ 예측오차 및 Model Hierarchy 기능 구축(출원번호: 10-2024-0054315)



예측오차 가시화 및 성능지표 계산



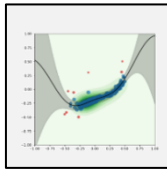
Model Hierarchy

# 06 원전 고지능형경보시스템 개요

| 항목 | 주요내용 |
| --- | --- |
| 웹 기반 클라이언트 개발 | |
| 예측기법 다변화 | |
| 머신러닝 딥러닝 | |
| 혼합모델 | |

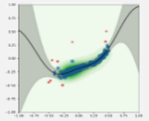
## ❖ 조기경보 연산 커널

- ➢ 예최적화된 예측기법 도입
- ➢ 설비 / 신호 특성별 기법 세분화로 예측 정확성 향상



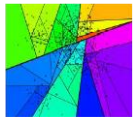
**패턴인식 기반 다변수 회귀**

AAKR (Auto Associative Kernel Reg.)



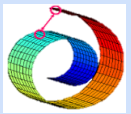
**패턴인식 기반 다변수 회귀**

AAKR (Auto Associative Kernel Reg.)



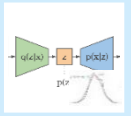
**근사 최근접 이웃탐색**

ANNOY (Approximate NN Oh Yeah)



**차원축소 / 매니폴드 학습**

ICA (Independent Component Analysis)



**딥러닝 생성모델**

VAE (Variational Auto Encoder)



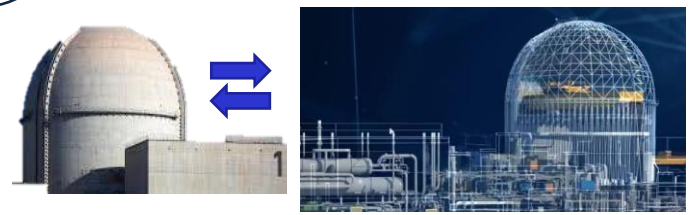
**사용자 제작 모델**

Python Script

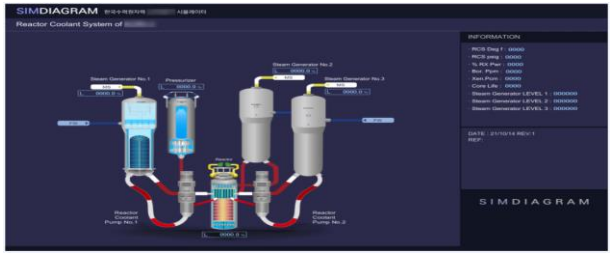
# 07 디지털트윈 플랫폼 구성

"원전의 실시간 운전Data 연계하여 발전소 상태를 실시간으로 추적하고 예측"

**R** 실시간 데이터 기반 원전 상태 모니터링

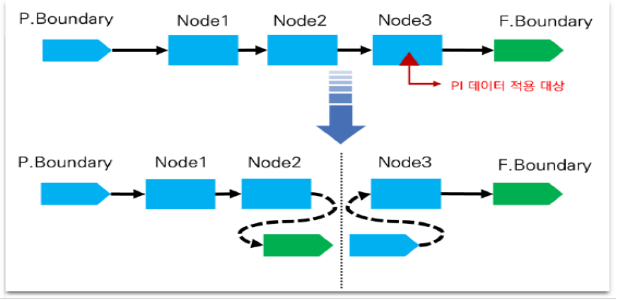


**S** APR 원전 원격 통합시뮬레이션




Digital Twin Platform

**M** 고지능형 경보시스템 기반 통합 모니터링




**N** 자연재해 대비 통합재난감시시스템



# 08 디지털트윈 플랫폼 – 3D 기반 실시간 원전상태 모니터링

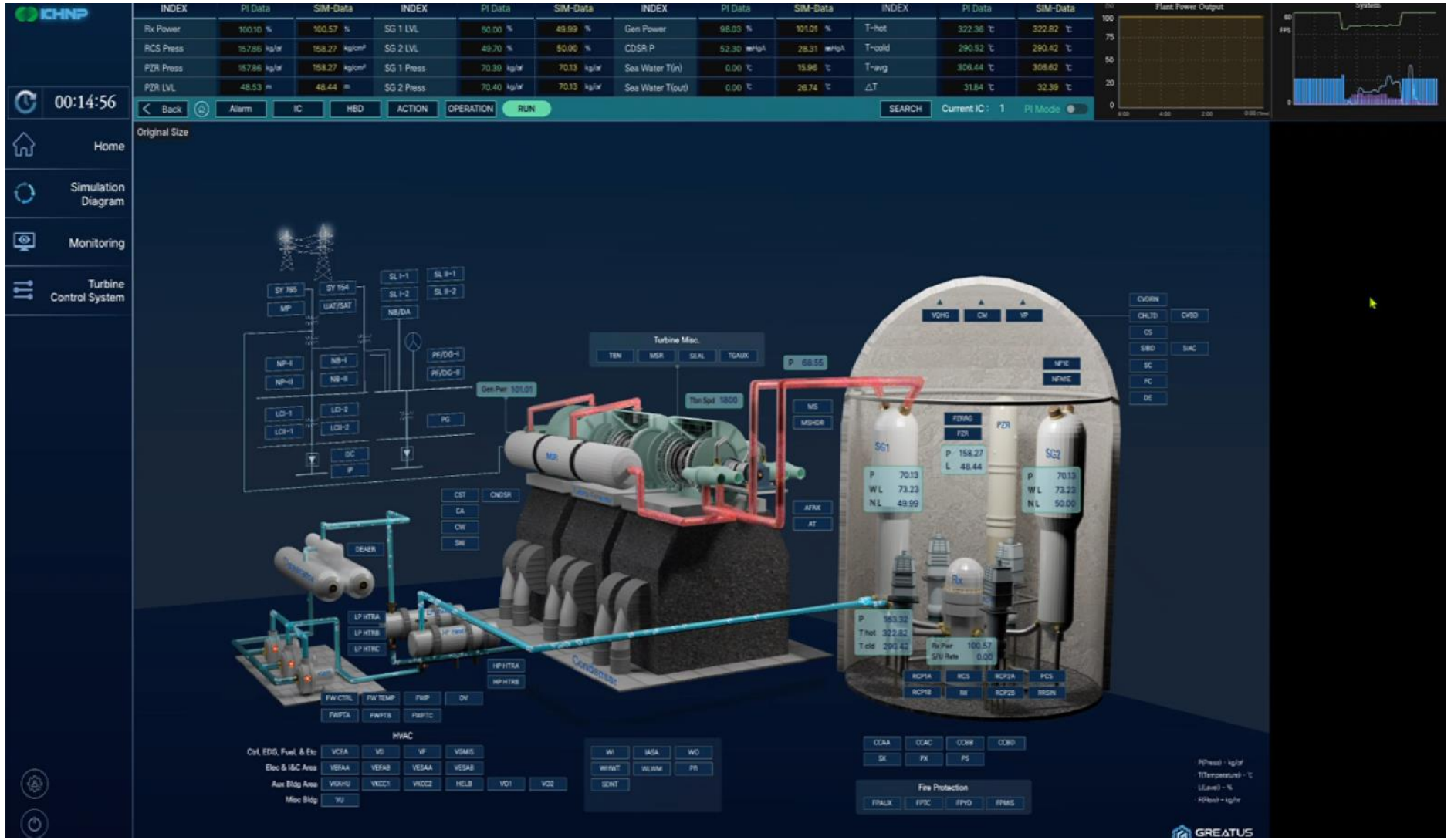
## 실시간 원전상태 모니터링

### 디지털트윈 플랫폼을 활용한 실시간 모니터링

한수원 운전정보시스템에서의 실시간 데이터를 취득하여 3D 기반의 디지털 트윈 플랫폼과 연계 보다 사용자 친화적인 시스템을 구축 활용 중

수행년도

**2022 ~ 운영중**



# 09 디지털트윈 플랫폼 – APR 원전 실시간 통합 시뮬레이션

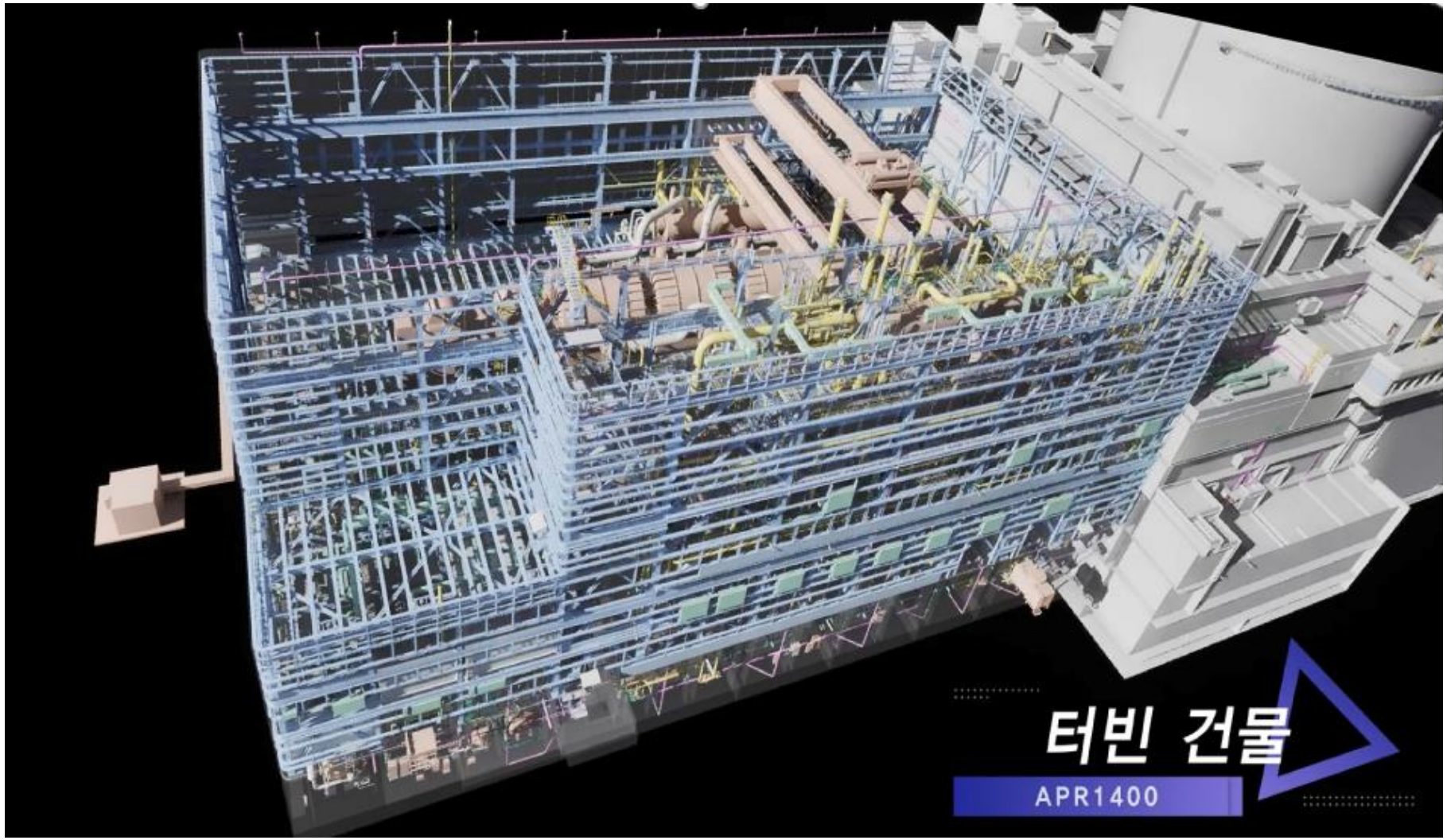
## APR 통합 시뮬레이션

### 최신 노형인 APR 원전의 실시간 통합 시뮬레이션

주요계통 네트워크(주요60 계통) 구현하고 노심 및 주요 제어시스템을 SW 기반 시뮬레이션으로 구현하여 누구나 접속 및 활용이 가능하도록 구현

수행년도

**2023 ~ 고도화**



# 10 디지털트윈 플랫폼 – 고지능형 경보시스템 기반 통합모니터링

## 고지능형 경보 통합모니터링

### 고지능형 경보시스템과 연계하여 통합모니터링 수행

한수원 고지능형 경보시스템에서 발생되는 주요 경보를 사용자가 간편하게 인지 및 분석 할수 있도록 하는 주요 Tool 을 제공하고, 웹기반 클라이언트로 접근성 및 활용성을 강조

수행년도

**2022 ~ 운영중**



# 11 디지털트윈 플랫폼 – 자연재난 대응 통합 재난감시시스템 –(1)

## 재난감시시스템(NGAD)

### 발전소 운영에 중대한 영향이 있는 주요 재난을 효과적으로 지원

지진, 태풍 등 주요 재난 환경에서 원전에 특화된 재난 대응 플랫폼을 구축하고 실시간 운영중이며, 대외 기상청, 산림청 등 과 협업

수행년도

**2022~고도화**



# 11 디지털트윈 플랫폼 – 자연재난 대응 통합 재난감시시스템 – (2)

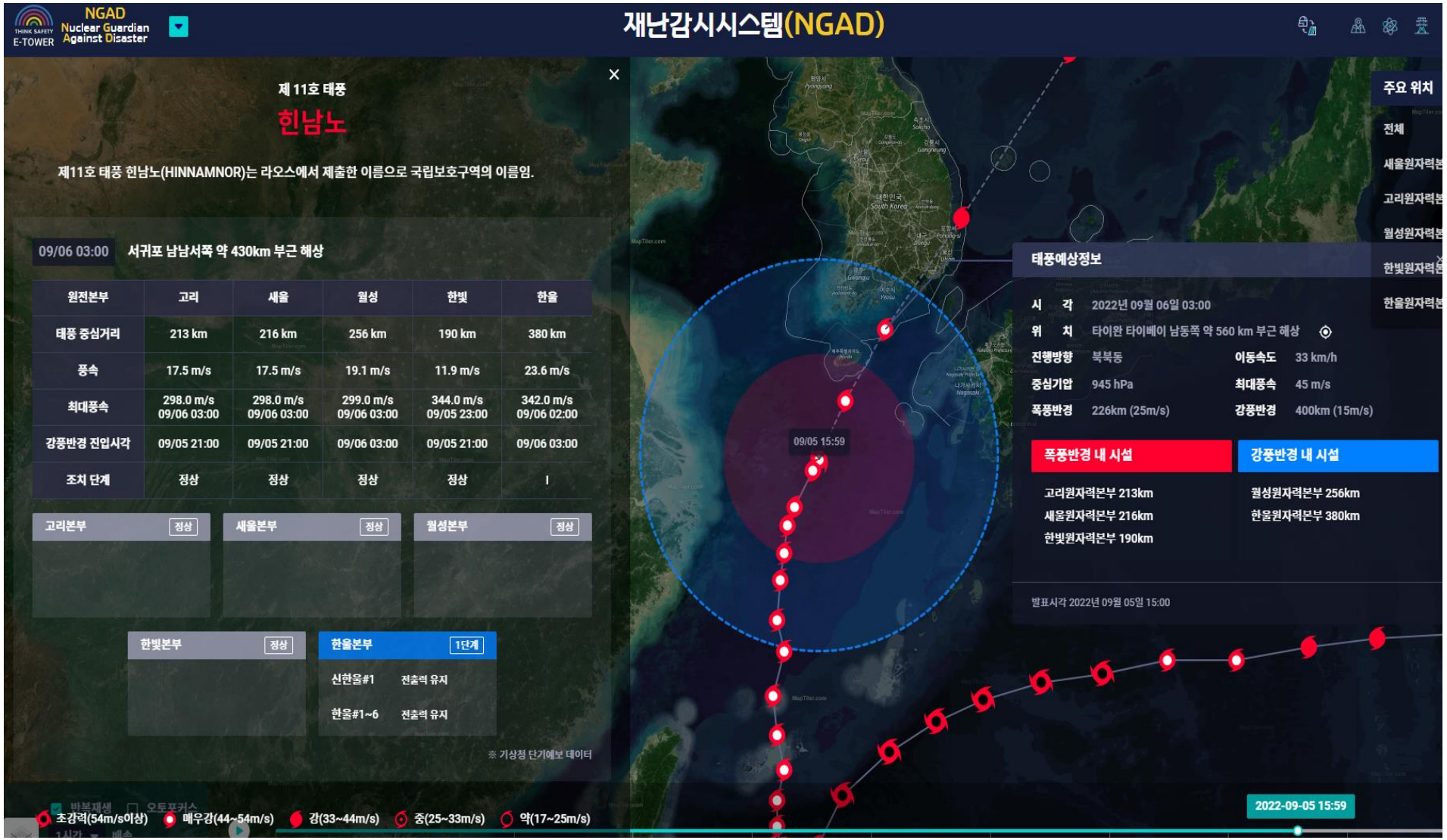
## 재난감시시스템(NGAD)

**산불, 태풍, 지진,**
**기상특보 등 주요 데이터**
**실시간 수신, 시뮬레이션**

태풍 등 주요 재난대응을 위한 실시간정보 제공 뿐만이니라, 원전에 특화된 대응 매뉴얼을 탑재하여 원전에서 근무하는 인원들에 재난 대응능력 강화에 기여

수행년도

**2022 ~ 계속**



# 원전 불시정지 예방실적 – 최근 4년간

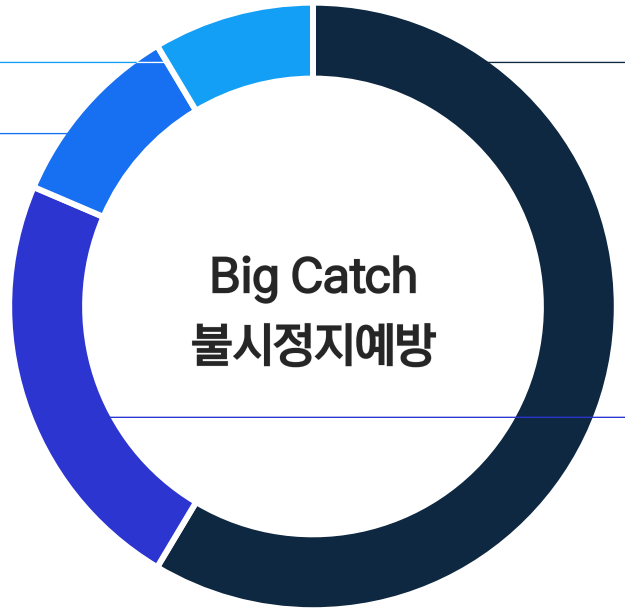
## 고지능형 조기경보시스템 및 디지털트윈 기반 통합모니터링시스템 기반 불시정지 예방

**2022년 | 5건**

· 한빛#2 / 한울#1 등 — 상반기2 / 하반기 3

**2023년 | 7건**

· 월성#3 / 한빛#3 등 — 상반기3 / 하반기4




**2025년 | 11건**

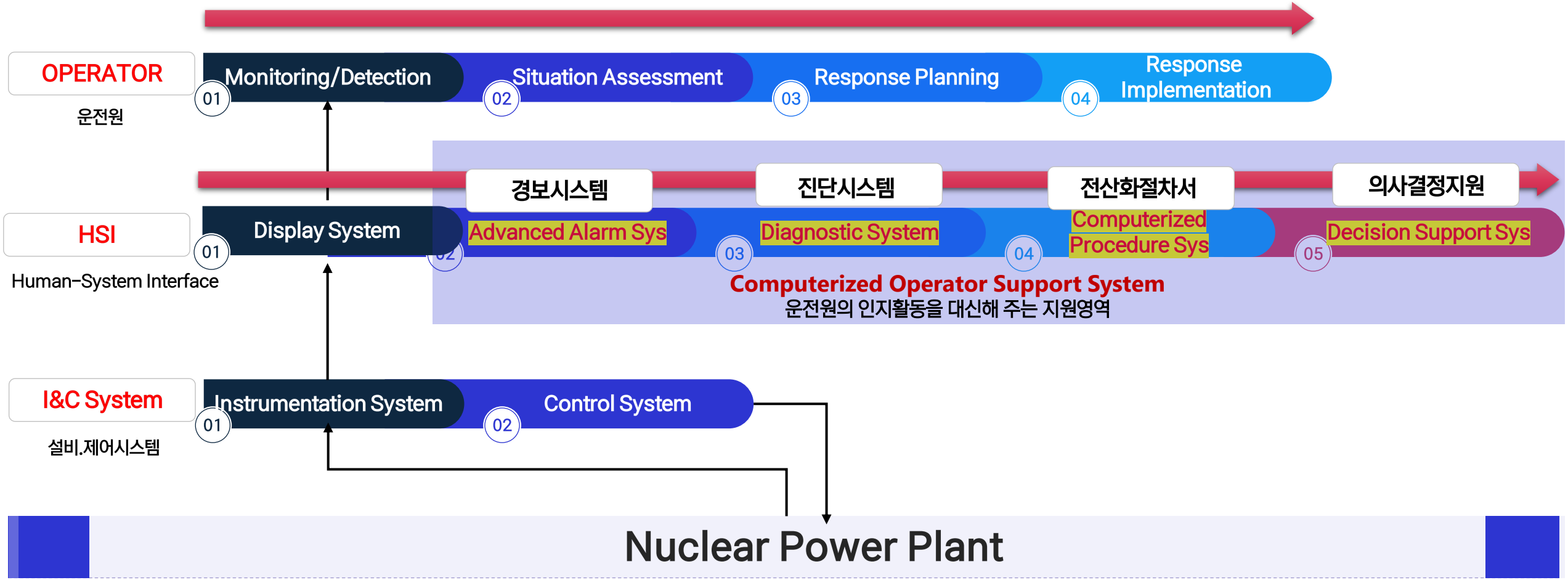
· 한빛#4 / 한빛#3 등 — 상반기 6 / 하반기 5

**2024년 | 9건**

· 한울$6 / 새울#2 등 — 상반기 5 / 하반기 4

| 주요내용 | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 원전 불시정지 | Big | 4 | 5 | 5 | 7 | 9 | 11 |
| | Middium | 67 | 85 | 93 | 91 | 93 | 88 |
| | Small | 367 | 822 | 721 | 832 | 793 | 804 |
| 합계 | | 438 | 912 | 819 | 930 | 895 | 903 |

# 13 원자력 특화 운전지원 AI 네비게이터 구축




*Modified from INL/EXT-15-36788, A computerized Operator Support System Prototype

# 14 원자력 특화 운전지원 AI 네비게이터 구축

- 비정상 상태 진단 및 절차서에 대한 가이드
  - 비정상 상태 진단, 절차서 제안, 절차서 항목별 검토 지원

| 절 차 서 사용등급 | 필수사용 |
|---|---|

**정지유발가능**

**새울원자력 제1발전소 운영절차서**

| 절차서 번호 | 정기-3741 | 개정번호 | 04 |
|---|---|---|---|
| 제 목 | 제어봉 집합체 운전가능성 시험 | | |

| 한국수력원자력㈜ | 새울원자력 1발전소 운영절차서 | 개정번호 : 04 |
|---|---|---|
| | 정기-3741 제어봉 집합체 운전가능성 시험 | 쪽번호 : 1/48 |

**1.0 목 적**

이 절차서는 제어봉 집합체 운전가능성 시험 시의 주의사항, 초기조건, 점검절차 그리고 판정기준을 기술하는데 있다.

**2.0 적 용**

2.1 근거 : 운영기술지침서 점검요구사항(Surveillance Requirement) 3.1.5.3항

2.2 적용범위 : 제어봉 집합체 운전가능성 시험

**3.0 참 조**

3.1 신고리3,4호기 운영기술지침서

3.1.1 3.1.5 제어봉집합체 정렬

3.2 새울 제1발전소 운영절차서

# 15 원자력 특화 운전지원 AI 네비게이터 구축

- 한수원 사내에서 개별 시스템 및 파일로 관리중인 운전경험을 학습

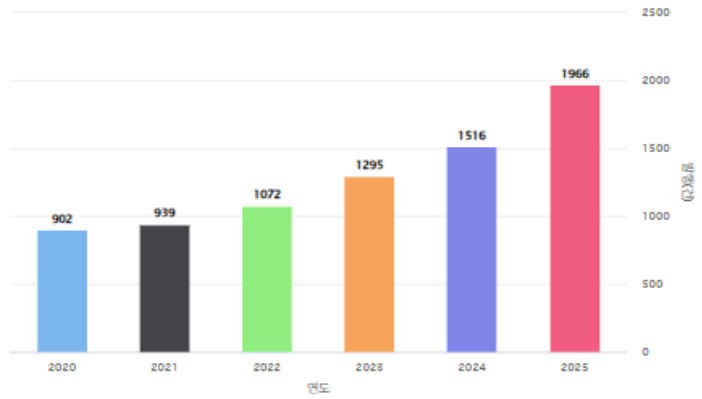
| 구분 | 발행기관 | 계통분야 | 보고서번호 | 제목 |
|---|---|---|---|---|
| 137937 | CONEXUS | 기술/공통 | SMM 26-05-13 | OPEX Weekly Screening Meeting 회의록('26년 5월 2회차) |
| 137936 | EPRI | 기술/공통 | 3002035137 | Augmented Reality for Gridding and Testing Components |
| 137935 | EPRI | 기술/공통 | 3002034566 | Advanced Nuclear Technology_ 2026 Product Catalog |
| 137934 | CONEXUS | 해당항목없음 | CSI AA3 | [2024-02-20] Minutes of Meetings - CSI AA3 |
| 137933 | CONEXUS | 해당항목없음 | CSI AA3 | [2022-11-10] Minutes of Meetings - CSI AA3 |
| 137932 | CONEXUS | 해당항목없음 | CSI AA3 | [2022-05-08] Minutes of Meetings - CSI AA3 |
| 137931 | CONEXUS | 해당항목없음 | CSI AA3 | [2021-01-26] Minutes of Meetings - CSI AA3 |
| 137930 | CONEXUS | 해당항목없음 | CSI AA3 | [2011-09-30~2020-09-27] Support Documents - CSI AA3 |
| 137929 | WANO | 방사선 | WER ATL 26-0437 | WER ATL 2026-0437 : Contaminated Tool Discovered Outside Of |
| 137928 | WANO | 전기 | WER ATL 26-0438 | WER ATL 2026-0438 : Shorting Test Leads During Voltage Readin |

**연도별 운전경험보고서 발행 현황** (2020~2025 / 전체)

| 구분 | 발행(건) |
|---|---|
| 2025년 | 1,966 |
| 2024년 | 1,516 |
| 2023년 | 1,295 |
| 2022년 | 1,072 |
| 2021년 | 939 |
| 2020년 | 902 |

**보고서 발행 현황**

조회기간 : 2020 ~ 2025



# 16 원자력 특화 운전지원 AI 네비게이터 구축

- 운전경험 기반 의사결정 지원(Operational Experience-Based Decision Support)
  - 주기시험 및 유지보수 작업의 의사결정을 지원하기 위한 서포트 기능 수행
  - 운영기술지침서 만족여부 판단 지원
  - 발전소 주요 설비와 운전상태를 실시간으로 모니터링 하고 예상되는 플랜트의 상태변화에 대한 이전 주요 운전경험에 대한 내용을 생성 및 답변

KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD

신월성 1,2호기

운영기술지침서

SHINWOLSONG UNITS 1&2

한국수력원자력㈜


1.0 사용 및 적용
1.0.1 목적 ..... 1.0-1
1.0.2 적용 범위 ..... 1.0-1
1.0.3 단위표기 ..... 1.0-1

1.1 용어의 정의 ..... 1.1-1
1.2 논리연결자 ..... 1.2-1
1.3 제한시간 ..... 1.3-1
1.4 점검주기 ..... 1.4-1

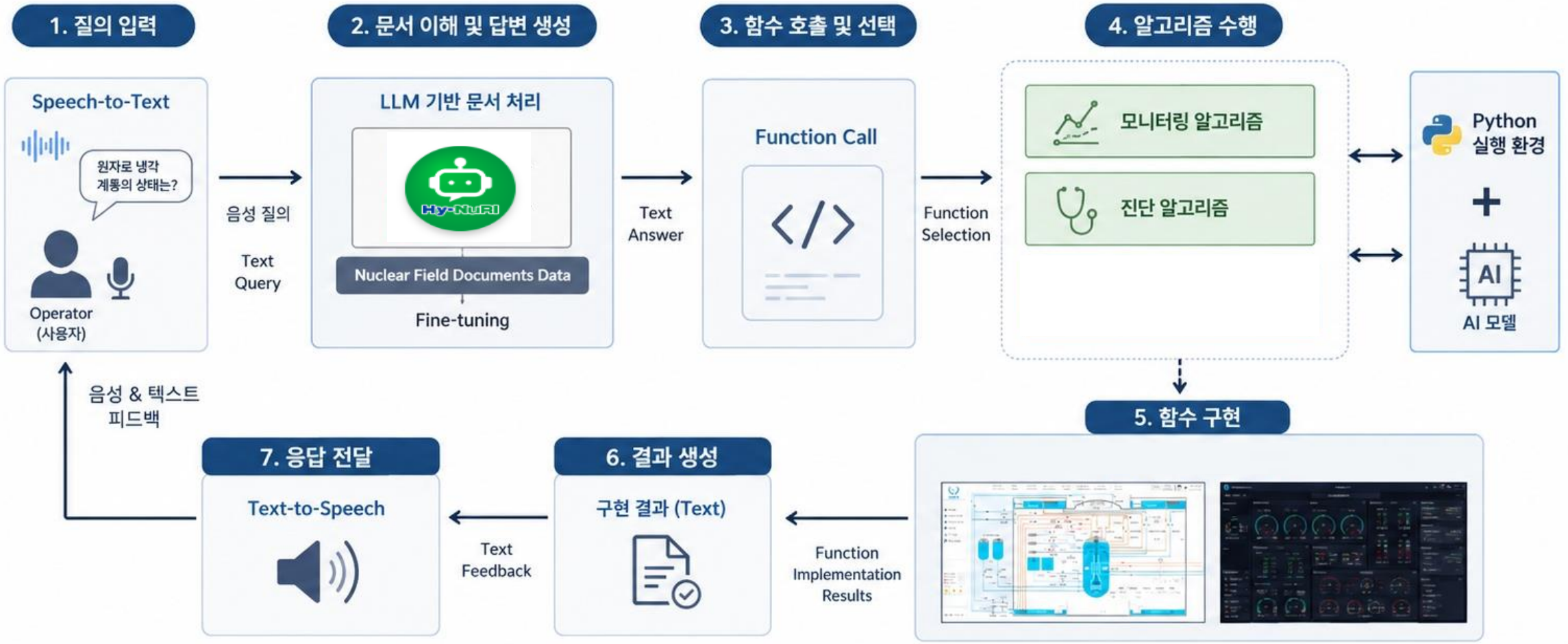
2.0 안전제한치
2.1 안전제한치 ..... 2.0-1
2.2 안전제한치 위반 ..... 2.0-1

3.0 운전제한조건 및 점검요구사항 적용
3.0 운전제한조건 및 점검요구사항 적용 ..... 3.0-1
3.1 반응도제어계통
3.1.1 정지여유도 : $T_{cold}$ > 99 ℃ (210 °F) ..... 3.1.1-1
3.1.2 정지여유도 : $T_{cold}$ ≤ 99 ℃ (210 °F) ..... 3.1.2-1
3.1.3 반응도평형 ..... 3.1.3-1
3.1.4 감속재온도계수 ..... 3.1.4-1
3.1.5 제어봉집합체 정렬 ..... 3.1.5-1
3.1.6 정지 제어봉집합체 삽입한계 ..... 3.1.6-1
3.1.7 조절 제어봉집합체 삽입한계 ..... 3.1.7-1
3.1.8 부분강 제어봉집합체 삽입한계 ..... 3.1.8-1
3.1.9 특수시험 예외사항 : 정지여유도 ..... 3.1.9-1
3.1.10 특수시험 예외사항 : 운전모드 1, 2 ..... 3.1.10-1
3.1.11 특수시험 예외사항 : 반응도계수 시험 ..... 3.1.11-1

3.2 출력분포제한
3.2.1 선출력밀도 ..... 3.2.1-1
3.2.2 반경방향첨두계수 ..... 3.2.2-1
3.2.3 사분출력경사비 ..... 3.2.3-1
3.2.4 핵비등이탈률 ..... 3.2.4-1
3.2.5 축방향출력편차 ..... 3.2.5-1




# 원자력 특화 운전지원 AI 네비게이터 구성(안)



한국수력원자력㈜
KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD

KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD

# EOD

감사합니다

