

# 비정상 운전지원 시스템 AIDAA 개발

2021년 10월 20일

김 종 현



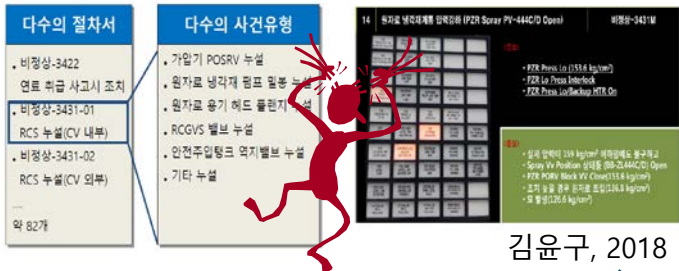
조선대학교

# 목차

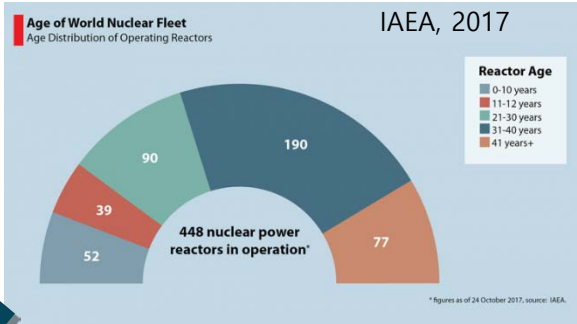
1. Introduction
2. AIDAA 개념 설계
3. AIDAA Requirement 도출
4. 주요 기능 소개
5. 비정상 상태 데이터 베이스 구축
6. Implementation
7. Conclusion

# 1. Introduction

## ❖ 연구 배경



비정상 운전의 어려움



원전 노후화로 비정상 발생  
가능성 증가

인공지능 기반 원전  
비정상 운전지원 시스템



4차 산업혁명 기술의 원전 적용 필요



원전의 안전성 향상 요구

# 1. Introduction

## ❖ 과제명

- 인공지능 기반 원전 비정상 운전지원 기술개발 (CRONI Center)
- 미래원자력연구센터, 한국연구재단

## ❖ 연구목표

- 인공지능을 기반으로 한 원전 비정상 운전지원 시스템 프로토타입 개발
- 4차 산업혁명 기술 시대를 주도할 수 있는 원자력분야의 인력 양성

## ❖ 연구기간 (총 60개월)

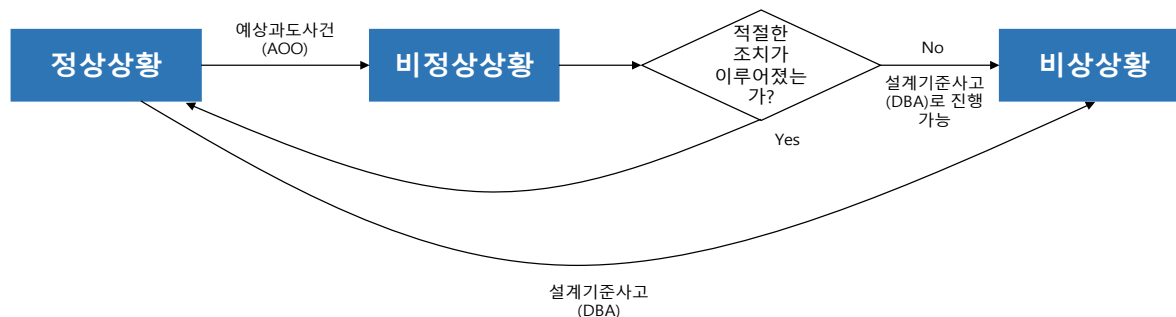
- 총 연구기간: 2018. 07. 18 ~ 2023. 06. 30,



# 1. Introduction

## ❖ CRONI (Convergence Research Of Nuclear Safety Innovation Center) Center

- 인공지능 기반의 원전 비정상 운전지원 시스템 프로토타입 개발



### 비정상상황 발생 억제



지능형 **고장허용** 구조  
정립 및 **기기수준 예측**  
진단 기법 개발

### 비정상상황 대응지원



인공지능기술을 활용한  
플랜트 상태 **진단, 예측 및**  
**비정상상태 안전조치**  
최적화 기술 개발

### 비상상황 초기대응지원



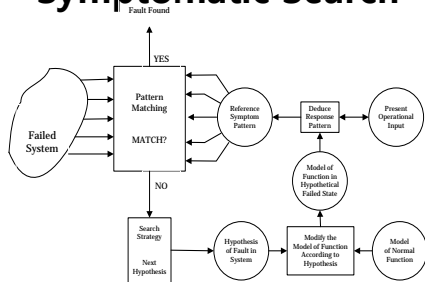
인공지능을 활용한 원전  
**비상운전 지능화** 시스템  
개발

# 2. AIDAA 개념 설계

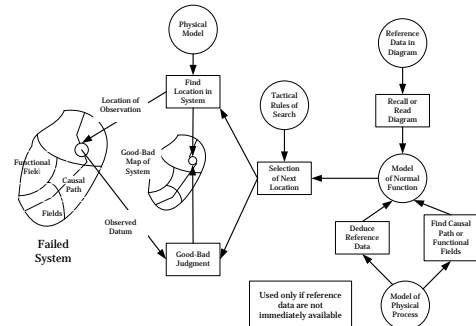
## ❖ AIDAA의 지원 전략

### ■ AIDAA (Advisory, Intelligent Decision Aid for Abnormal operations)

#### - Symptomatic Search -



#### - Topographic Search -



#### 절차서 기반 지원



Data-Driven  
Pattern  
Recognition

비정상 상태 진단  
절차서 기반 복구

Plant Parameters  
(Physical Value, Component State)

#### 기능 복구 기반 지원

Good or Bad  
Judgement



Failed System



Failed Location

(Failed Component/Signal,  
Leaked Location)

기능 기반 복구

# 2. AIDAA 개념 설계

## ❖ AIDAA 개발 과정

### 1. UML 툴을 사용한 AIDAA의 기능 정의

- Use Case와 Information Flow를 사용하여 운전원의 비정상 상태 운전 시 요구되는 직무, 정보의 처리 과정 등을 파악함으로써 AIDAA Interface에서 운전원에게 제공해야 할 정보와 기능적 요구사항 도출

### 2. UML 기반 AIDAA Interface 설계 및 구현

- PyQt5를 이용하여 운전원과 상호 작용이 가능한 AIDAA Interface 및 Controller 등에 Frontend 부분 구현

### 3. 개별 기능 구현

- Python을 활용하여 비정상 진단, 예지 및 조치 알고리즘을 구현과 AIDAA의 구동 및 알고리즘 간에 데이터 교환을 위한 Backend 부분 구현

### 4. 기능 통합

- Git-hub의 버전관리를 통한 개별적으로 구현된 기능의 통합 및 AIDAA Interface 개발

### 5. AIDAA 프로토타입 테스트

- CNS와 통합된 AIDAA 프로토타입을 연결하여 테스트 수행

### 3. AIDAA Requirement 도출

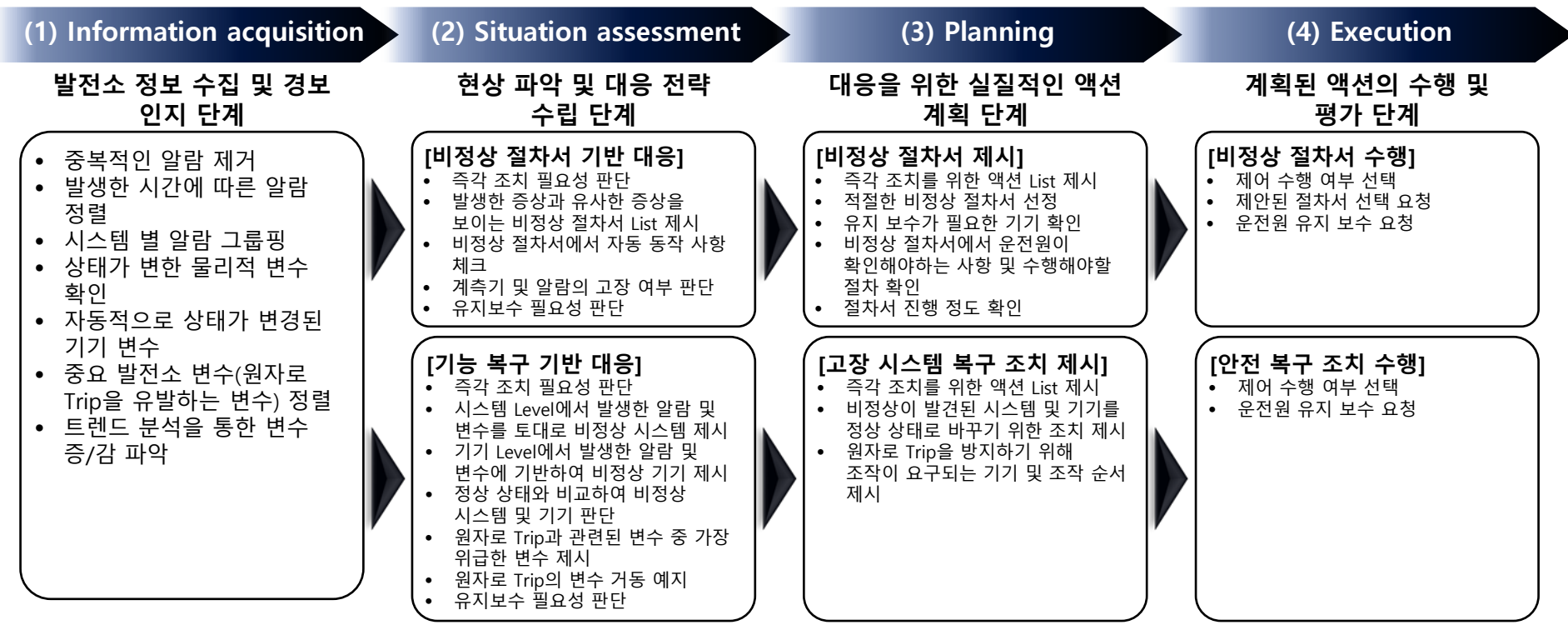


# 3. AIDAA Requirement 도출

## ❖ 비정상 운전 지원 전략 개발을 위한 요구사항 도출

- 비정상 상태 발생 시 운전원의 직무를 고려한 시스템 요구사항 도출
  - 운전원의 직무 수행 프로세스 기반 비정상 상태 대응 시 필요 정보 파악

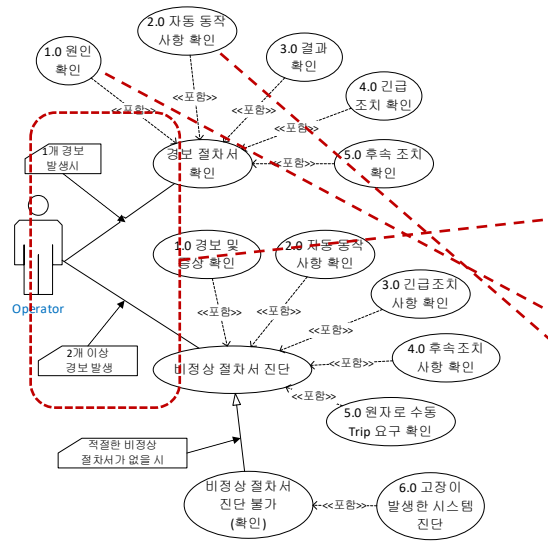
### • 비정상 발생시 운전원의 직무를 고려한 시스템 요구사항



# 3. AIDDA Requirement 도출

## ❖ UML 틀에 기반한 AIDAA Requirement 도출

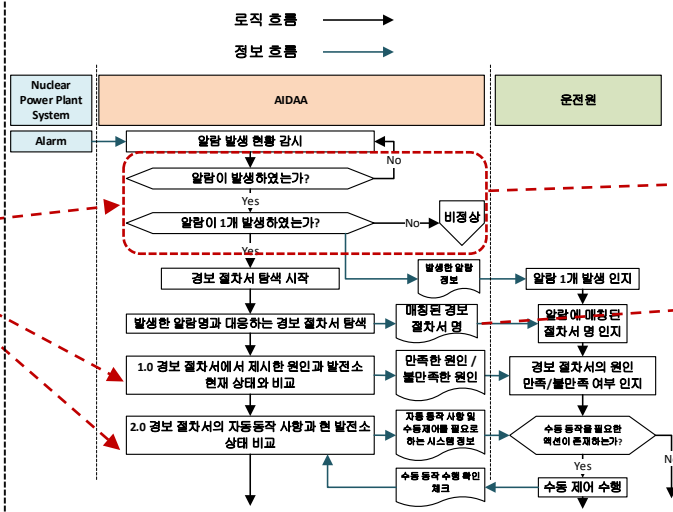
### UseCase Diagram 작성



#### [Use Case]

- 시스템과 외부 에이전트(사람 또는 다른 시스템)와 상호작용을 모델링하기 위해 사용됨.
- 비정상 시 운전원의 직무와 이를 수행하는데 필요로 하는 정보를 도출함.

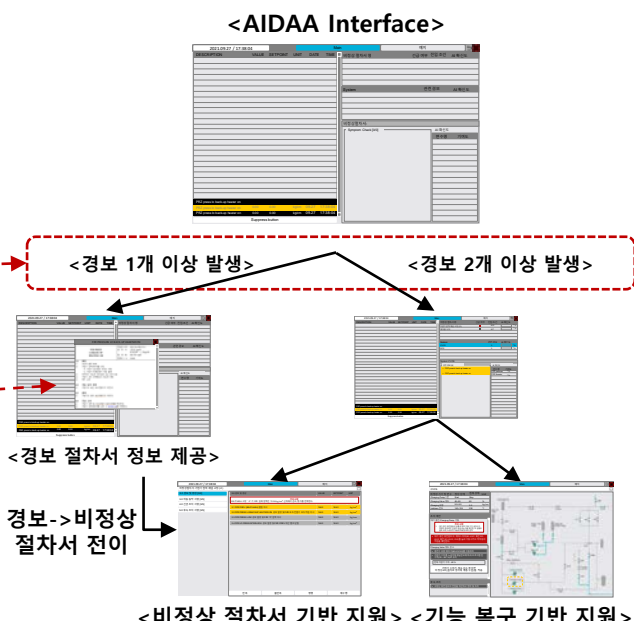
### Information Flow 작성



#### [Information Flow]

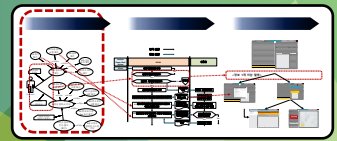
- Use Case를 통해 도출된 운전원 직무를 수행하기 위해 필요한 세부적 정보 처리 과정을 If-Then 다이어그램 로직으로 표현할 수 있음.
- Information Flow를 통해 AIDAA에 요구되는 기능을 도출할 수 있으며 기능의 입/출력 정보 정의할 수 있음.

### AIDAA Interface Implementation 작성



#### [Implementation]

- PyQt5와 Python을 이용하여 AIDAA Interface Implementation

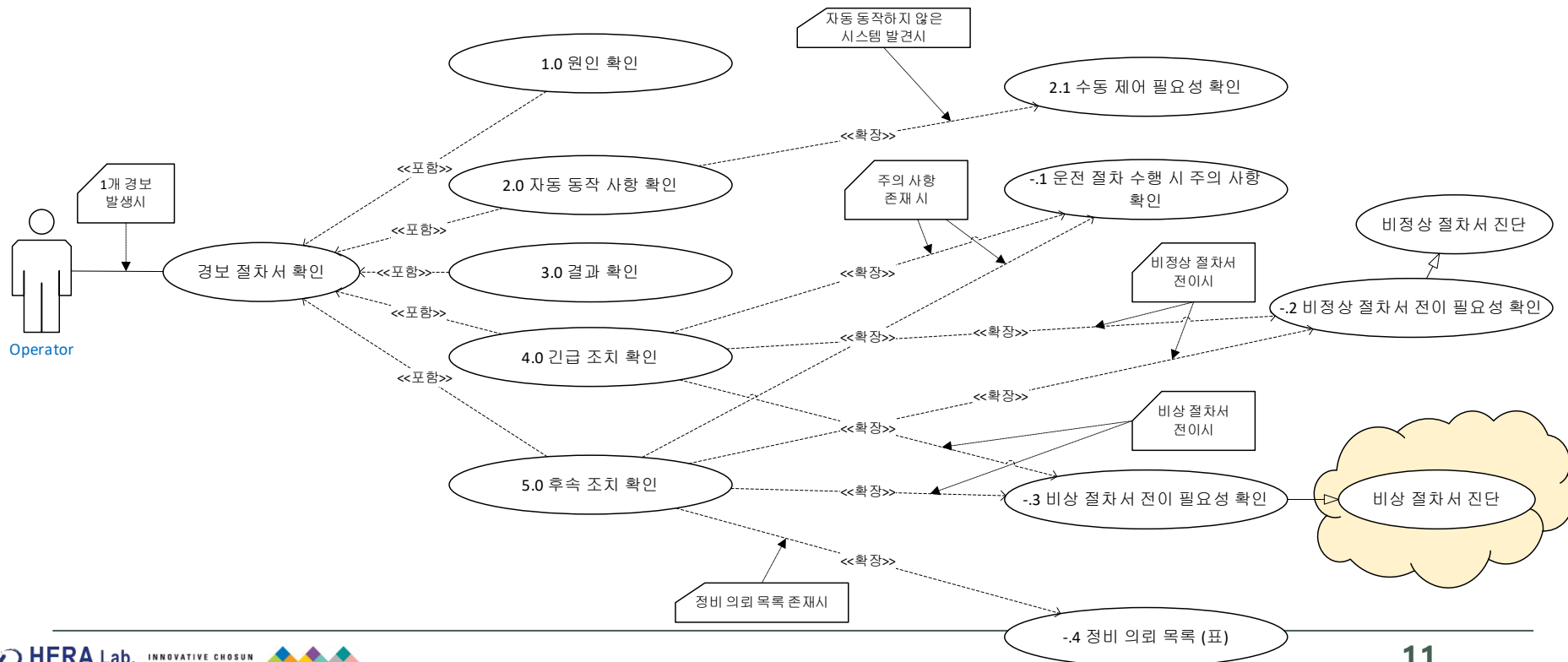


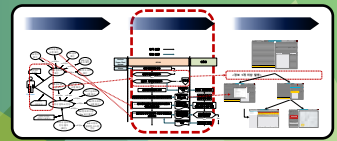
# 3. AIDAA Requirement 도출

## ❖ AIDAA Use Case 작성

### ■ 경보 1개 발생 시 AIDAA Use Case

- 발생한 경보에 매칭되는 경보 절차를 찾고, 해당 절차서에서 제시하는 원인, 자동 동작 사항과 결과를 자동적으로 확인하여 절차서 진행 사항을 제공해야함.
- 필요 시 긴급, 후속 조치 수행 시 운전 주의 사항, 비상 및 비정상 절차서로의 전이, 정비가 요구되는 테이블과 같은 정보를 제공해야함.



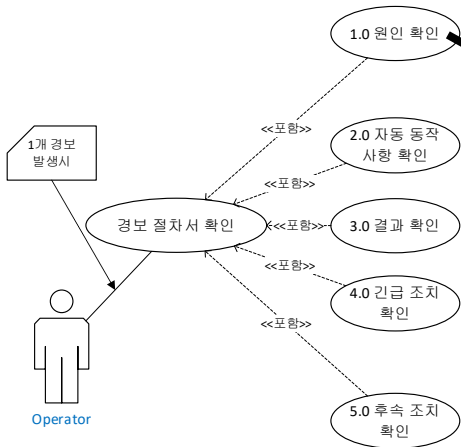


# 3. AIDAA Requirement 도출

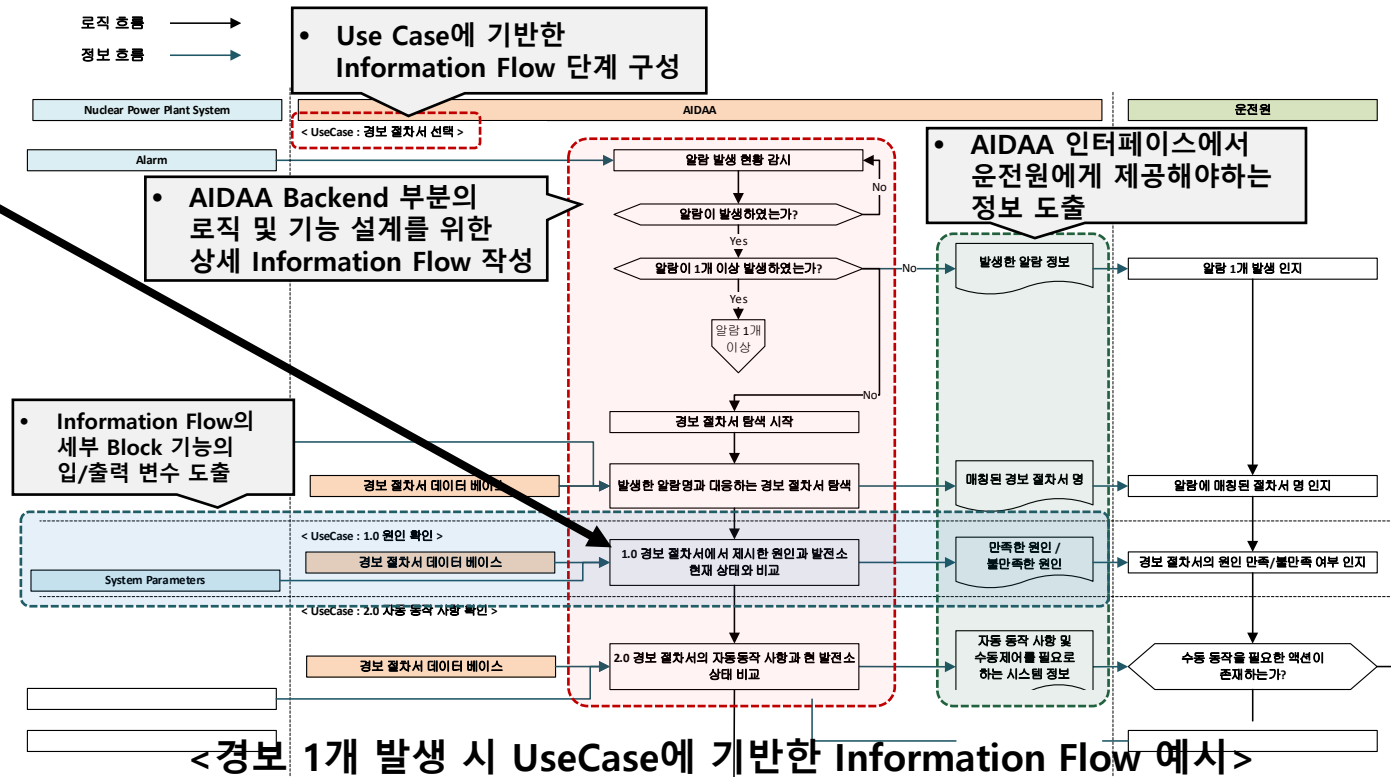
## ❖ AIDAA Information Flow 작성

- 인터페이스에 표시할 정보와 Backend 로직 도출
- Information Flow의 세부 기능 Block의 입/출력 변수 파악

### UseCase Diagram

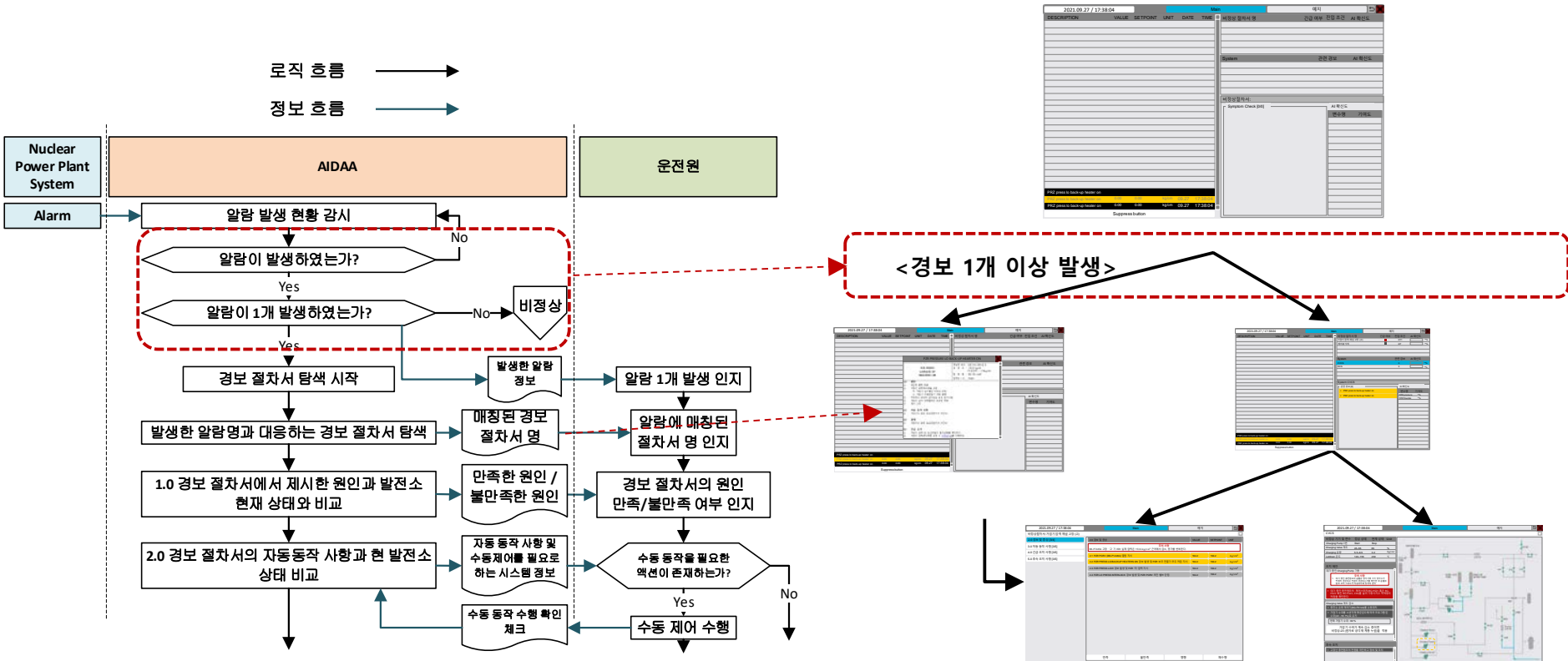


### Information Flow



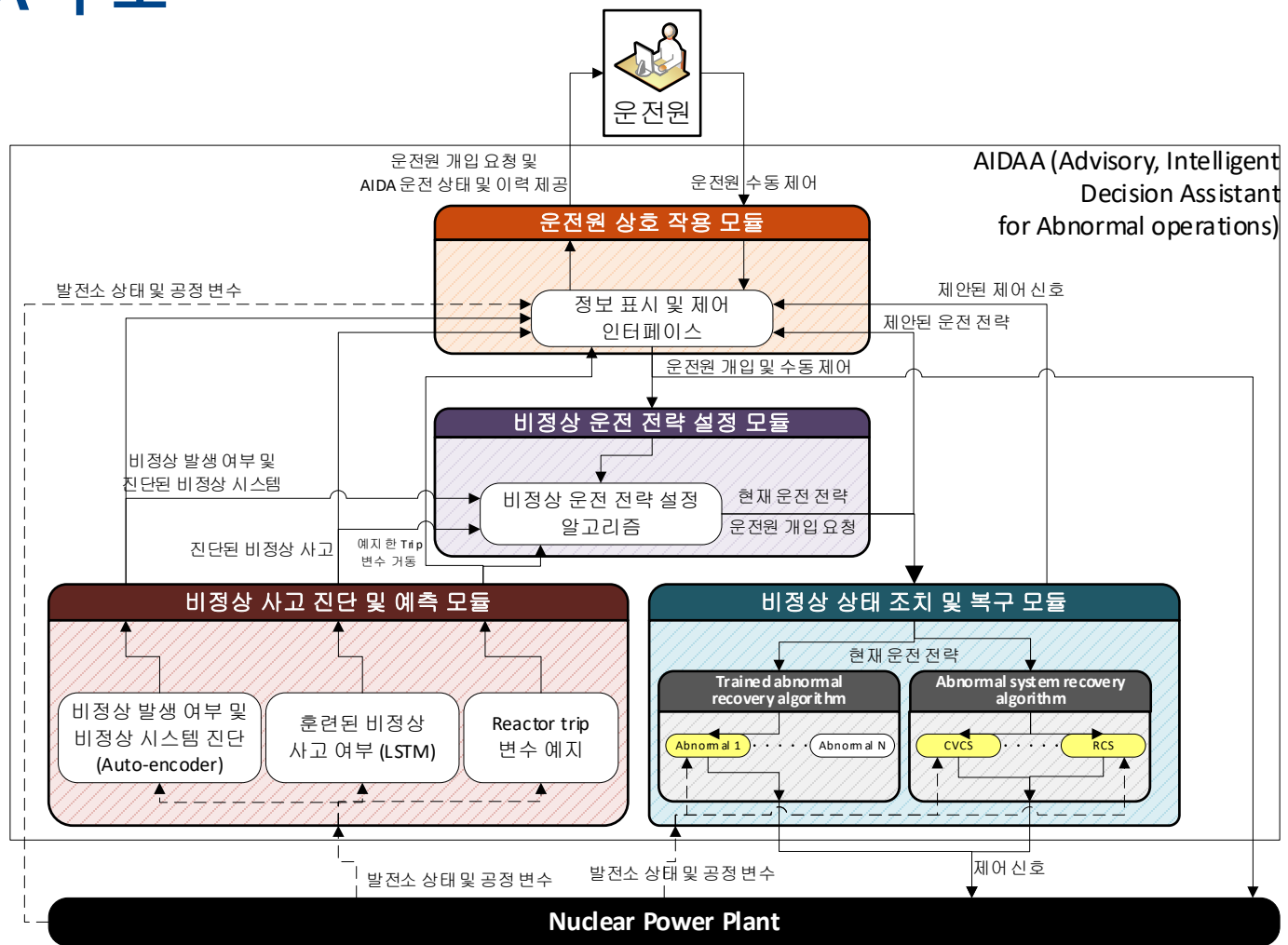
# 3. AIDAA Requirement 도출

## ❖ AIDAA Interface 설계



# 3. AIDAA Requirement 도출

## AIDAA 구조



<AIDAA의 개념 설계 구조>

## 4. 주요 기능 소개

# 4. 주요 기능 소개

- 1) 경보리스트
- 2) 경보절차서 연결

The screenshot shows the main HMI interface. On the left, a large table lists alarms with columns for Description, Value, Setpoint, Unit, Date, and Time. The bottom of this table shows a 'PRZ press to back-up heater on' alarm with a 'Suppress button' at the bottom. On the right, there's a panel for 'Alarm List' and 'AI Status'. The 'Alarm List' shows '가압기 압력 채널 고장 (고)' and '제어불 낙하'. The 'AI Status' shows 'CVCS' and 'RCS' with values 3 and 3 respectively. Below this, there's a '관련 절차서 (AI)' section showing 'PRZ press to back-up heater on' and a '변수명' (Variable Name) table with 'PZR pressure' and 'PZR flowrate'.

- 3) 비정상절차서 제공 (긴급조치 포함)
- 4) 비정상 절차서 판단 기준 제공
- 5) 이상 시스템 제공
- 6) 이상 시스템 판단기준 제공

The screenshot shows the 'Alarm List' window. It displays a table of alarms with columns for Description, Value, Setpoint, Unit, Date, and Time. The bottom of the table shows a 'PRZ press to back-up heater on' alarm with a 'Suppress button' at the bottom. The window also includes a 'Status' section with 'PZR pressure' and 'PZR flowrate'.

- 7) 비정상/경보 절차서 운영 지원

The screenshot shows the 'Process Diagram' window. It displays a detailed schematic of the system components and their interconnections. The diagram includes various pumps, valves, and tanks, with labels for 'CVCS', 'RCS', and 'PZR'. The 'CVCS' section shows 'Charging Pump 1' and 'Charging Valve 1' with status indicators. The 'RCS' section shows 'Charging Pump 2' and 'Charging Valve 2' with status indicators. The 'PZR' section shows 'Charging Pump 3' and 'Charging Valve 3' with status indicators.

- 7) 기능복구 기반 조치 지원

The screenshot shows the 'Trend' window. It displays a table of historical data for various system variables over time. The table has columns for Variable Name, Start Time, End Time, and Value. The variables listed include 'PZR pressure', 'PZR flowrate', 'CVCS pressure', 'RCS pressure', 'PZR temperature', 'CVCS temperature', 'RCS temperature', 'PZR level', 'CVCS level', 'RCS level', 'PZR flow', 'CVCS flow', and 'RCS flow'.

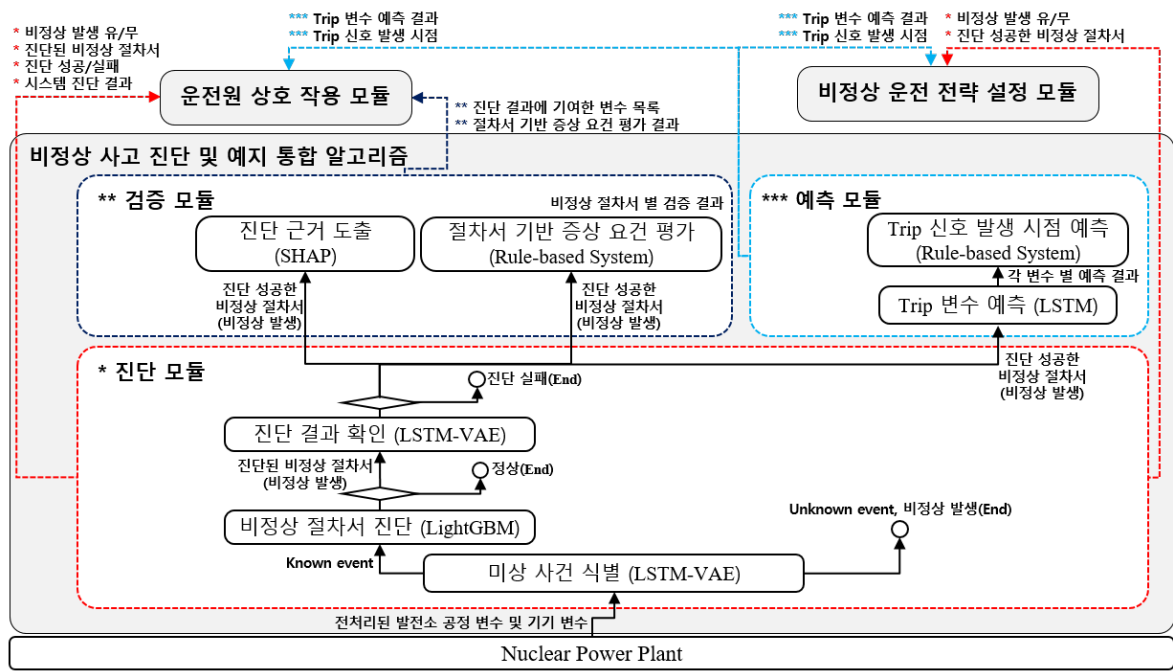
- 8) 주요 변수 거동 예측
- 9) 원자로 정지 시간 예측



# 4.1. 플랜트 상태 진단 및 예측 알고리즘

## ❖ 플랜트 상태 진단 및 예측 알고리즘 개발

- 비정상 발생 시 훈련 유무 판별 및 비정상 절차서 진단 (LightGBM, LSTM-VAE)
- 비정상 절차서 진단 근거 도출 (SHAP, Rule-based System)
- 시스템 이상 진단 및 근거 도출
- Trip 변수 거동 예측 (LSTM, Rule-based System)
  - 비정상 진단 성공 시 Trip 변수 예측을 통해 운전원에게 Trip 변수 거동 및 Trip 설정치 도달까지 남은 시간에 대한 정보를 제공

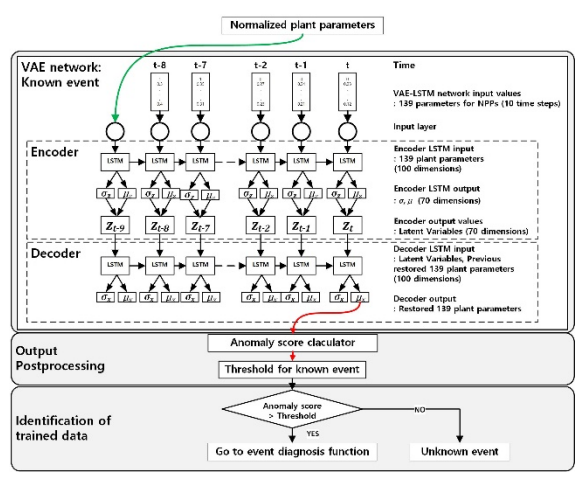




# 4.1. 플랜트 상태 진단 및 예측 알고리즘

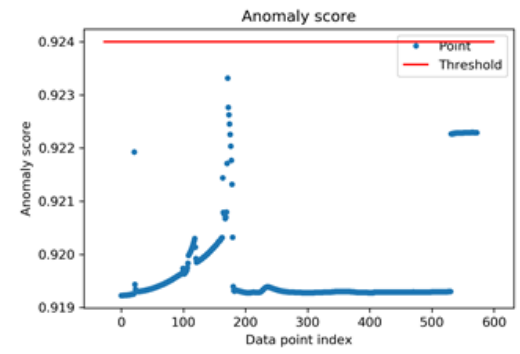
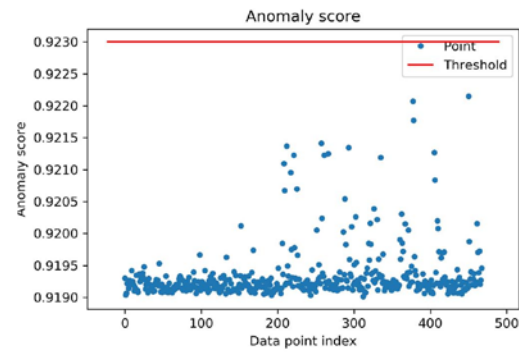
## ❖ 훈련된 비정상 발생 유무 알고리즘

- 현 상태가 훈련된 비정상 시나리오인지 판단하기 위해 Long Short-Term Memory-Variational Autoencoder (LSTM-VAE) 사용하여 알고리즘 개발
  - 원자력발전소 데이터의 시계열 특성을 고려할 수 있는 LSTM과 입력 데이터의 특징을 확률 분포로 학습하고 이를 재구성하는 VAE를 결합한 방법론임.
  - 훈련되지 않은 데이터가 입력될 경우 재구성 능력이 떨어지게 되며, 이를 활용하여 Threshold를 기준으로 이진 분류를 수행함.
  - 인공지능이 훈련되지 않은 비정상 상황을 파악
  - 절차서 없는 비정상 상황을 파악



[훈련 유무에 적용된 LSTM-VAE 모델]

### 훈련 유무 진단 및 진단 결과 검증

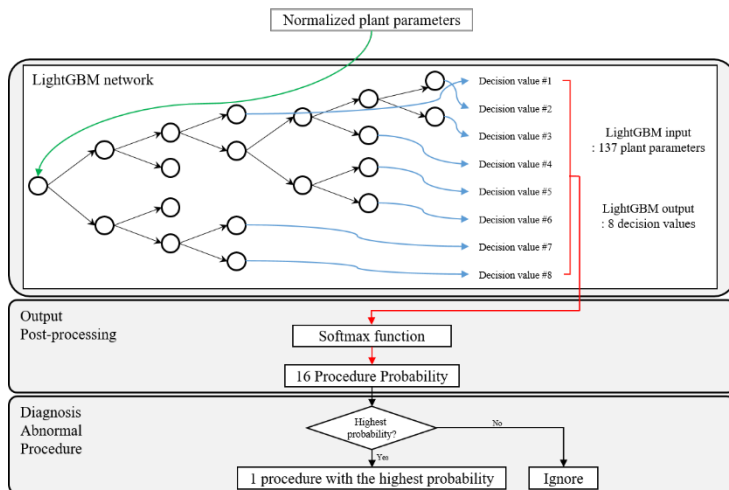


- Anomaly score가 Threshold보다 낮을 때 : 훈련 상태 또는 진단 성공
- Anomaly score가 Threshold보다 높을 때 : 미훈련 상태 또는 진단 실패

# 4.1. 플랜트 상태 진단 및 예측 알고리즘

## ❖ 비정상 절차서 진단 알고리즘

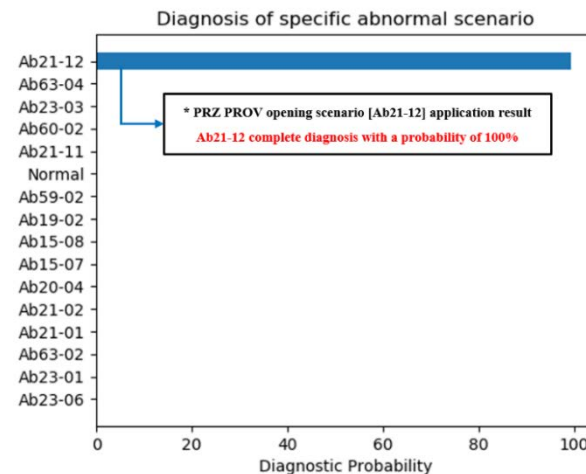
- 비정상 절차서 진단을 위한 Light Gradient Boosted Machine (LightGBM) 적용
  - Decision Tree 계열 방법론 중 하나로 약한 분류기를 결합하여 강한 분류기를 만드는 Gradient Boosting Decision Tree (GBDT)를 이용한 방법론임.
  - GBDT를 통해 높은 정확도 및 해석 가능성을 가질 수 있음.



### [비정상 절차서 진단에 활용된 LightGBM 모델]

- LightGBM의 Feature Importance 기능을 통해 입력 변수 선정 (137개)
- LSTM-VAE를 통해 훈련 유무 판별 후 훈련 상태 데이터에서만 진단 수행
- 출력 값은 16개 시나리오(정상 1개, 비정상 15개) 중에서 가장 높은 확률을 갖는 시나리오를 제시

### LightGBM을 통한 비정상 절차서 진단 결과

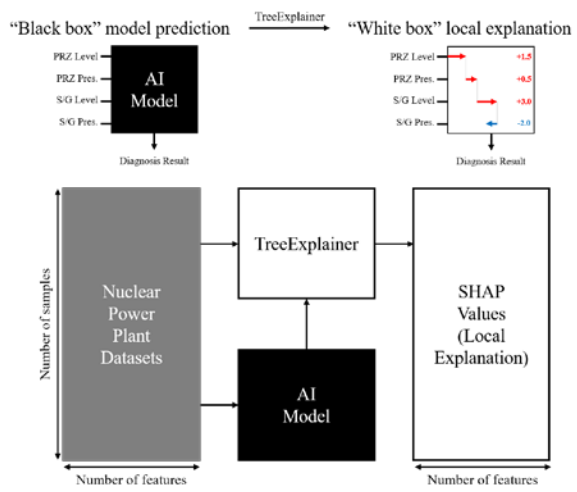


- LightGBM에 가압기 PORV 열림 시나리오에 대한 데이터를 주입한 결과  
- 100% 확률로 가압기 PORV 열림 시나리오 진단

# 4.1. 플랜트 상태 진단 및 예측 알고리즘

## ❖비정상 절차서 진단 근거 도출 알고리즘

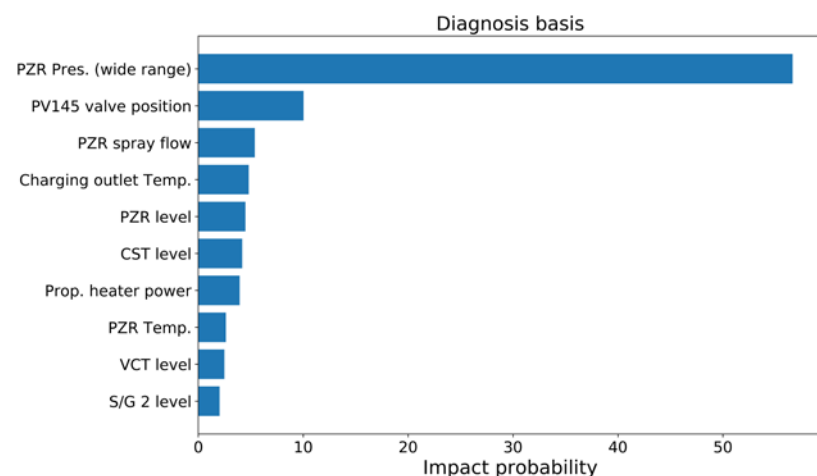
- 비정상 절차서 진단 시 가장 기여도가 높은 발전소 기기 또는 물리적 변수 정보를 찾기 위해 Shapley Additive exPlanations (SHAP) 적용
  - SHAP는 설명 가능한 인공지능 방법론 중 하나이며, 입력된 변수들에 대해 Shapley 값을 계산함으로써 진단 결과에 대한 각 변수들의 기여도를 평가할 수 있음. 이를 통해 진단 결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있음.



### [진단 근거 도출에 활용된 SHAP 적용 구조]

- LightGBM으로 비정상 상태를 진단한 후 SHAP을 이용하여 진단 결과에 대한 근거 제공
- LightGBM의 입력 변수를 기반으로 기여도를 산출하기 때문에 입력 변수 선정이 중요
- 계산된 각 변수들의 기여도를 기반으로 진단 결과를 결정하게 된 주요 변수들을 선정

## 가압기 PORV 열림 (Ab21-12) 시나리오에 대한 진단 근거



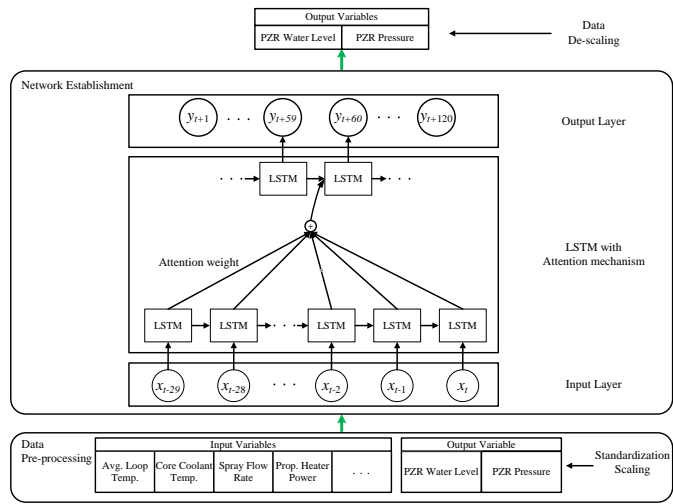
- 가압기 PORV 열림 시나리오 진단에 대한 각 변수별 기여도 (변수 개수 : 137개)
- 해당 시나리오에서는 PORV의 개도가 진단 결과에 가장 많은 영향을 준 변수로 제시함.

# 4.1. 플랜트 상태 진단 및 예측 알고리즘

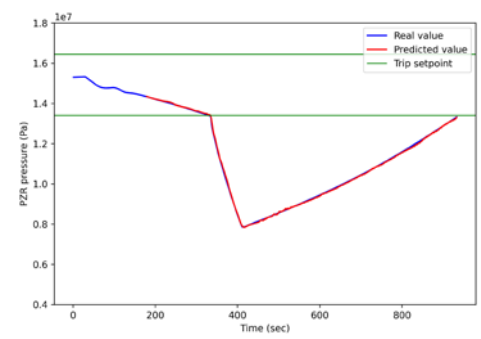
## ❖ 발전소 Trip 변수 거동 예측 알고리즘

### ▪ Trip 변수 거동 예측을 위한 Attention Mechanism과 LSTM 적용

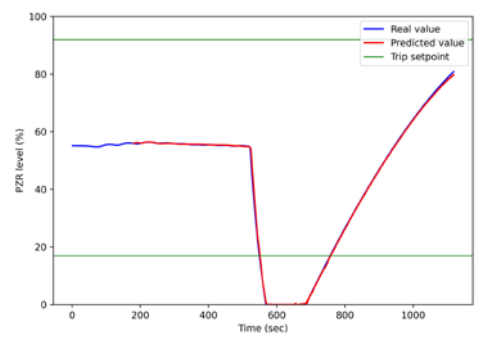
- 시계열 데이터 처리가 특화된 방법인 LSTM은 Cell State를 통해 선택적으로 데이터를 전달함으로써 장기 의존성 학습이 가능함.
- Attention Mechanism은 입력데이터에서 예측 대상과 관련성이 높은 시간에 가중치를 부여하여 학습하는 방법으로, LSTM에 적용함으로써 예측 성능을 향상시킴.



### 가압기 수위 및 압력 예측 결과



< 가압기 압력 거동 예측 >



< 가압기 수위 거동 예측 >

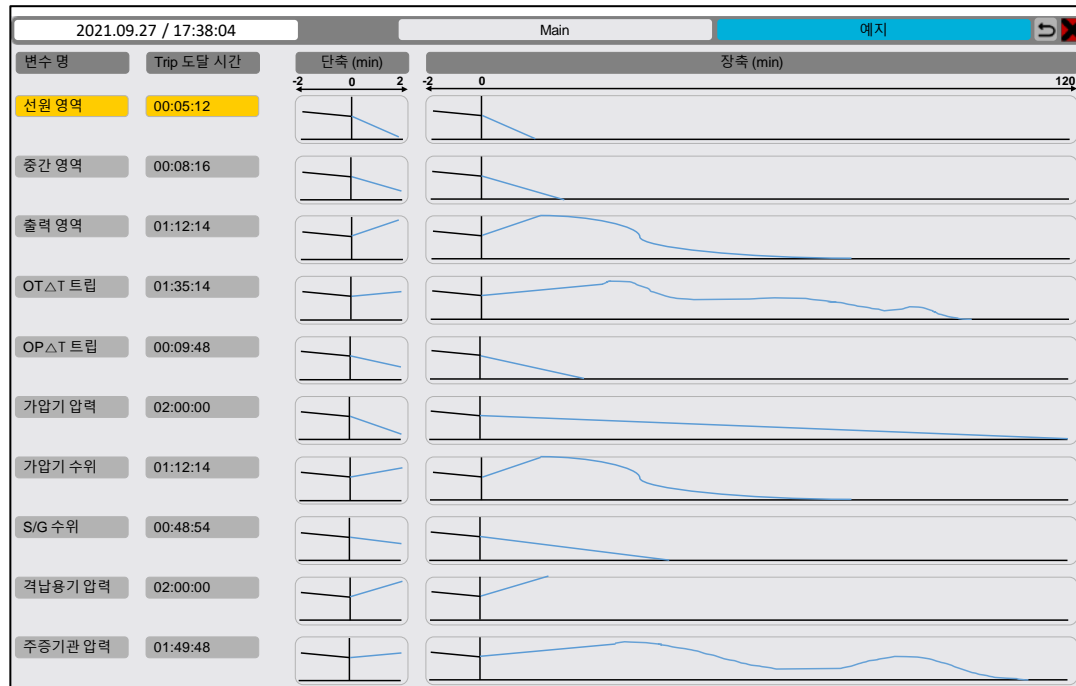
### [Trip 변수 예측에 활용된 LSTM + Attention Mechanism 구조]

- 예측 대상 변수와 관련된 입력 변수 선정
- 비정상 상태 발생 후, 30초간 데이터를 기반으로 1초~120초 후 변수의 거동 예측

- 각 변수들의 Trip 설정치 도달 유무 제시
- Trip 설정치 도달까지 남은 시간 제시

# 4.1. 플랜트 상태 진단 및 예측 알고리즘

## ❖ 발전소 Trip 변수 거동 예측 알고리즘



## 4.2. 비정상 상태 복구 알고리즘

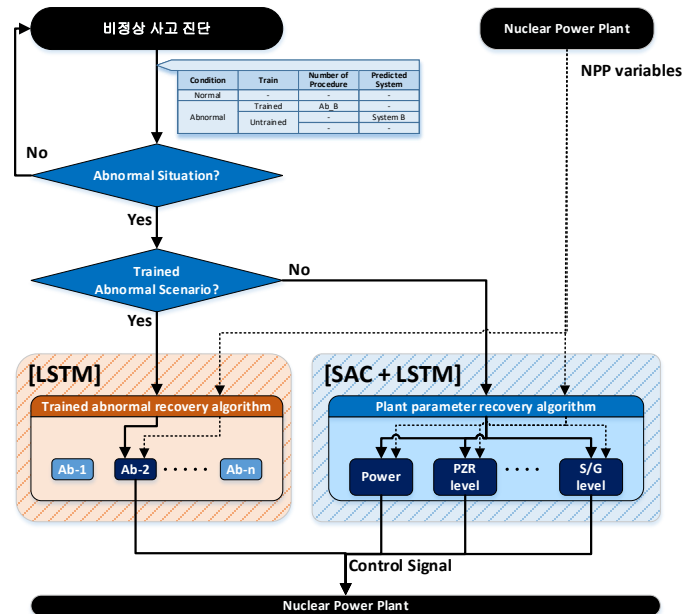
### ❖ 비정상 발생 시 운전원 조치 지원 알고리즘 개발

#### ■ Trained 비정상 상태 시 – 지도학습(LSTM network)기반

- 비정상 절차서에 기반하여 수행된 운전 데이터를 훈련하여 운전원의 액션과 동일한 조치를 제안함.

#### ■ Untrained 비정상 상태 시 – 강화학습(SAC-LSTM network)기반

- 비정상 절차서가 없거나, 수집되지 않은 비정상 시나리오 발생 시 발전소 상태 복구를 위해 비정상이 발생한 시스템을 정상 상태로 복구하는 방향으로 조치와 관련 기기들을 제안함.

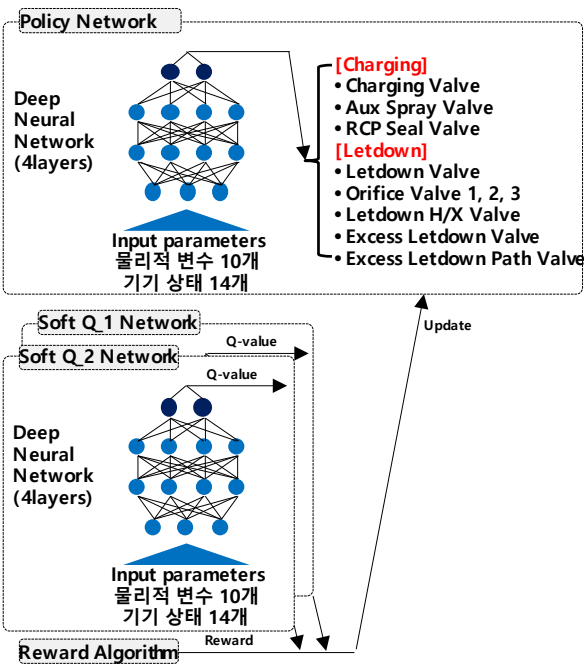




# 4.2. 비정상 상태 복구 알고리즘

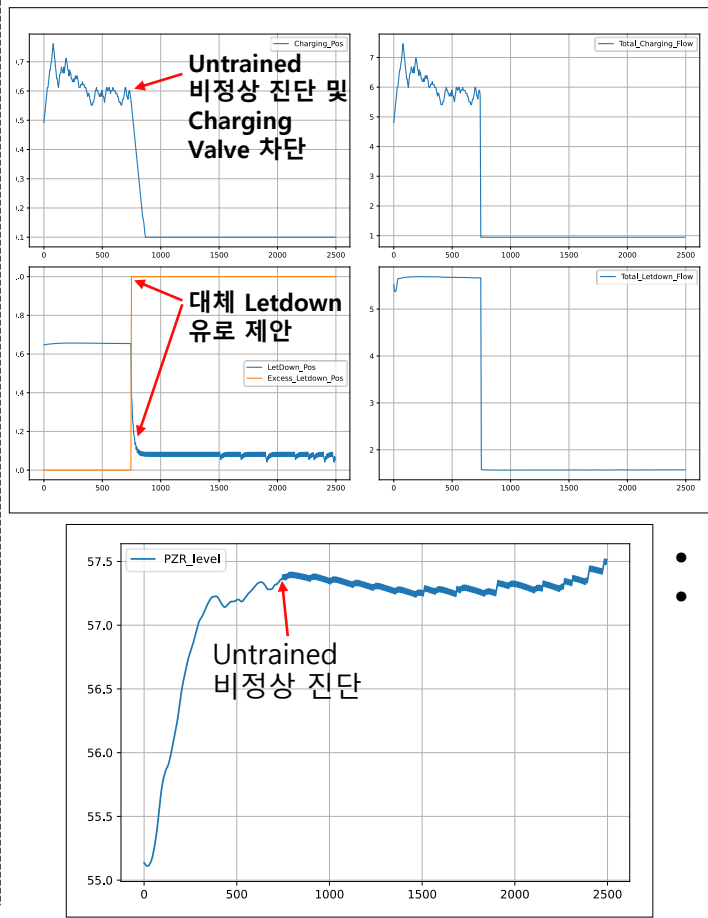
## ❖ 강화학습 기반 비정상 시스템 복구 알고리즘

- 불만족하는 발전소 상태 변수를 찾아 정상 상태로 복구하는 알고리즘 개발



- RCS Inventory 복구를 위한 SAC 에이전트**
- 가압기 수위 제어 시 요구되는 기기와 변수를 입/출력 변수로 선정
  - 입/출력 레이어를 포함하는 총 4개의 레이어 층으로 구성된 DNN 모델 사용

충전수 유량 조절밸브 후단 누설 (Untrained 시나리오)

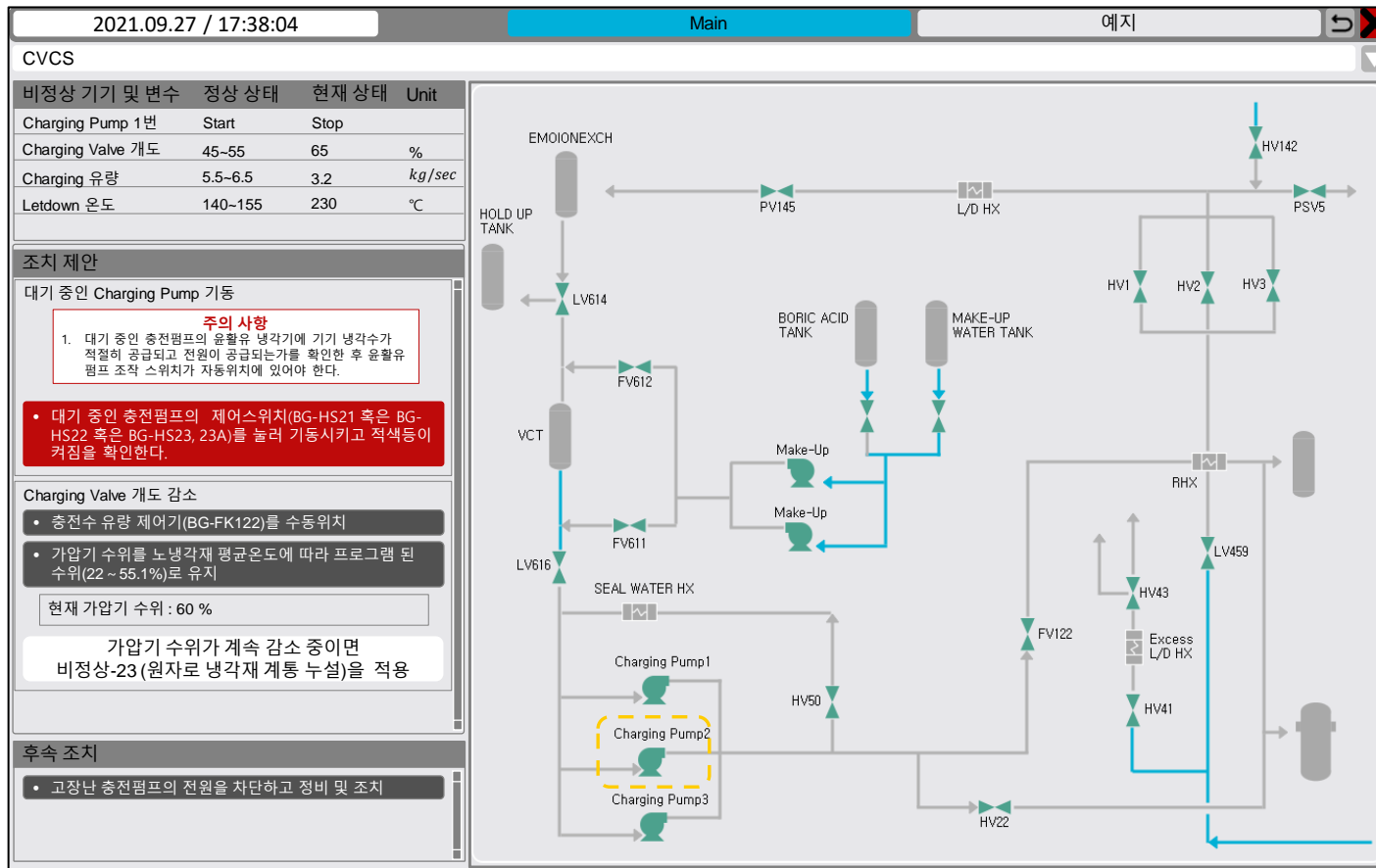


- 비정상 발생 시 누설 Charging Valve 차단과 RCP Seal 공급을 위한 대체 유로 제안

- 빠른 누설 부위 격리
- 대체 유로 전환을 통한 가압기 수위 정상화

## 4.2. 비정상 상태 복구 알고리즘

### ❖ 강화학습 기반 비정상 시스템 복구 알고리즘



## 5. 비정상 상태 데이터 베이스 구축

# 5. 비정상 상태 데이터 베이스 구축

## ❖ 원전 진단, 예측 및 조치를 포함하는 비정상 시나리오 선정

- 대표적으로 원전에서 발생 가능한 비정상 시나리오 상황 선정
  - 현재 보유한 시뮬레이터에서 구현이 가능한 비정상 시나리오 선정
  - 총 23개 시나리오 선정

비정상 상황	비정상 시나리오 (23개)	
자동 로직 및 계측기 오류 (10개)	가압기 압력 계측기 고장 (고)	가압기 수위 계측기 고장 (고)
	가압기 압력 계측기 고장 (저)	가압기 수위 계측기 고장 (저)
	증기 발생기 압력 계측기 고장 (고)	증기 발생기 수위 계측기 고장 (고)
	증기 발생기 압력 계측기 고장 (저)	증기 발생기 수위 계측기 고장 (저)
	증기관 계측기 고장 (고)	증기관 계측기 고장 (저)
기기 상태 이상 (8개)	단일 및 2개 이상 제어봉 낙하 및 오정렬	제어봉 삽입 및 인출 방향 초과 오정렬
	가압기 PORV 고착	가압기 안전밸브
	가압기 Spray 밸브 고착	충전 펌프 비정상 정지
	주급수 펌프 비정상 정지	주증기관 차단 밸브 (MSIV) 차단
배관 누설 (5개)	CVCS 유출 유로 배관 손상	CVCS 유출수 열교환기 튜브 손상
	CVCS 충전 유로 배관 손상	RCS 배관 누설
	증기발생기 튜브 누설	

〈선정된 비정상 시나리오〉

# 5.1 비정상 시나리오 직무 분석

## ❖비정상 시나리오 별 직무 분석통한 변수 선정

- APR-1400, OPR-1000 및 Westinghouse 930MWe 발전소의 비정상 절차서에서 제시하는 운전 절차에 대한 직무 분석을 수행
  - 직무 분석을 통한 원전 비정상 상태 진단, 예측 및 조치에 사용될 수 있는 인공지능 알고리즘의 입/출력 값을 도출

결과서 명	직무 스텝	직무	직무용어	정보	정보특성	기준값	Task type	CVCS	MSIV	입력	출력
제어봉 낙하	스텝	직무	동사	정보	정보특성	기준값	Task type	CVCS	MSIV	Input	Output
	2	정보 도출 및 확인									
	2.1	확인한다	제어봉 위치 표시에 비례 지시봉 상태 표시	State	정상	확인	O	O		제어봉 위치 지시봉 상태 표시 지시봉 위치	
	2.2	확인한다	제어봉 출력 지시봉	Parameter Trend	정상	확인	O	O		제어봉 출력	
	2.3	확인한다	Tag	Parameter Trend	정상	확인	O	O		Tag	
	2.4	확인한다	RODS AT BOTTOM	경보	발생	확인	X	X		Alarm: RODS AT BOTTOM	
	2.5	확인한다	ROD DEVIATION	경보	발생	확인	X	X		Alarm: ROD DEVIATION	
		확인한다	ROD DEVIATION	경보	발생	확인	X	X		Alarm: ROD DEVIATION	
	2.6	확인한다	T REFRAC T T AVG HIGH	경보	발생	확인	O	O		Alarm: T REFRAC T T AVG HIGH	
	2.7	확인한다	ROD BANKS LOW/LO-LIMIT	경보	발생	확인	O	X		Alarm: ROD BANKS LOW/LO-LIMIT	
	2.8	확인한다		경보	발생	확인	O	O		Two or more rods at bottom	

<Westinghouse 930MWe : CVCS 충전 유로 배관 손상 시나리오의 직무 분석 결과>

절차서	직무 스텝	직무	정보	기준값	입력	결과
절차서	스텝	직무	정보	기준값	Input	Output
(CP)비정상-3741-03(개경 04)_제어봉 낙하 또는 오정렬.xml	2.1.1	다음의 정보 발생을 확인한다.	RP CEAC1/2 Ch A/B/C/D Deviation		RP CEAC1/2 Ch A/B/C/D Deviation	
			CEAC 1/2 Ch A/B/C/D TRBL		CEAC 1/2 Ch A/B/C/D TRBL	
			CEA Drop Detected		CEA Drop Detected	
			GRP DEV Minor Violation PTS 1		GRP DEV Minor Violation PTS 1	
			GRP DEV Minor Violat REG GRP1~5		GRP DEV Minor Violat REG GRP1~5	
			GRP DEV Minor Violation S/D A/B		GRP DEV Minor Violation S/D A/B	
			GRP DEV Major Violation PTS 1		GRP DEV Major Violation PTS 1	
			GRP DEV Major Violat REG GRP1~5		GRP DEV Major Violat REG GRP1~5	
			GRP DEV Major Violat S/D A/B		GRP DEV Major Violat S/D A/B	
			CEA Exercise Limit SD-A/B		CEA Exercise Limit SD-A/B	
			PDIL Violat : Regulating GRP 1~5		PDIL Violat : Regulating GRP 1~5	
			COLSS CPC AZ Tilt Alarm		COLSS CPC AZ Tilt Alarm	
			RRS Tavg-Tref Lo		RRS Tavg-Tref Lo	
			DRCS CEA Withdrawal Prohibit		DRCS CEA Withdrawal Prohibit	

<APR-1400 : 제어봉 낙하 또는 오정렬 시나리오의 직무 분석 결과>

직무 스텝	직무	직무용어	정보	정보특성	기준값	Task type	입력	출력
스텝	직무	동사	정보	정보특성	기준값	Task type	Input	Output
2.0 정보 발생								
2.1	수계미상에 다음의 정보 중 한 개 이상이 발생한다	확인한다	SYSTEM TRN A/C INOP	경보	발생	확인	SYSTEM TRN A/C INOP	
		확인한다	SYSTEM TRN S/D INOP	경보	발생	확인	SYSTEM TRN S/D INOP	
		확인한다	SYSTEM NON-IE INOP	경보	발생	확인	SYSTEM NON-IE INOP	
		확인한다	TRN BYPASS DEMAND	경보	발생	확인	TRN BYPASS DEMAND	
		확인한다	S/G 1 PWSTM FLOW DEV HI	경보	발생	확인	S/G 1 PWSTM FLOW DEV HI	
		확인한다	S/G 2 PWSTM FLOW DEV HI	경보	발생	확인	S/G 2 PWSTM FLOW DEV HI	
		확인한다	COLLS ALARM	경보	발생	확인	COLLS ALARM	
2.2	수중기 차단밸브 4개 중 상한 및 하한 "FAST CLOSE" 및 "SLOW CLOSE" 지시등이 점등한다	확인한다	FAST CLOSE	발보 지시등	점등	확인		

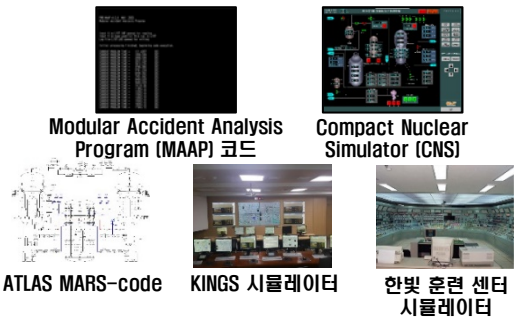
<OPR-1000 : MSIV 닫힘 시나리오의 직무 분석 결과>

# 5.2 시뮬레이션 DB 구축

## ❖ 원전 시뮬레이터 및 열수력 코드를 활용한 비정상 DB 구축

- 총 1,395개 비정상 시나리오 데이터 취득
- 빅데이터 처리 및 인공지능 DB 구축에 활용되는 MongoDB를 사용하여 수집된 DB를 관리 중 (비정상 6Gb)

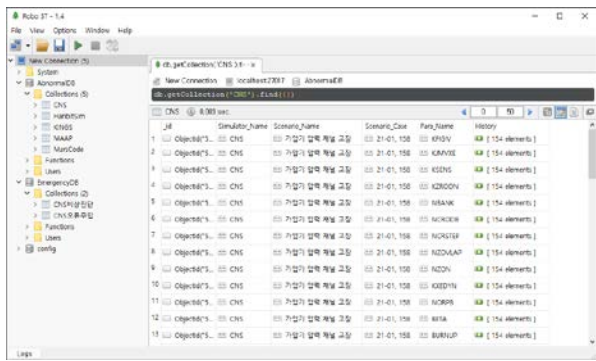
원전 시뮬레이터 및 열수력 코드



비정상 시나리오 별 데이터 수집 및 데이터베이스 구축

분류	시나리오 명	CNS	MAAP	KINGS	MARS -Code	한빛 훈련 센터	개수 (개)
계측 결함	가압기 압력 채널 고장	51	-	-	-	6	57
	가압기 수위 채널 고장	33	211	8	-	6	258
	증기발생기 압력 채널 고장	-	-	-	-	6	6
	증기발생기 수위 채널 고장	80	-	-	-	6	86
	주 증기 유량 채널 고장	-	-	-	-	6	6
기기 이상	제어봉 낙하	48	-	5	5	3	61
	제어봉의 계속된 삽입/인출	16	-	-	-	6	22
	가압기 PORV 고장	50	-	-	-	3	53
	가압기 안전밸브 고장	50	-	-	-	3	53
	가압기 살수 밸브 고장	70	111	-	-	3	184
	충전 펌프 고장 정지	1	-	-	-	3	4
	주 급수 펌프 정지	3	-	6	6	3	18
	주증기관 차단	3	-	4	4	3	14
	유출수 유로 누설	50	-	8	-	3	61
배관 누설	유출수 열교환기 튜브 손상	50	-	4	-	3	57
	충전수 관로 누설	30	-	-	-	3	33
	원자로냉각재 계통 누설	60	210	-	-	3	273
	증기발생기 튜브 누설	36	110	-	-	3	149
	개수(개)	631	642	35	15	72	1,395

MongoDB를 활용한 비정상 시나리오 DB 구축



## 6. Implementation

## 6. Implementation

## ❖ AIDAA 프로토타입 기능 통합 및 테스트

- CNS와 통합하여 테스트 수행

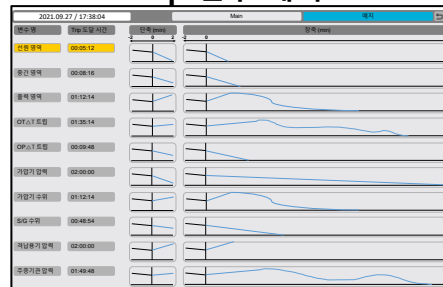
### < 경보 절차서 지원 >

PZR PRESSURE LO BACK-UP HEATER ON	
FOR PRESSURE LO BACK-UP HEATERS ON	
출력 전력	950-4000-00-00-00
압 령 계	235.55 kPaM
설정 온도	173.00°C-173.00°C
압 령 계	620-00-00-00-00
출력 전력	100 00001

4.0	결론	
4.1	이동할 때 화재	
4.2	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.3	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.4	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.5	화재에서 100도 이상인 온도	
4.6	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.7	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.8	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.9	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.10	결론	
4.11	이동할 때 화재	
4.12	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.13	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.14	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.15	화재에서 100도 이상인 온도	
4.16	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.17	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.18	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.19	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.20	결론	
4.21	이동할 때 화재	
4.22	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.23	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.24	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.25	화재에서 100도 이상인 온도	
4.26	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.27	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.28	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.29	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.30	결론	
4.31	이동할 때 화재	
4.32	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.33	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.34	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.35	화재에서 100도 이상인 온도	
4.36	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.37	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.38	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.39	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.40	결론	
4.41	이동할 때 화재	
4.42	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.43	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.44	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.45	화재에서 100도 이상인 온도	
4.46	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.47	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.48	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.49	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.50	결론	
4.51	이동할 때 화재	
4.52	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.53	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.54	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.55	화재에서 100도 이상인 온도	
4.56	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.57	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.58	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.59	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.60	결론	
4.61	이동할 때 화재	
4.62	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.63	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.64	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.65	화재에서 100도 이상인 온도	
4.66	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.67	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.68	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.69	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.70	결론	
4.71	이동할 때 화재	
4.72	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.73	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.74	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.75	화재에서 100도 이상인 온도	
4.76	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.77	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.78	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.79	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.80	결론	
4.81	이동할 때 화재	
4.82	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.83	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.84	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.85	화재에서 100도 이상인 온도	
4.86	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.87	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.88	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.89	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.90	결론	
4.91	이동할 때 화재	
4.92	기압계 및 압력계는 작동 중임	
4.93	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.94	이동시, 냉각수온도 100도 이상	
4.95	화재에서 100도 이상인 온도	
4.96	기압계, 압력계는 작동 중임	
4.97		

### < Trip 변수 예지 >



### < 비정상 절차서 기반 지원 >

2021.09.27 / 17:39:04

비정당원사서 가담가 입학 제외 계층 고장

2.0 강보 및 중상 [34]

3.0 급지동학식 사항 [34]

4.0 긴급 조치 사항 [34]

5.0 추후 조치 사항 [34]

3.0 자정 동학식 사항	104.2	104.2	kg/cm <sup>2</sup>
3.1 P2M P2MV (BIPV+VADA) 동향	104.2	104.2	kg/cm <sup>2</sup>
3.2 P2M 전일가 코드 동향	104.4	104.2	kg/cm <sup>2</sup>
3.3 P2M P2M 지진 정보 동향	103.6	104.2	kg/cm <sup>2</sup>
주간 시험			
P2M P2MV 지진 정보가 적용으로 현재지 값으로 다른 시험과 같은 상태지 확인한다.			
3.4 P2M 지진	103.6	104.2	kg/cm <sup>2</sup>
3.5 P2M 지진	103.6	104.2	kg/cm <sup>2</sup>

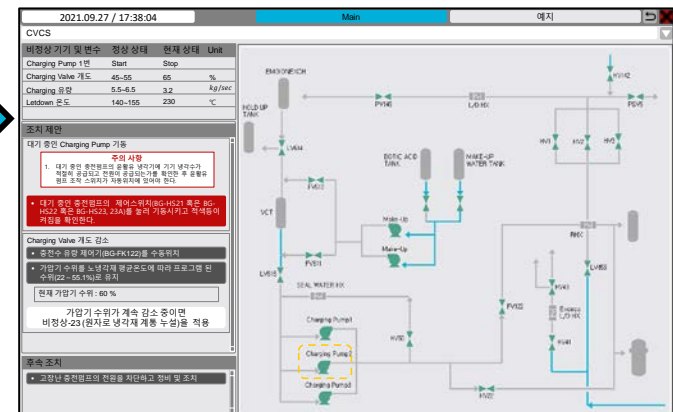
만족

불만족

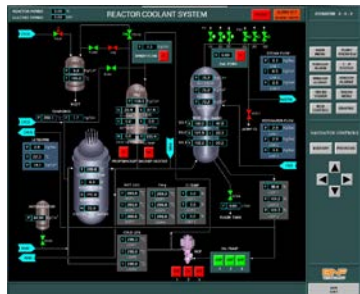
명령

재수정

### < 기능 복구 기반 지원 >



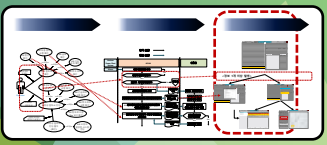
## < CNS 시뮬레이터 >



### < 발전소(CNS 시뮬레이터)와 AIDAA 프로토타입 간의 Interaction을 통한 테스트 >



# 6. Implementation



## ❖ AIDAA Interface 설계

- 경보 1개 발생 시 (가압기 안전 밸브 고장 시나리오) 예시

Information Flow

AIDAA Interface Implementation

- 발생한 알람 정보
- 매칭된 경보 절차서 명
- 만족한 원인 / 불만족한 원인
- 자동 동작 사항 및 수동제어를 필요로 하는 시스템 정보
- 수동 동작 수행 확인 체크
- 확인된 결과 사항

2021.09.27 / 17:38:04

DESCRIPTION	VALUE	SETPOINT	UNIT	DATE	TIME
<b>PZR PRESSURE LO BACK-UP HEATER ON</b>					
PZR PRESS LO/BACK UP HEATERS ON					
경보장 위치 : BUC-0A-909-B-2					
설 정 치 : 155.35 kg/cm <sup>2</sup>					
기준압력 : 1.75kg/cm <sup>2</sup>					
발 생 원 : BB-PB-444F					
컴퓨터 I-D : P0483					
1.0	원인				
1.1	과도한 출력 변화				
1.2	가압기 압력 제어계통 고장				
1.3	가. 가압기 압수밸브 비정상 제압				
1.4	나. 가압기 비례전압기 작동 불량				
1.5	부부하시 과도한 압수유출 또는 증기사용				
2.0	자동 동작 사항				
2.1	가압기의 모든 보조전압기가 꺼진다.				
3.0	결과				
3.1	가압기의 모든 보조전압기가 꺼진다.				
4.0	긴급 조치				
4.1	가압기 압력 및 보조전압기 동작상태를 확인한다.				
4.2	가압기 압력 제어계통 고장 시 <b>원정상-2</b> 를 수행한다.				

PZR press lo back-up heater on 0.00 0.00 kg/cm<sup>2</sup> 09.27 17:38:04

Suppress button

2021.09.27 / 17:38:04

비정상 절차서 명: 가압기 압력 제어 계통 고장

2.0 경보 및 증상 [3/4]	3.0 자동 동작 사항	VALUE	SETPOINT	UNIT
3.0 자동 동작 사항 [3/5]	3.1 PZR PORV (BB-PV445A) 열림	164.2	164.2	kg/cm <sup>2</sup>
4.0 긴급 조치 사항 [3/5]	3.2 PZR 전열기 모두 꺼짐	155.4	164.2	kg/cm <sup>2</sup>
5.0 후속 조치 사항 [3/5]	3.3 PZR PORV 차단 밸브 닫힘	153.6	164.2	kg/cm <sup>2</sup>

주의 사항  
PZR PORV 차단밸브가 자동으로 닫히지 않으면 다음과 같은 상태가 발생한다.

3.4 Rx 트립	VALUE	SETPOINT	UNIT
3.4 Rx 트립	136.8	164.2	kg/cm <sup>2</sup>
3.5 Si 작동	136.8	164.2	kg/cm <sup>2</sup>

만족 불만족 명령 재수행

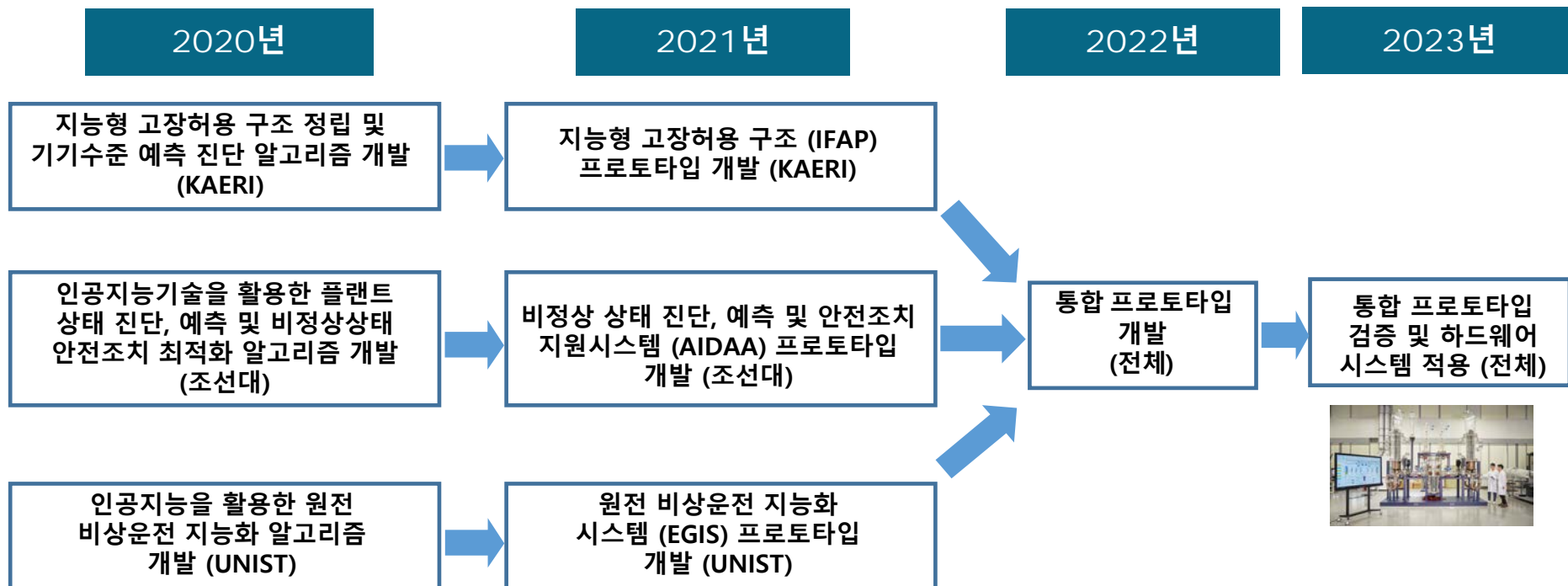
- < 경보 1개 발생 및 운전원이 알람 우클릭 시 >
- 선택된 경보 절차서의 내용을 제공
  - 1) 원인, 2) 자동 동작 사항, 3) 결과,
  - 4) 긴급/후속 조치 제공
  - 비상 및 비정상 절차서로의 전이 필요 시 링크로 연결 및 화면 전환

- < 비정상 절차서 기반 지원으로 화면 전환 >
- 비정상 절차서의 내용을 제공 및 운전원 확인
  - 1) 경보 및 증상 확인, 2) 자동 동작 사항 감시
  - 3) 긴급 조치, 4) 후속 조치 제공

## 7. Conclusion

# 7. Conclusion

## ❖ CRONI 연구센터 향후 연구계획



...

# 감사합니다. CRONI Center

...

---