



Prof. Yoojeong Noh

Smart System Analysis and Design Lab.,
Design of Mechanical System, School of Mechanical Eng., Pusan Nat'l Univ.

Data Driven Analysis and Design of Mechanical Systems

Introduction to Our Lab

스마트 시스템 해석 및 설계 연구실(Smart System Analysis and Design Lab.)은 기계시스템의 형상, 재료, 성능, 사용 과정에서 수집되는 다양한 데이터(Small or Big data)를 분석하고 모델링함으로써, 고장 진단과 예지, 설계 최적화를 수행한다. 고장 진단과 예지를 위해 데이터(통계) 분석, 데이터 전처리 기술, 특징 공학, 머신러닝 및 딥러닝 기술, 신뢰성 분석 등 기술을, 설계 최적화를 위해 전산해석, 대리모델링, 신뢰성 기반 최적설계, 디지털 트윈 기반 설계 기법을 개발하고 다양한 산업 문제에 적용하고 있다.

✦ 주요 연구내용

(1) Data Analysis & Data driven Design

Data driven optimization and analysis, digital twin-based design
Fault Detection and Diagnosis

(2) Uncertainty Quantification

Parametric & Nonparametric statistical modeling
Statistical modeling for correlated variables

(3) Design under Uncertainties with Lack of Information

Reliability analysis
Reliability-based design optimization

(4) Computational Mechanics & design optimization

Design Optimization using CFD analysis & surrogate modeling

✦ 실험실 구성원

전일제) 석박통합과정: 2명, 박사과정: 1명, 박사후연구원: 1명

기간제) 석사: 2명, 박사: 6명

졸업생 진로) LG전자, LG 에너지솔루션, 한국조선해양, 한국전자기술연구원, 한화에어로스페이스, 한화오션 등

✦ 최근 연구 과제

- 에어솔루션 AI 소음진단 모델 MLOps 개발, LG전자, 2024.09.01~2025.08.31
- 다목적/다변수 최적화를 위한 설계기법 연구, 국방과학연구소, 2024.01~2024.12.31
- 멀티 V AI 엔진 온디바이스 강화학습 기반 제어 최적화, LG, 2024.03.01~2024.12.31
- 특징 엔지니어링 고도화를 통한 효율적 세탁 성능 예측 모델 개발, LG, 2023.5.1~2024.4.30
- F/L 실사용 UB 성능 예측 효율화, LG전자, 2023.03.01~2023.08.31
- 냉장고 사이클 공정 PHM 모델 개발, LG전자, 2022.07.01~2023.06.30
- 함정 통합데이터 관리 플랫폼 기초 설계 용역, 해양경찰청, 2022.10.01~2023.03.31
- 항적기반 충돌위험지수 및 안전지원항로 산출 알고리즘 모듈 개발, GC, 2022.05.06~2022.09.30
- 데이터 기반 모델 정확도 자동 개선 기술 개발, LG전자, 2021.12.01~2023.11.30
- 멀티 V 기계학습을 이용한 시스템에어컨 냉매량 예측, LG전자, 2022.01.01~2022.12.31
- 데이터 기반의 디지털 통합 설계 방법 연구, 한국연구재단, 2021.03.01~2024.02.28
- 친환경 스마트 선박 부품 기술 혁신 센터(RLRC) : 스마트 센서 시스템을 활용한 선박용 핵심부품의 통합 건전성 예측 및 관리 플랫폼 개발, 2020.07.01~2027.02.28

✦ 지도교수 : 노유정

통합기계관 615호, yoonoh@pusan.ac.kr

연락처 : (051) 510-2308

홈페이지 : <http://romana0323.wixsite.com/rbdo>



CONTENTS



01 Surrogate Modeling & Optimization

- Data augmentation for accurate modeling
- Multi-objective optimization

02 Data Driven Analysis

- Fault Detection and diagnosis
- Prognostics

03 Digital Twin Design

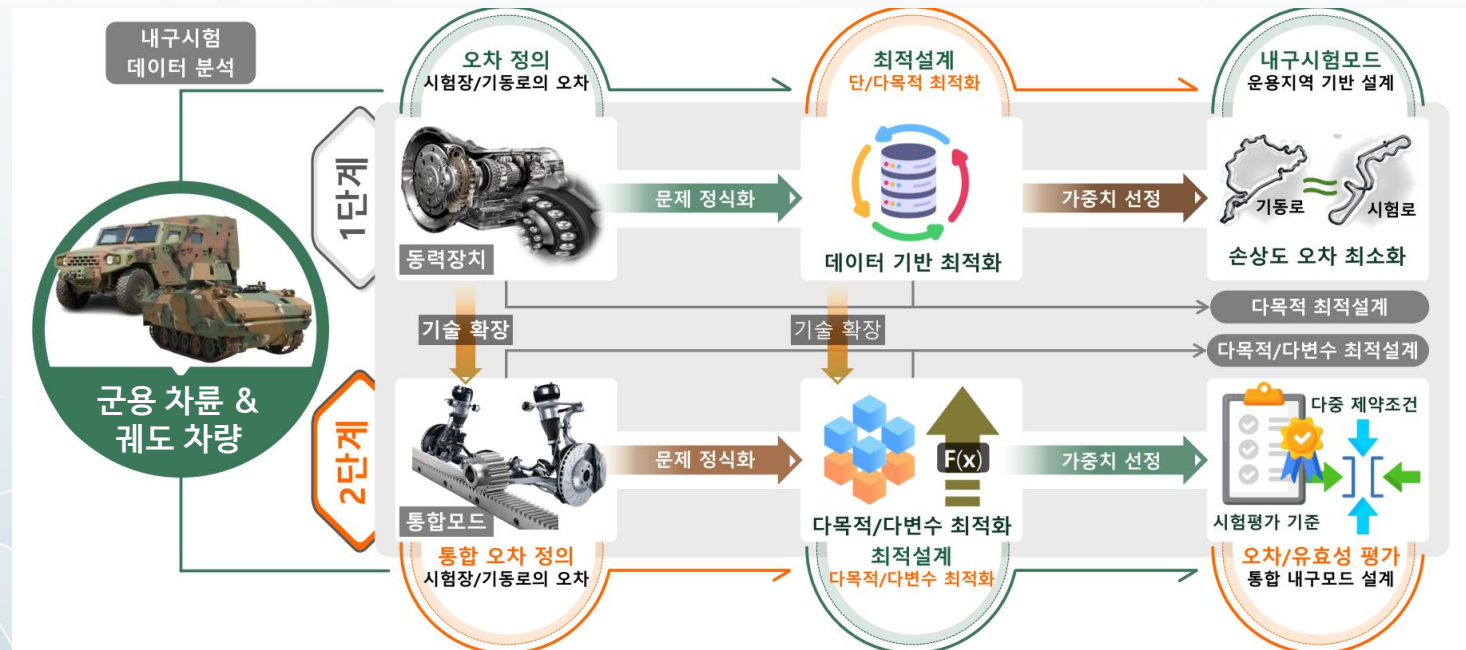
- Digital twin for A/C cycle simulation model
- Digital twin for refrigerator

군용 차량 내구 시험 최적화 (Optimization of Endurance Test for Military Vehicles, ADD)

- 다목적 최적화 기법을 활용한 군용 차량의 내구 시험 최적화

기동로와 내구 시험로 간 내구 손상도 오차를 최소화 하는 노면 종류 및 속도를 선정하는 다목적 최적화 알고리즘(Multi-objective optimization) 개발

- 연구내용: 물성이 다른 샤시와 동력장치의 내구 손상로(6목적함수)의 파레토 최적해 도출 후, 단계적 의사결정 지원체계 개발

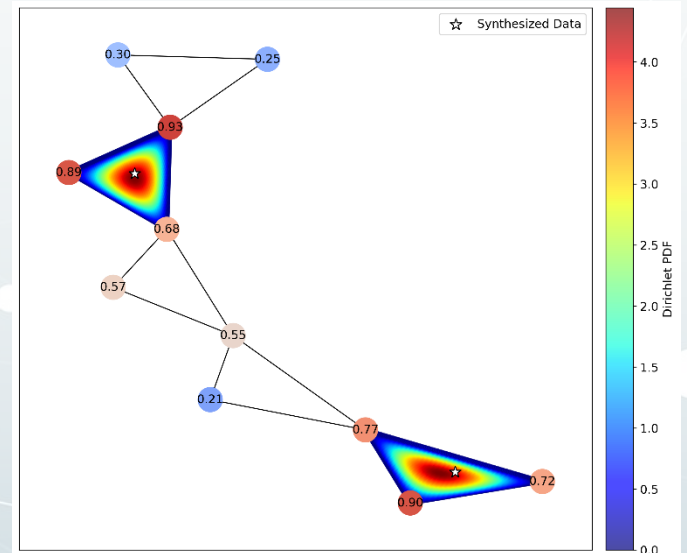
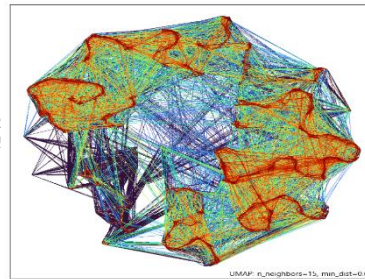
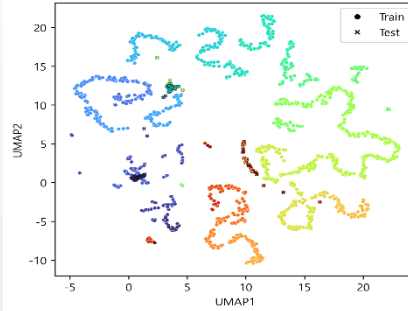
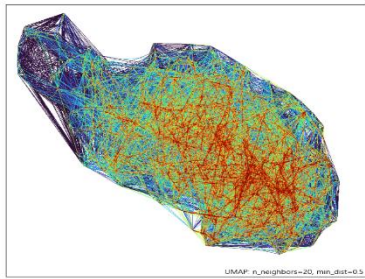
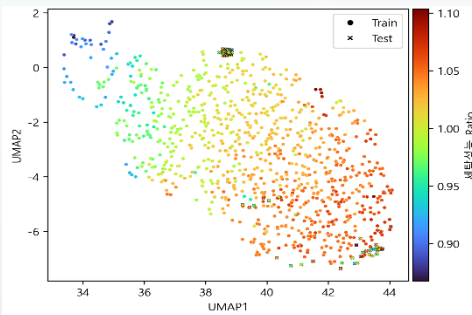


세탁 성능 예측 정확도 개선을 위한 데이터 증강 (Data augmentation for improving washing performance prediction, LG)

- 데이터 증강을 활용한 세탁 성능 예측 정확도 개선

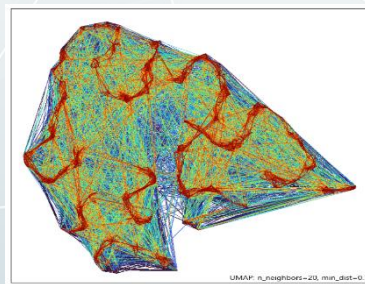
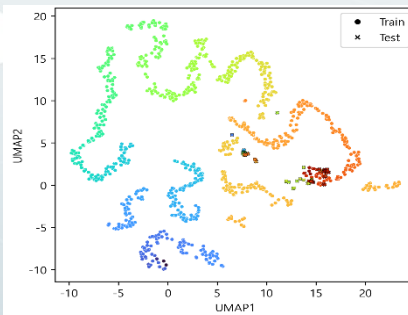
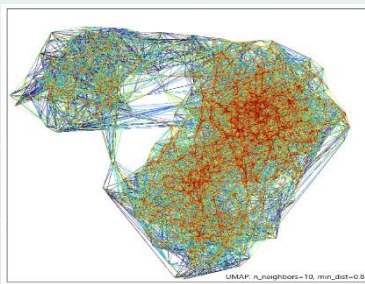
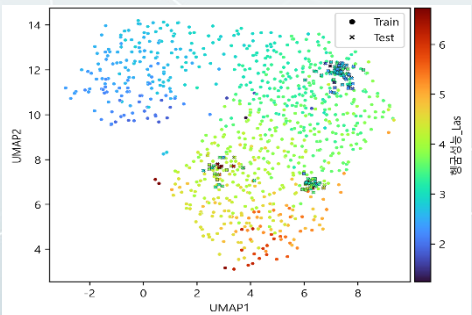
세탁 성능 데이터 부족 및 불균형 문제를 완화하기 위해 오차가 큰 영역에 데이터를 증강하여 예측 정확도 개선

- 연구내용: UMAP을 통해 데이터의 고차원 위상 구조를 저차원 구조 (fuzzy simplicial complex)로 형성한 후, k-NN을 이용해 오차가 큰 영역에 합성 데이터를 생성.



세탁성능

소비전력량



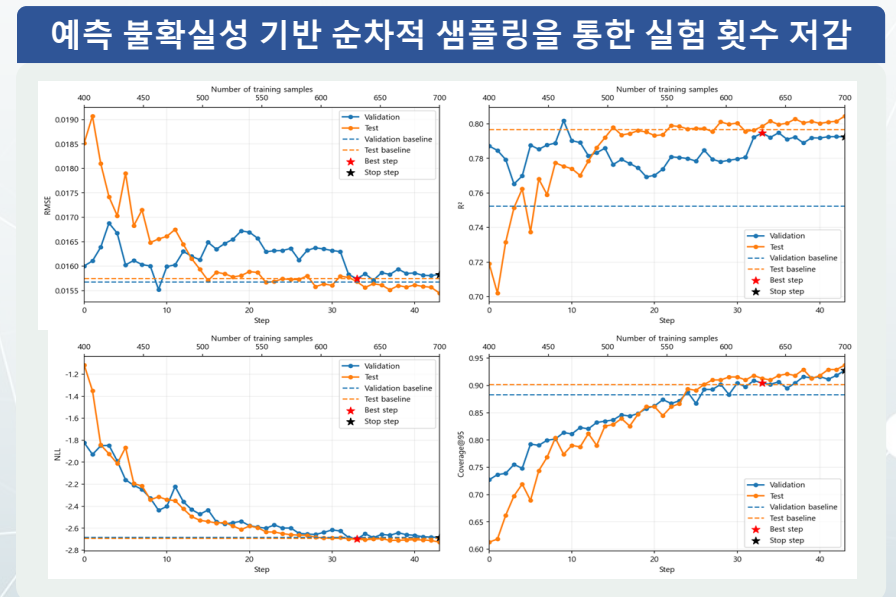
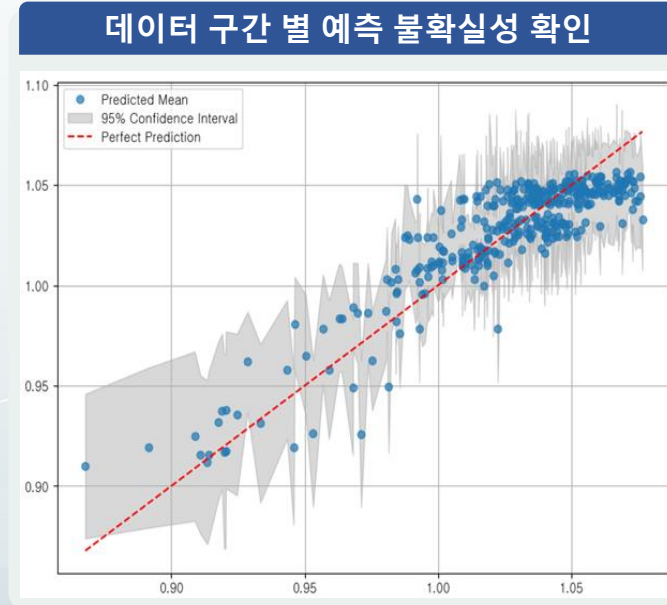
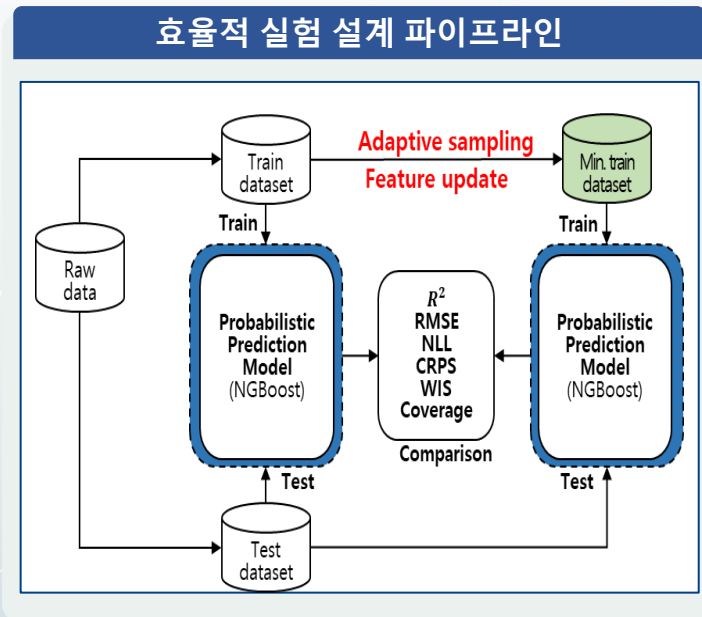
평균소모

탈수성능

불확실성 정량화를 활용한 효율적 실험 설계 기법 개발 (Efficient Design of Experiments via Uncertainty Quantification)

불확실성 정량화를 활용한 효율적 실험 설계 기법 개발

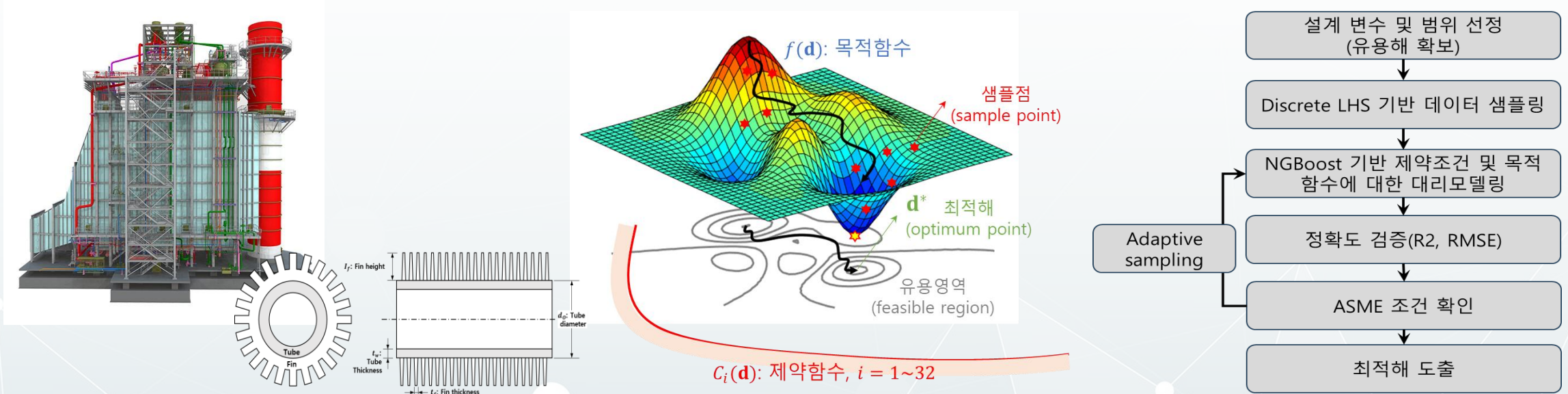
- 예측 불확실성이 높은 설계 영역에 실험 데이터를 순차적으로 수집하여 시스템 개발에 필요한 세탁 실험 최소화
- 연구내용:** 음의 로그 우도 손실(NLL loss)과 데이터 간의 정규 거리를 통해 예측 불확실성과 데이터 다양성을 동시에 고려한 효율적 실험 설계 기법을 개발하여 예측 모델의 일반화 성능 개선 및 실험 횟수 저감



AI 기반 HRSG 성능설계 추천 알고리즘 개발

(Development of an AI-Based Performance Design Recommendation Algorithm for HRSGs, BHI)

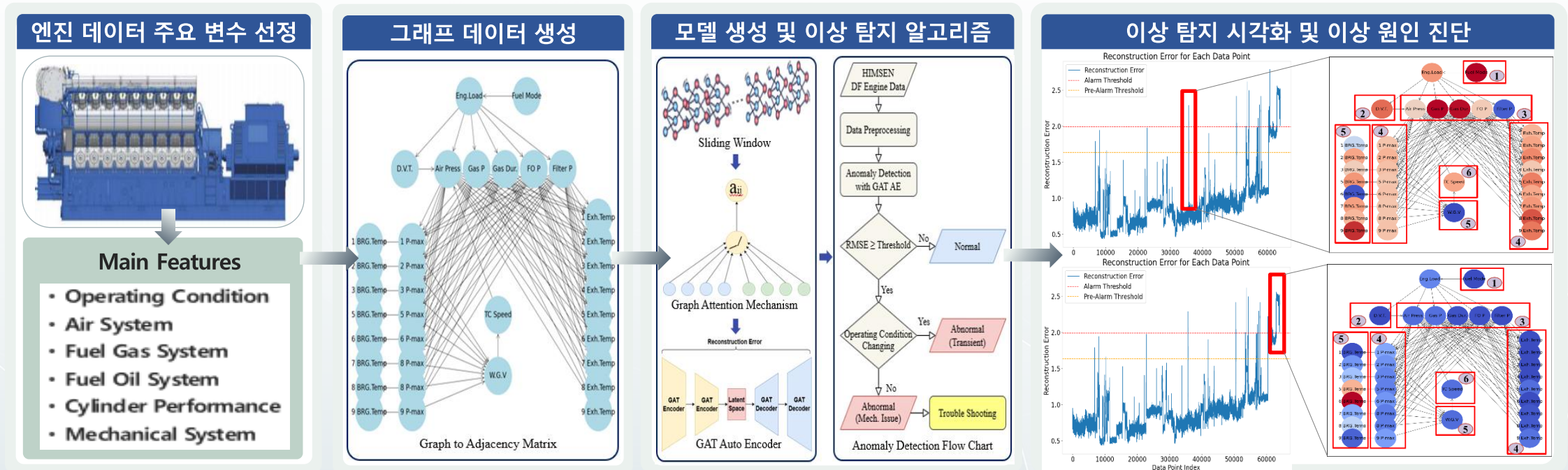
- Adaptive sampling 기법을 활용한 복합화력플랜트의 열정산(Heat & Balance) 조건을 만족하는 열회수 증기발생기 (Heat Recovery Steam Generator, HRSG) 중량 최적화 알고리즘 개발



- 설계변수 · 제약조건 정의 및 초기 유용해 확보 - 25개 Bank의 fin height · fin density를 설계변수로 설정하고 중량 최소화 문제 정의
- NGBoost 기반 surrogate 모델 구축 및 유용영역 식별 - Discrete LHS 샘플링 후 목적함수 · 제약조건 대리모델 학습 및 유용영역 도출
- Adaptive sampling을 통한 정밀 탐색 및 최적 설계 추천 - 제약 경계 및 불확실성 영역 집중 보강을 통해 중량 최소 HRSG 설계안 도출

선박 엔진 고장 진단 (Fault diagnosis of marine engines, RLRC)

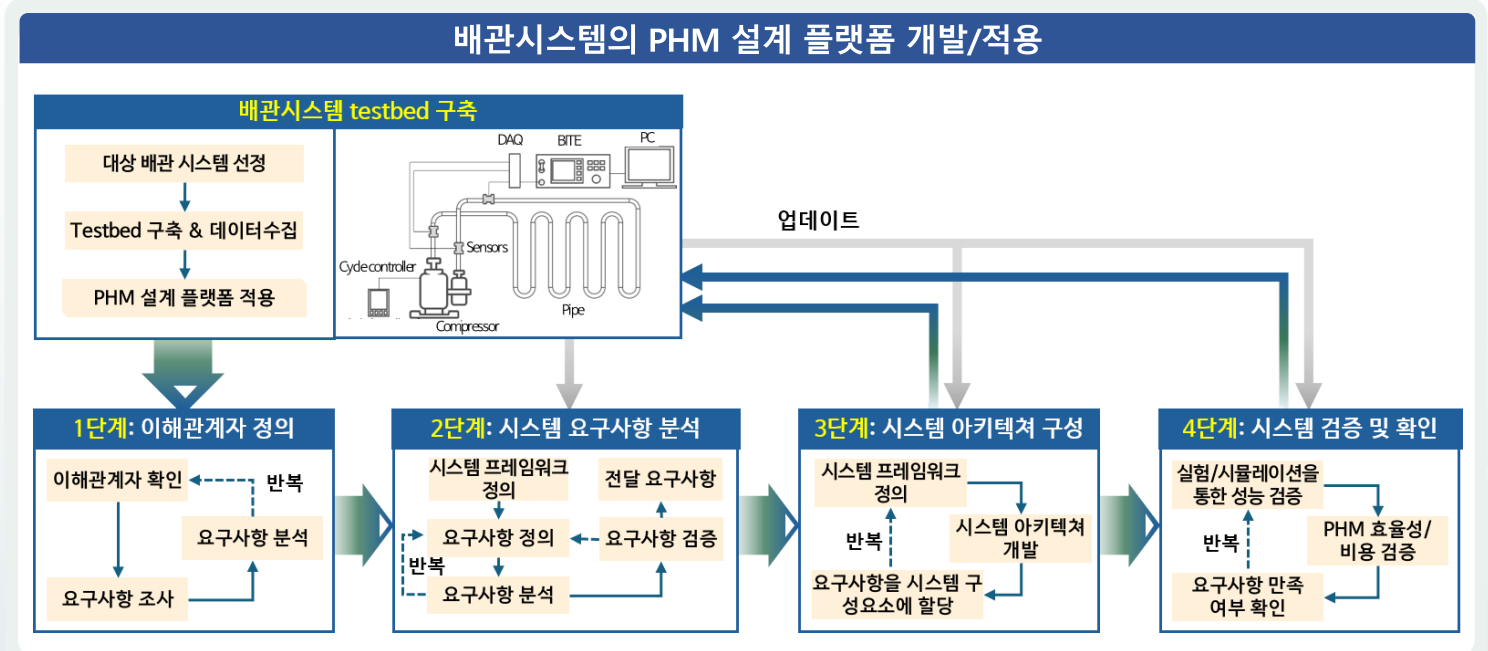
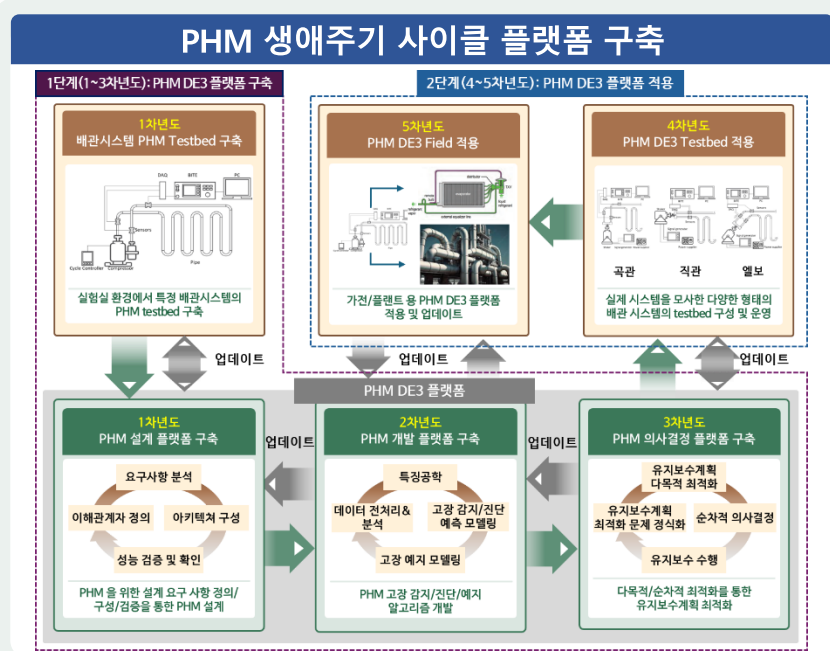
- Graph Attention Network(GAT) 이용한 힘센 DF(이중연료) 엔진의 이상 탐지 오토 인코더 모델 개발: 각 센서의 중요도를 학습하는 Attention Mechanism을 활용하여, 노드 간 상호작용을 반영하고 센서 연결성을 고려한 이상 탐지 및 고장 진단



- 엔진 특성에 가장 큰 영향을 미치는 **ENG. LOAD**와 **FUEL MODE** 그리고 **DUAL VALVE TIMING** 작동 여부를 주요 상위 노드로 지정하고, 변수 선정 및 그래프 데이터 생성
- Sliding Window Method** 를 이용하여 시간적 개연성을 확보하고 **GRAPH ATTENTION NETWORK** 오토인코더를 생성해 센서 관계성을 고려한 이상 탐지 모델 개발
- 정상 상태와 비정상 상태를 탐지하고 비정상 데이터에 대해 노드 연결 순서를 고려한 영향 관계도를 이용해 **Transient**와 **실제 Anomaly**를 구분하고 조기 경보를 제공.

배관 시스템 PHM 플랫폼 구축 (PHM platform development for piping systems, NRF)

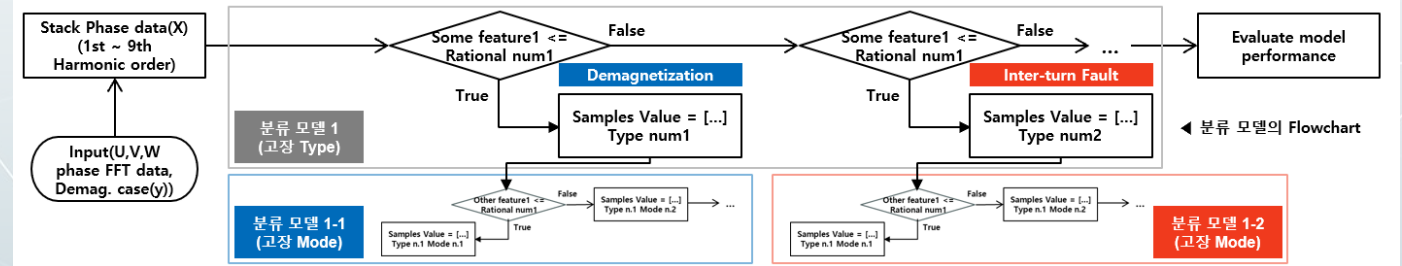
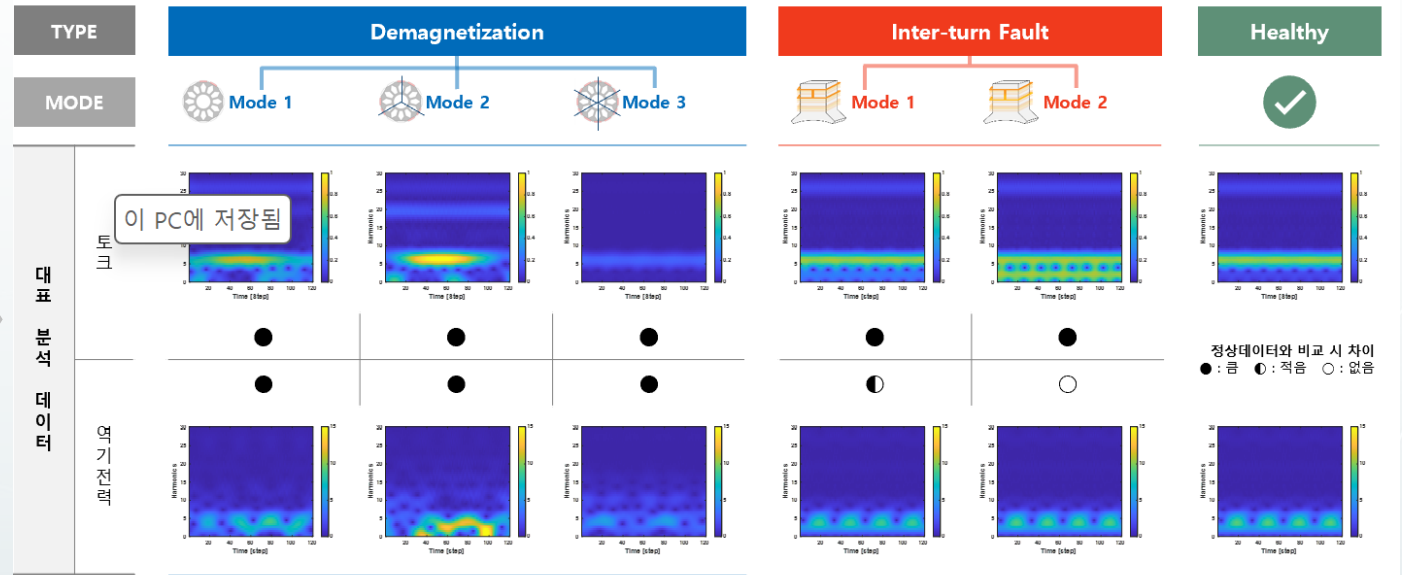
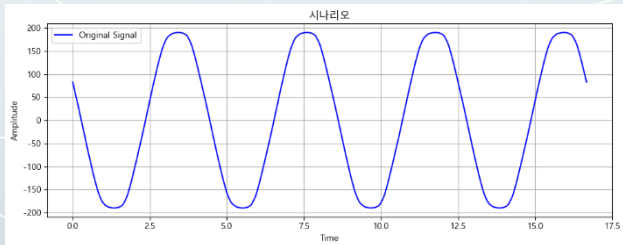
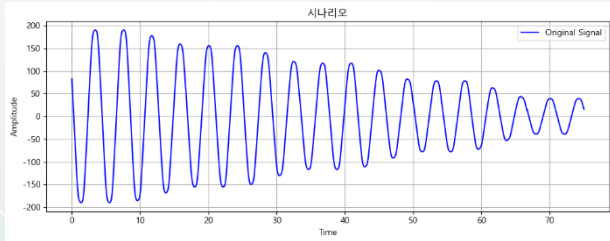
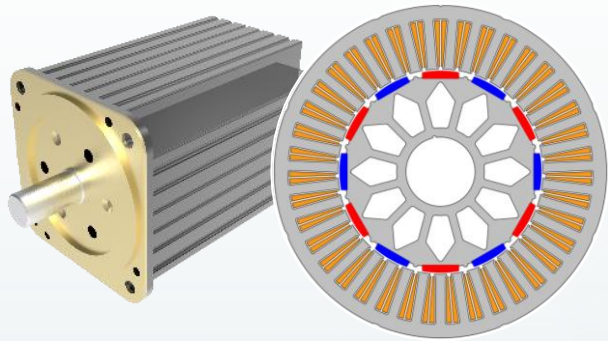
- 배관 시스템의 PHM 생애주기 사이클(설계-개발-의사결정) 구축: 범용성이 높은 배관시스템을 대상으로 PHM 플랫폼 구축 및 적용



- 기계 및 선박 기자재의 공통 대상인 배관시스템의 PHM Testbed와 DB 구축을 통한 PHM 핵심 기술 개발을 위한 생태계 구성
- 실제 고장 데이터를 이용한 PHM 플랫폼의 실증 및 정확성/정밀도/효율성 향상 + 플로리다 대학 김남호 교수와 글로벌 PHM 생태계 구축을 위한 국제 협업 지속
- 배관시스템을 통한 PHM 기반의 설계(Design)-개발(Development)-의사결정(Decision Making)의 PHM DE3 플랫폼 개발

데이터 기반 고장 예측 관리 모델 개발 (Development of a Data-Driven Fault Prognostics and Management Model, HAS)

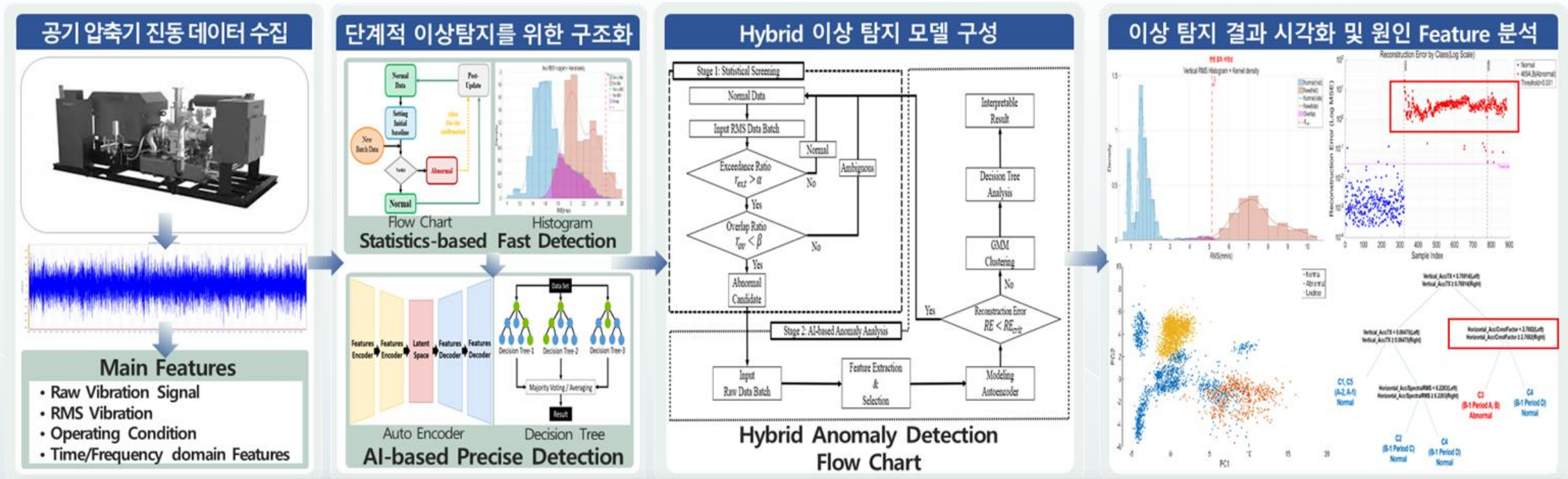
- 모터의 고장 진단 모델 개발: 모터의 시뮬레이션 데이터를 활용해 고장을 분류(정상/감자/인터턴/베어링결함)하고, 각 고장 모드에서의 심각도를 추정하여 창정비 전 모터의 상태를 미리 점검 \Rightarrow 불필요한 점검 감소



인공지능 기반 공기압축기 이상 탐지 모델 개발

(Development of AI-based Fault Detection Model for Air Compressors, 삼성중공업)

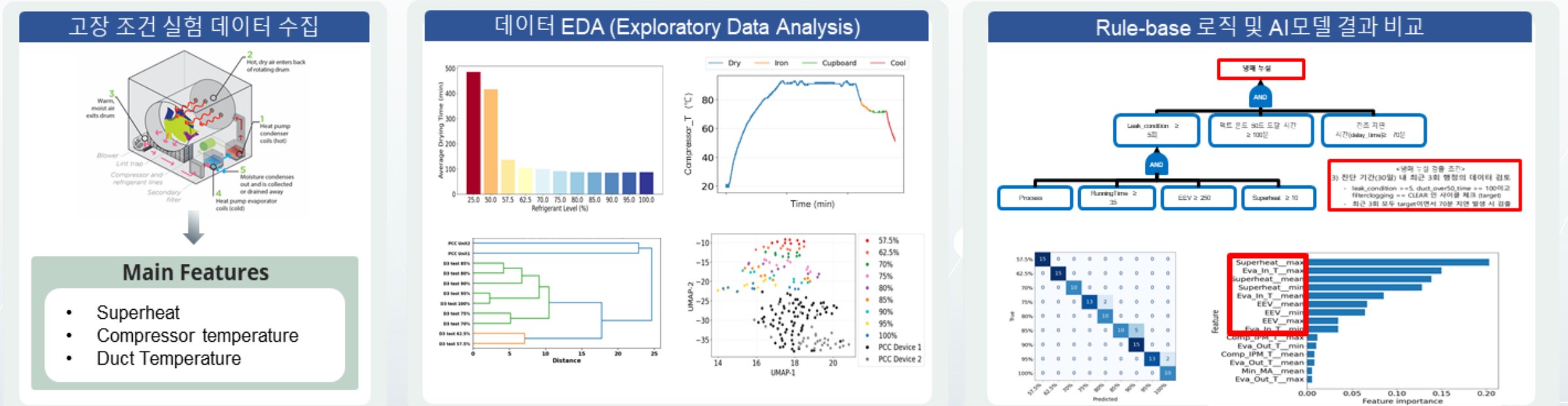
- 선박 야드용 공기 압축기 개발: 야드에 설치된 18대의 터보 공기 압축기 데이터를 활용해 데이터 기반의 고장 감지 알고리즘 개발 ⇒ 불필요한 점검 및 유지보수 비용 감소



- 고장 발생률은 낮지만 다양한 환경 조건에서 운용, 진동의 RMS 임계 값을 동적으로 업데이트 필요 → 망각계수(Forgetting Coefficient)로 지속적 갱신
- 다양한 고장 모드의 분석 및 탐지 필요 → 특징 생성(시간/주파수 도메인)과 AE 이상탐지 모델 및 의사결정나무(고장 모드 분석)의 결합
- 통계 기반의 신속한 이상 탐지와 AI 기반의 정밀 원인 분석 요구 → 통계/AI 기반의 하이브리드 이상 탐지 모델 개발

히트펌프 사이클 고장 진단 및 예지 기술 개발 (Development of Fault Diagnosis and Prognosis Technologies for Heat Pump Cycles, LG)

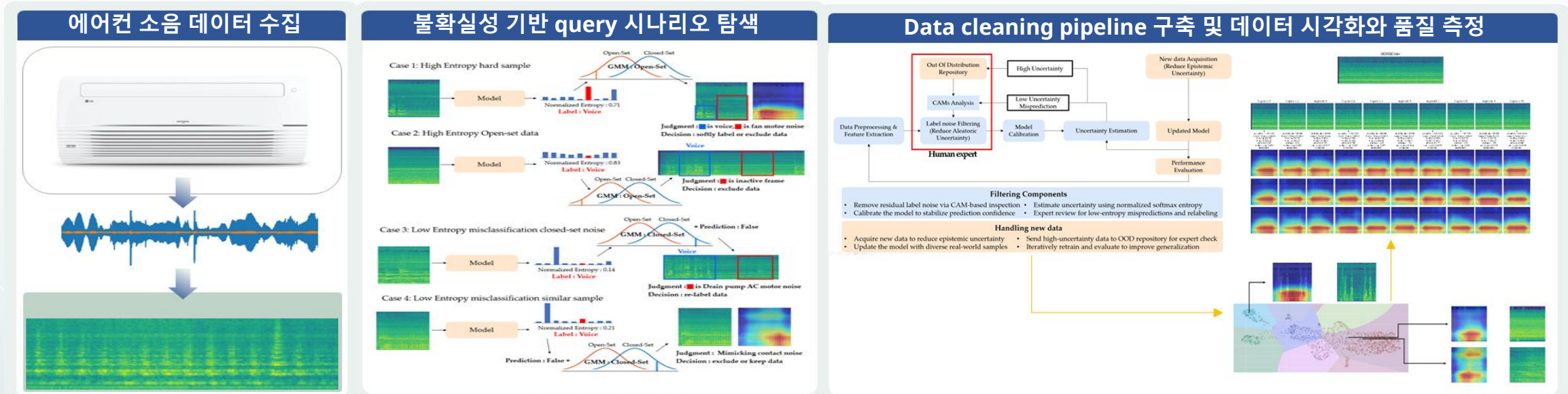
- 건조기 내 히트펌프의 고장 모드 진단 및 예지 기술 개발 : 건조기의 복합 고장 조건 실험 데이터를 바탕으로 높은 정확도의 현장 고장 기기 진단 모델 개발 및 고장 예지 방법론 도출
⇒ 고장을 미리 예측하고 예방하는 예지 보전(Predictive Maintenance)을 통한 유지 보수 비용 절감



- 주요 고장 모드인 냉매 누설, 필터 막힘 고장 실험의 다변량 시계열 데이터 수집 → 각 고장 모드별로 고장 진단에 유의한 변수 및 특징 파악 및 추출
- 특징 공학을 통한 주요 특징 기반 모델 학습을 통해 정밀한 단위의 냉매 누설 분류 → 기존 Rule 기반 로직 방법 대비 모델 성능 향상
- 실제 고객 데이터는 실험데이터에 비해 환경, 제어, 모델 조건이 다양하여 큰 변동성 존재 → 실험 데이터 기반 모델에 도메인 일반화 적용

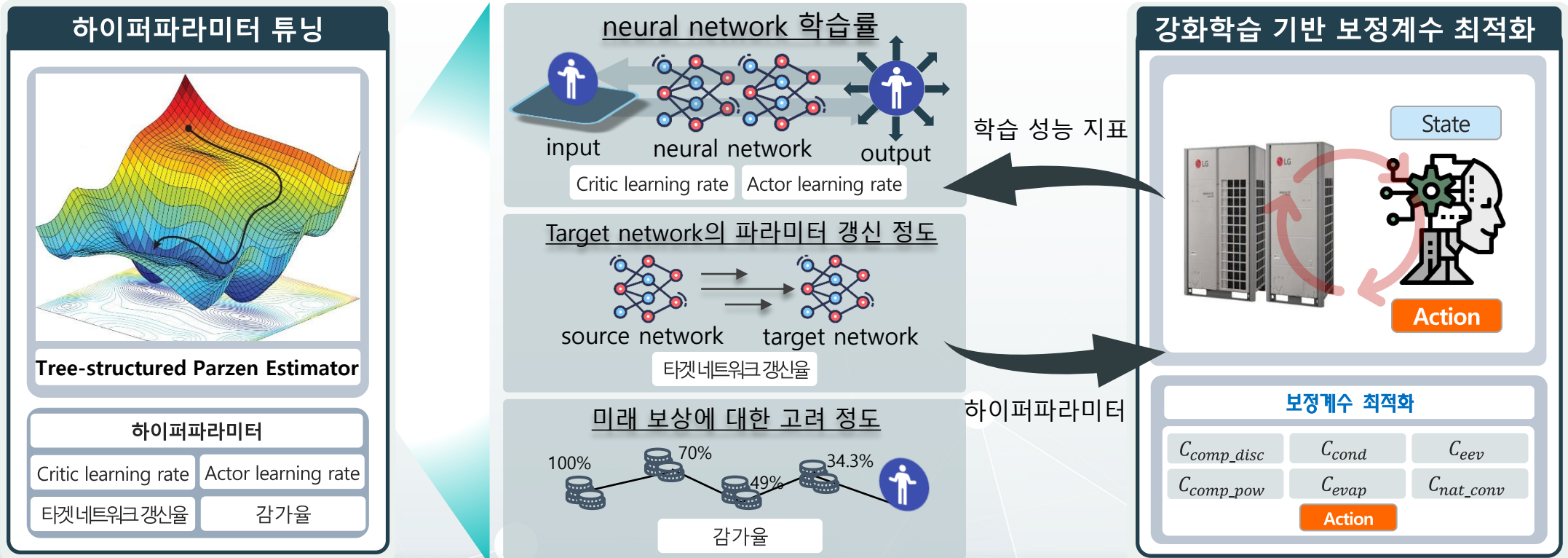
에어솔루션 AI 소음진단 모델 MLOps (Machine Learning Operations) 개발 (Development of Acoustic Fault Diagnosis Model with MLOps for Air Solution, LG)

- 에어컨 고장 진단 MLOps 개발: 소음 유형을 구분하는데 중요한 신호만 추출할 수 있는 강건한 신호 처리 기법을 개발하고, 정상 및 고장 데이터 간 편차 분석을 통해 고장 특징을 수치/이미지로 추출한 후 이를 소음 분류 모델의 학습 데이터로 활용하여 높은 분류 정확도를 갖는 소음 분류 모델 개발



- A/S 현장에서 수집되는 소음 데이터는 수집 주제 · 환경 · 제품 구성에 따라 품질 편차가 크고 분포가 지속적으로 변함 → 운영 단계에서의 데이터 대응 전략
- 고장 유형과 제품 구조가 확장됨에 따라 기존 학습 데이터로는 커버리지 한계 발생 → 신규 · 비정형 데이터의 유입을 고려한 진단 대상 확장 및 점진적 학습 시나리오 설계
- 모델 성능 저하의 원인을 모델이 아닌 데이터 관점에서 추적, 관리 → 실제 서비스 환경을 반영한 운영 중심 AI 소음 진단 MLOps 프레임워크 제시

데이터 기반 모델 정확도 자동 개선 기술 개발 (Digital twin model for air conditioner cycle models, LG)



- ✓ 기존 시뮬레이션 모델의 최적화와 예측 이원화 모델을 일원화 강화학습 모델 개발 → 온디바이스 AI 모델 개발을 위해 현장 맞춤형 경량화 AI 모델 개발 가능성 향상
- ✓ 컨볼루션 기반의 State 입력으로 내부의 다양한 운전 조건 및 외부의 실시간 환경 조건 변화를 학습 할 수 있는 강화학습 프레임 워크 구축
- ✓ 하이퍼파라미터 튜닝을 통해 로컬 최적점(Local optimum)이 많은 문제에서 로컬화 해결을 통한 전역 최적화(Global optimization) 구현

냉장고 고내 상태 예측을 위한 CFD-AI 융합 해석기술 개발

(Development of a CFD-AI Integrated Analysis Framework for Predicting Internal Conditions of Refrigerators, LG)

- 3D 해석 기반 Data Reservoir 및 AI 예측 모델 구축: 냉장고 제어 사이클에 따른 비정상(transient) 운전 조건을 반영한 CFD해석 데이터를 AI 학습 모델에 적합한 형태로 DB화하여 Data Reservoir 구축 후, GNN, PointNet, DeepONet 모델을 이용한 온도장 예측 모델 개발 ⇒ 1D-3D Co-simulation의 계산 비용 및 운영 효율성 확보

