

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, 이를 기반으로 한 설계 최적화에 관한 연구를 수행한다. 데이터 분석을 위한 방법으로는 통계분석, 머신러닝 및 딥러닝 기술, 신뢰성 분석, 통계 모델링 기법이 사용되며, 설계 최적화를 위한 방법으로는 전산해석, 대리모델개발, 신뢰성 기반 최적설계, 디지털 트윈 기반 설계 등의 기법이 주로 연구되고 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) 석사과정: 6명, 석박통합과정: 1명, 박사과정 : 1명, 박사후연구원 : 1명  
기간제) 석사: 2명, 박사: 6명  
졸업생 진로) LG전자, LG 에너지솔루션, 한국조선해양, 한국전자기술연구원, 현대로템 등

## ✦ 최근 연구 과제

- 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
- 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
- 데이터 value-up을 위한 스마트 데이터 추출 기법, 현대글로벌서비스, 2019.09.01~2019.12.31

## ✦ 지도교수 : 노유정

통합기계관 615호, yoonoh@pusan.ac.kr  
연락처 : (051) 510-2308  
홈페이지 : <http://romana0323.wixsite.com/rbdo>



# CONTENTS



## 01 Data Driven Optimization

- Ship Route Optimization
- Ship collision avoidance path planning

## 02 Data Driven Analysis

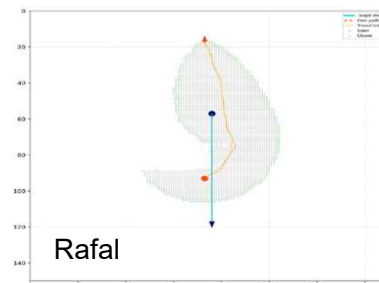
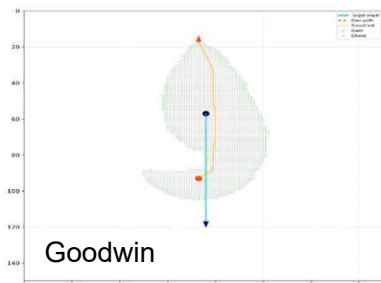
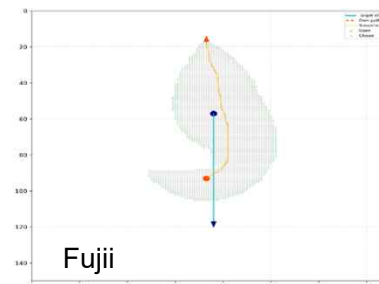
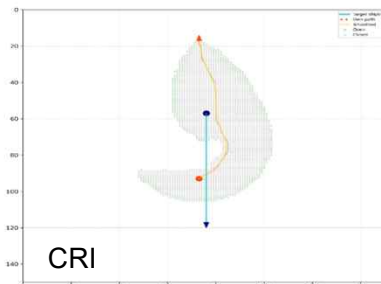
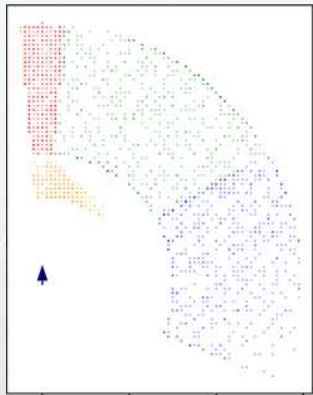
- Fault Detection and diagnosis
- Prognostics

## 03 Digital Twin Design

- Smart Pad Design
- Digital twin for A/C cycle simulation model

# 경제 운항을 고려한 선박 충돌 회피 알고리즘 개발 (Ship collision avoidance algorithm, KIAT & NRF)

- 선박 운항 경제성과 충돌 위험성을 고려한 path planning 알고리즘 개발  
개선된 A\* 알고리즘과 CORLEG rule 을 이용하여 다양한 조우 상황을 고려한 충돌 회피 알고리즘 개발
- 연구내용: CRI 기반 모델과 기존의 ship domain(Fujii, Goodwin, Rafal) 모델과의 비교 연구



		CRI	Goodwin	Fujii	Szlapczynski
Head-on	Max. CRI	0.57	0.92	0.81	0.55
	Distance	11.67	11.53	11.62	12.45
Fine-Broad crossing	Max. CRI	0.65	0.93	0.85	0.30
	Distance	12.20	12.38	12.43	13.34
Conv. crossing	Max. CRI	0.62	0.27	0.22	0.21
	Distance	11.67	11.96	12.06	13.54
Overtaking	Max. CRI	0.63	0.94	0.95	0.57
	Distance	11.50	11.62	11.72	12.62

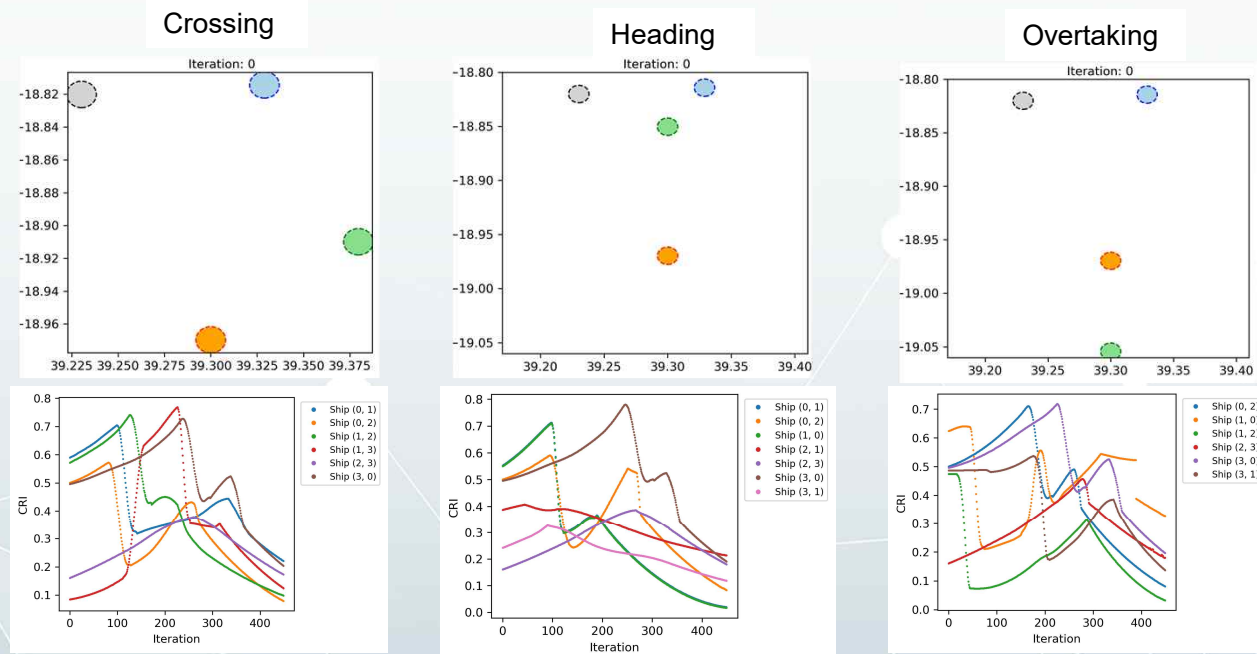


# 다중 선박 충돌 회피 알고리즘 개발 (Multi-ship collision avoidance algorithm, GC)

- 항적 기반 다중 선박 충돌 회피 알고리즘 개발

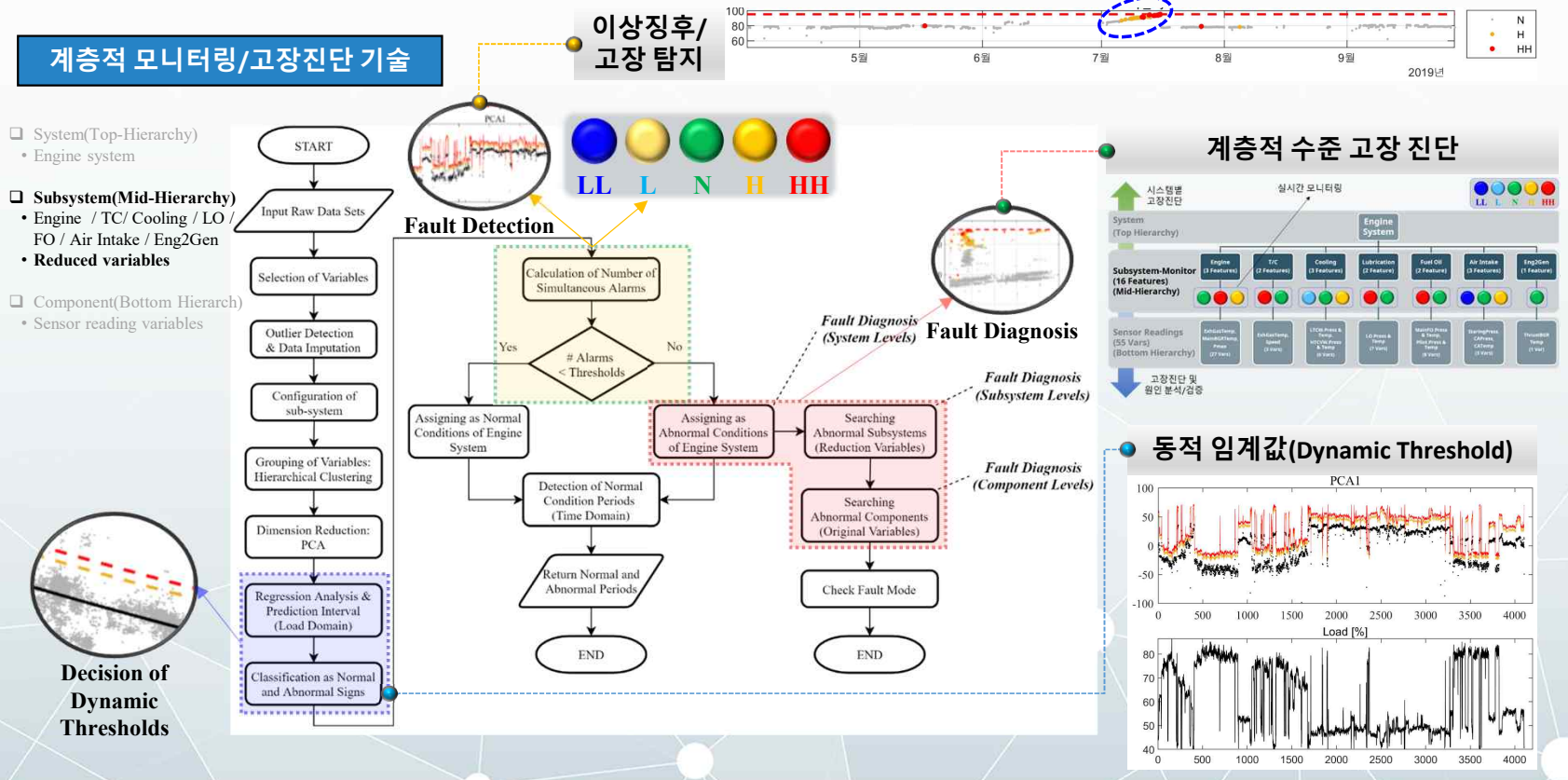
CORLEG rule 을 이용하여 다양한 조우 상황을 고려한 다중 선박의 충돌 회피 알고리즘 개발

- 연구내용: Fuzzy 이론 기반의 충돌 위험 지수 개발, 노모토(Nomoto) 모델 기반 충돌 회피 기동성 계산, 다중 선박 충돌 시나리오 기반 충돌 회피 알고리즘 개발



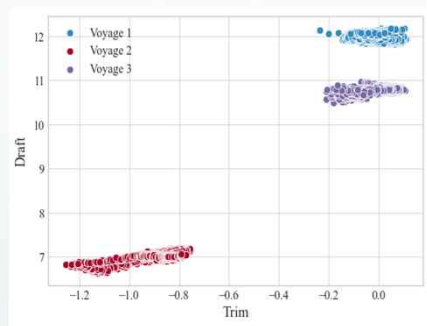
# 선박 부품 PHM 플랫폼 개발 (Fault diagnosis of ship components and systems, NRF & HGS)

- 부품/시스템 고장 탐지/진단 기술: 계층적 수준을 통한 부품/서브시스템/시스템의 통합적 고장 탐지 및 진단 알고리즘 개발
- 연구 내용 : 이상치 탐지, 군집화(최적 군집 모델 도출) 및 차원축소를 이용한 회귀모델(최적 모델 평가) 개발

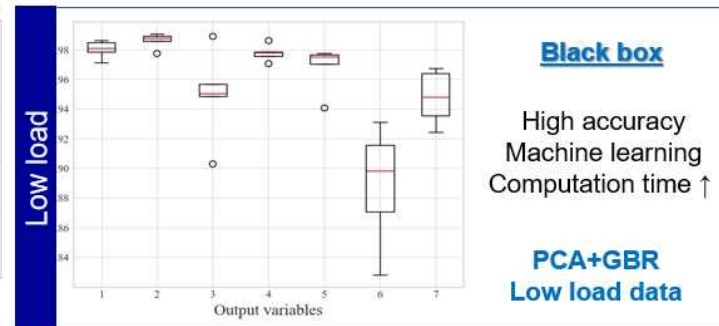
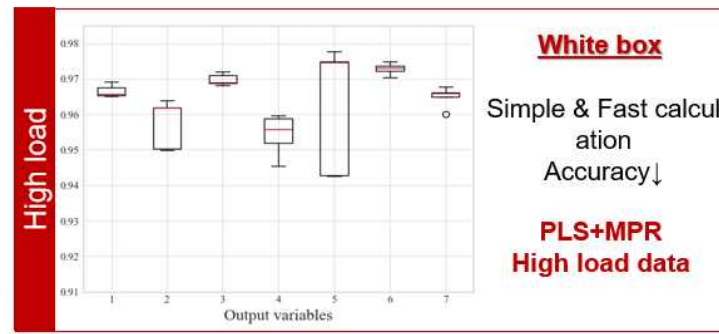
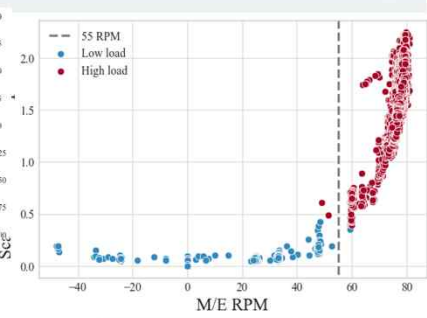


# 선박 부품 PHM 플랫폼 개발 (Fault detection and diagnosis of ship components and systems, NRF)

- 선박 엔진 이상 감지 : Grey box 접근법을 이용한 메인 엔진의 성능 예측
- 연구 내용 : 다양한 환경변수에 영향을 받는 저부하 조건은 블랙박스(PCA+GBR) 모델로, 부하 의존적인 고부하 조건은 화이트박스(PLS+MPR) 모델을 이용해 선박 성능 예측 정확도와 효율성 개선



Variable	1	2	3	4	5	6	7
T/C LO inlet press	0.36	0.21	0.26	0.46	0.44	0.48	0.50
Jacket cooling water(CW) outlet temp	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
Cylinder cover JCW outlet temp	-0.21	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
T/C air intake temp	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
Scavenging air receiver inlet press	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
T/C EG inlet temp	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
Cylinder EG outlet temp	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
T/C RPM	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
ME RPM	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
Cylinder max press	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
T/C LO outlet temp	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
Cylinder PCO outlet temp	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
Air cooler cooling fresh water inlet press	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
Main LO inlet temp	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50
Main LO inlet press	0.29	0.12	0.41	0.26	0.50	0.50	0.50



+

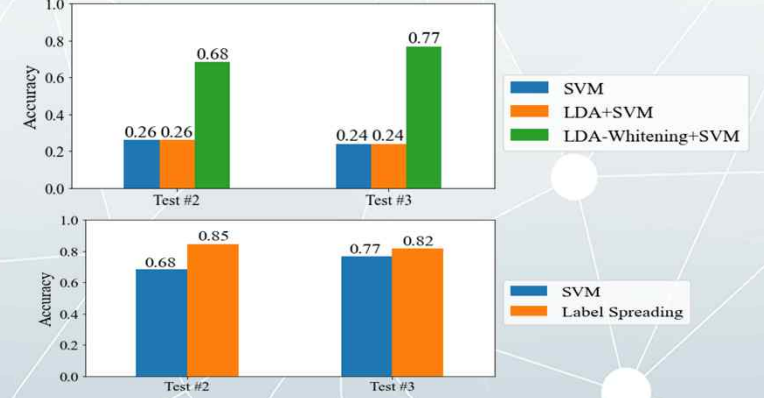
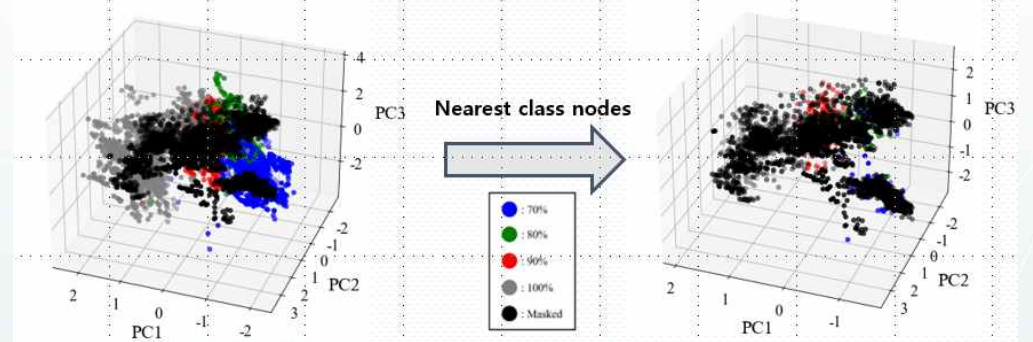
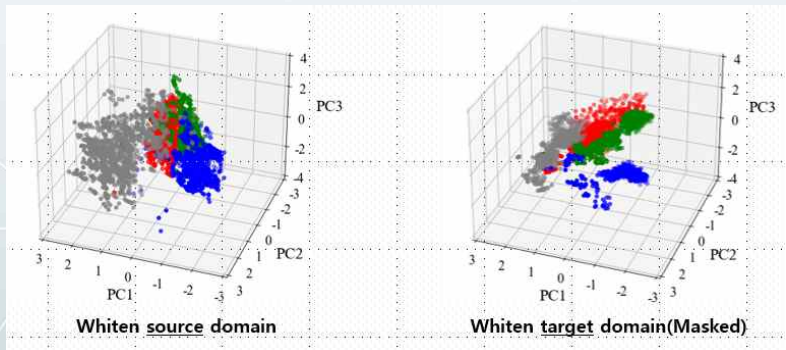
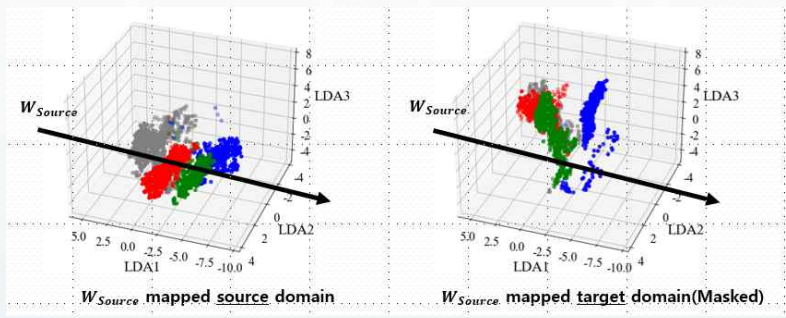
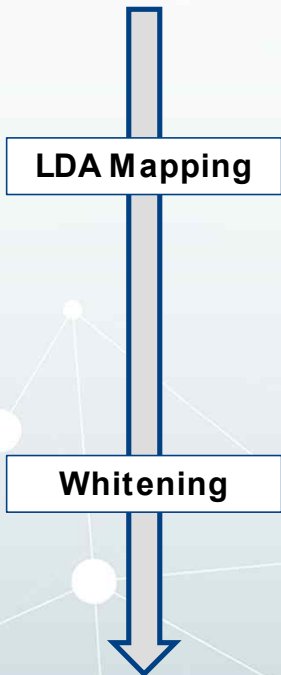
**Gray box**

No	Output Var.	$R^2_{adj}$ [%]
1	Cylinder EG outlet temp.	99.9
2	T/C EG inlet temp.	99.94
3	T/C LO outlet temp.	99.53
4	Cylinder PCO outlet temp.	99.9
5	T/C RPM	99.9
6	Scav. air receiver inlet press.	99.52
7	Cylinder max press.	99.94

MPR: Multivariate Polynomial Regression  
GBR: Gradient Boost Regressor

# 냉매량 예측 모델 개발 (Development of refrigerant prediction model, LG 전자)

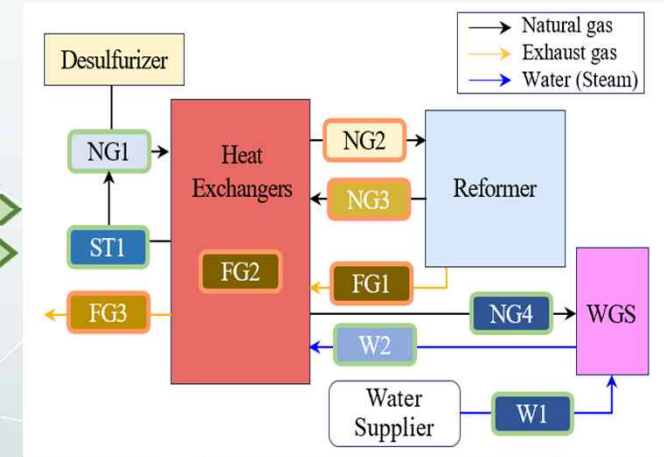
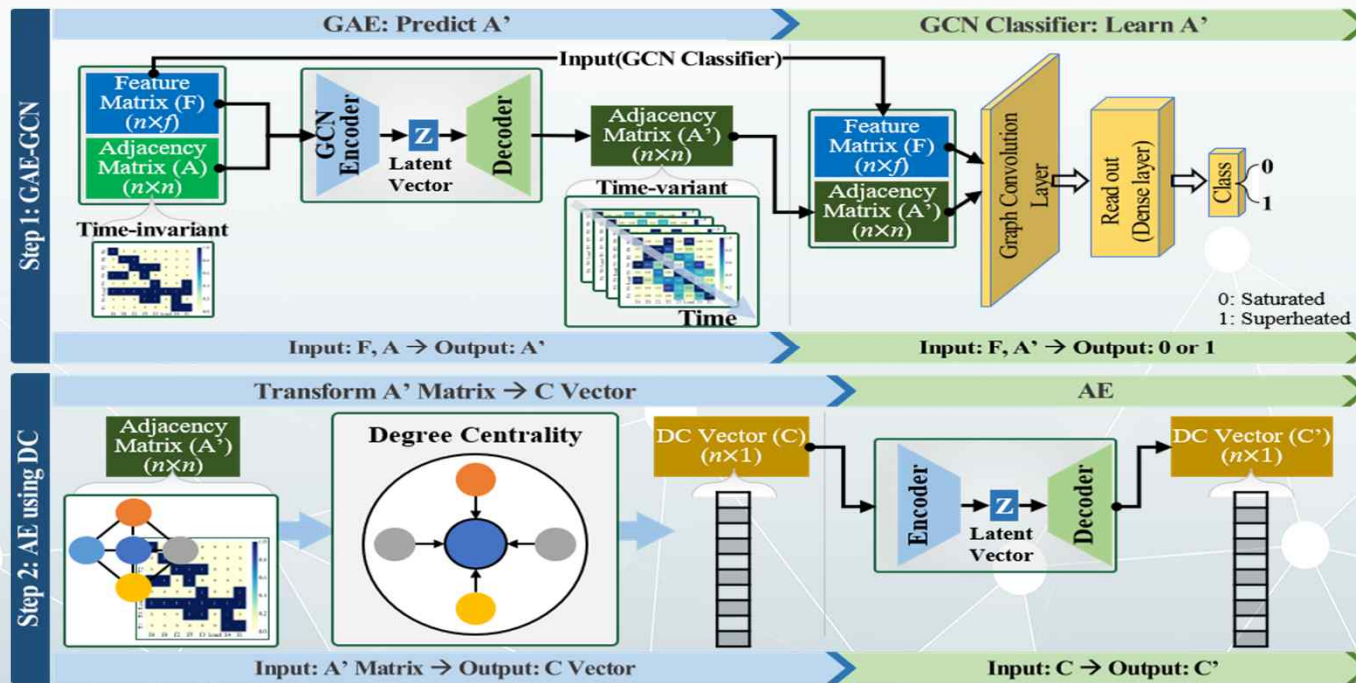
- 시스템 에어컨 냉매 충전량 예측 AI 모델 개발
  - 라벨이 있는 소스도메인 데이터를 기반으로 라벨이 없는 타겟데이터를 이용해 냉매 충전량 예측 모델의 강건성 확보
- 연구 내용: 도메인 적응 기법의 적용에 따른 결과 비교, 레이블 전파를 활용한 준-지도 학습





# 수소 개질기 고장 진단 (Fault diagnosis for hydrogen extractors, RLRC)

- 수소 개질기 고장 감지 및 진단 모델 개발  
수소 개질기 운영 시간에 따른 구성하는 요소 변화 상태를 학습하여 구성 요소의 고장 유무 판단하고 원인을 분석하는 알고리즘 개발.
- 연구 내용: 그래프 오토 인코더를 이용해 포화/과열 상태를 구분한 후, 그래프 컨볼루션 신경망을 이용해 구성 요소 간 변화 패턴 학습을 통해 고장 원인 분석

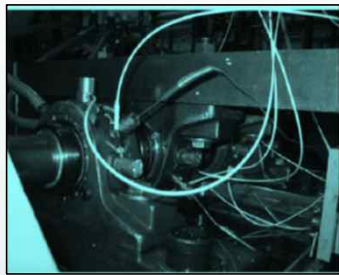


# 베어링 고장 예지 (Prognostics for bearings, NRF)

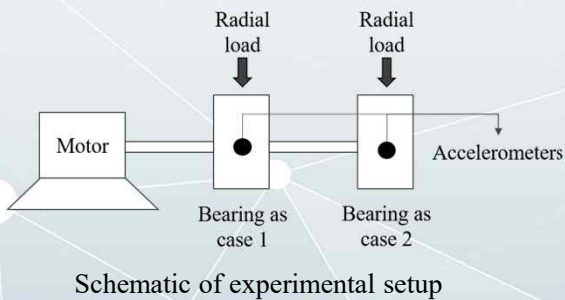
- 베어링 고장 예지의 열화 예측을 위한 건강 지수 개발

다양한 고장 모드를 갖는 베어링의 초기 고장 지점을 정확하게 예측하는 것을 목표로, Spectro-PCA 방법을 통해 베어링 건강 지수를 정량적으로 예측하는 방법을 개발함.

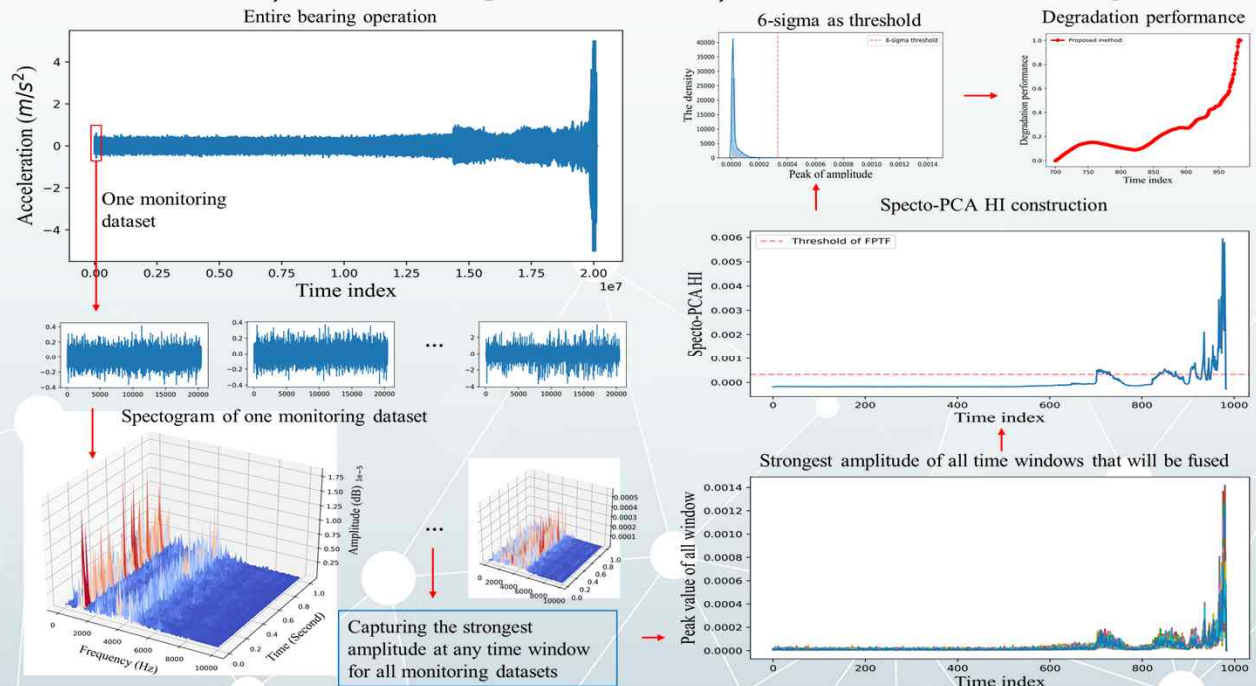
- 연구 내용: Spectrogram 을 이용한 신호 데이터 변환, PCA를 이용한 차원축소, 열화 예측을 위한 건강 지수 모델 개발



The real experiment



Schematic of experimental setup

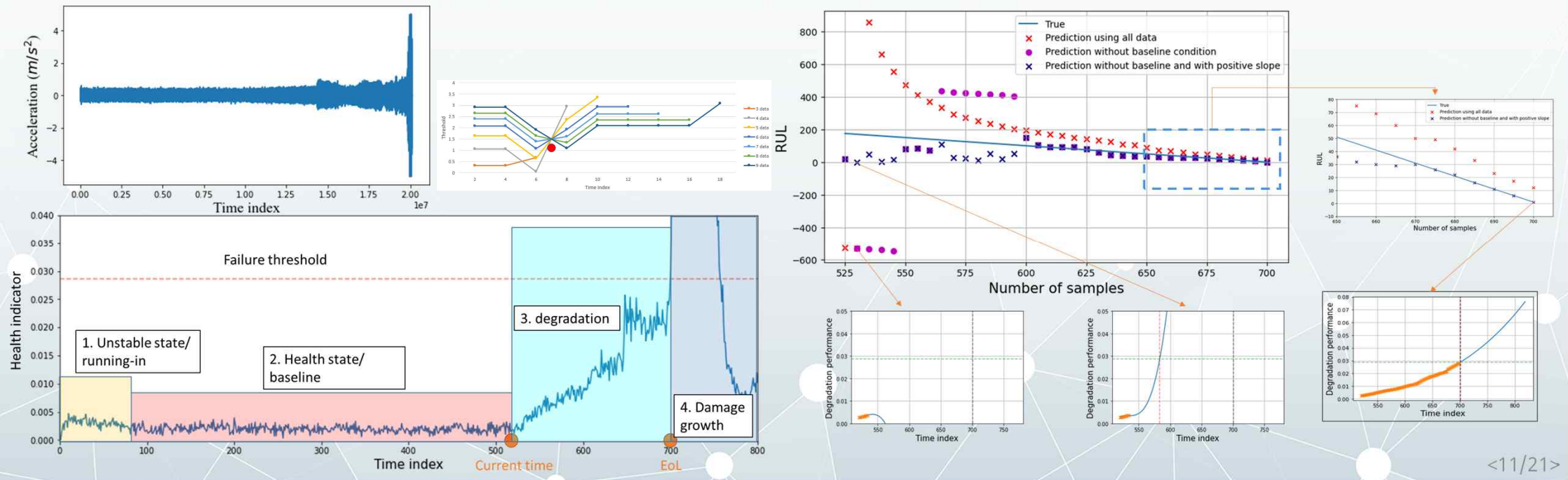


# 베어링 고장 예지 (Prognostics for bearings, NRF)

- 베어링 잔여 수명 예측 모델 개발

Runing-in/Baseline/Degradation 영역을 구분한 후, degradation 영역의 데이터를 기반으로 열화 모델링을 통해 베어링 잔여 수명 예측.

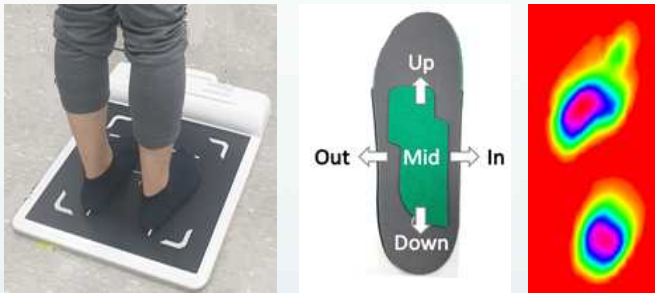
- 연구 내용: 상태지수값의 RMS값 변화 분석을 통한 정상 운전 영역 도출, 다항함수와 Positive slope 을 이용한 monotonic degradation 모델링



# 디지털 트윈 기반 설계 (Digital Twin based Design, NRF)

- 디지털 트윈 기반 개인 맞춤형 인솔 설계 프레임워크 개발: 재료 물성에 대한 디지털 트윈을 통해 실험 결과와 CAE 해석 결과의 유사도를 증진시켜 디지털 트윈 모델을 구축하고 이 모델을 통해 최적화된 제품을 설계하는 프레임워크 개발
- 연구내용: 인솔패드 CAE 해석, 인솔패드의 물성 튜닝, 최대 족부 압력을 최소화하는 부분 인솔 위치 최적화

## ■ 실험 모델 (실제 모델)



## ■ 디지털 트윈 구축 (물성 튜닝)

Find  $x = [x_1, x_2, x_3]$

Minimize  $f(x) = \sum \sqrt{(P_{max}^{real}(x) - P_{max}^{virtual}(x))^2}$

Subject to  $|g(x) = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)} \sum (R_i - V_i)^2| \geq 0.9$

## ■ 최적화

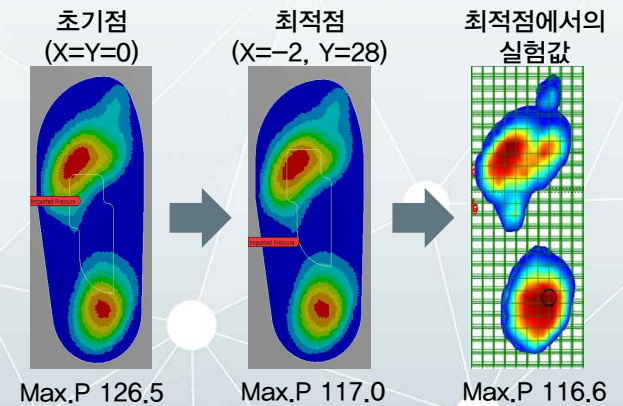
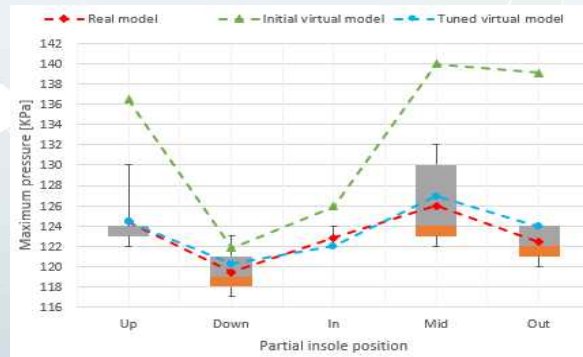
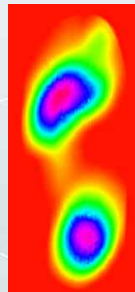
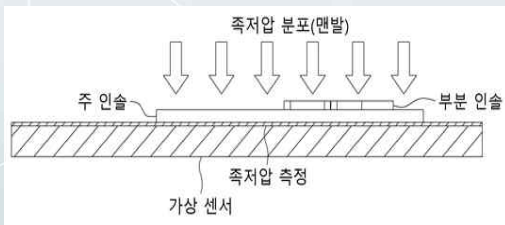
Find  $x, y$

Minimize  $f(x, y) = \max(P(x, y))$

Subject to  $-29 \leq x \leq 29$  [mm]

$-58 \leq y \leq 58$  [mm]

## ■ CAE 모델 (가상 모델)





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

