

MATLAB EXPO

펌프 시스템 건전성 관리를 위한 진단 및 예지 기술

선경호 책임연구원, 한국기계연구원



Introduction

■ KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

- 정부출연연구기관 : 기계분야 전문 연구개발 기관
- 주요기능 : 연구개발 및 기획, 신뢰성 및 시험평가, 기술이전 및 지원
- 인원 : 531명 (연구직 370명, 기술직 69명, 행정직/서무직 92명)

■ 발표자 : 선경호

- 책임연구원/Ph.D. 시스템다이나믹스연구실/기계시스템안전연구본부
- 연구분야: 회전기계 PHM (Prognosis & Health Management), 기계진동, 다이나믹 비전

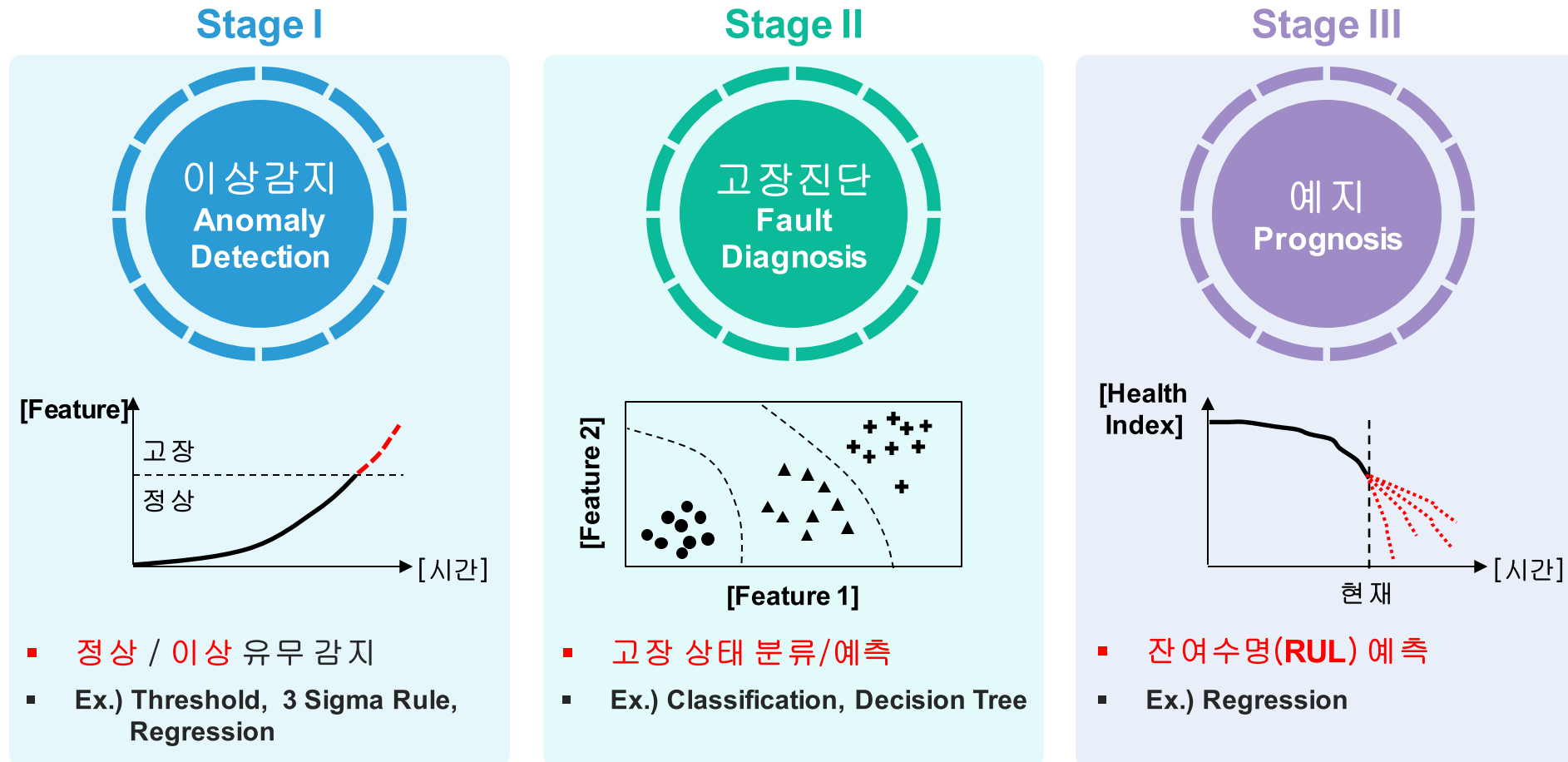


PHM (Prognostics and Health Management)

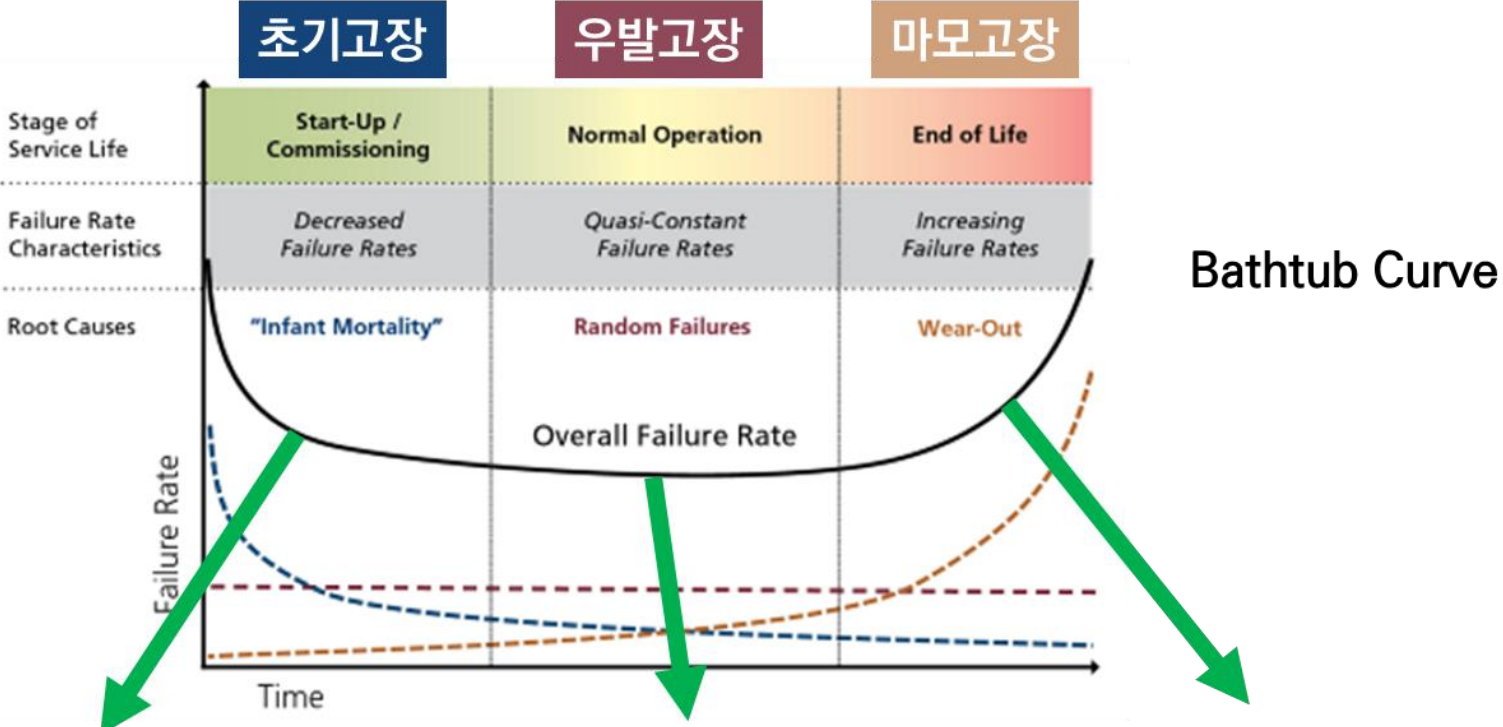


PHM 이란?

- 기계시스템의 안정적인 운영을 위한 건전성 관리 기술
 - 새로운 진단기술(Enhanced Diagnostics)
 - 예지(Prognosis)
 - 건전성 관리(Health Management)



Pump System Reliability



Bathtub Curve



Prescriptive (처방)



Predictive (예측)



Preventive (예방)

Project Overview : PHM of Pump Systems

1단계

2단계

개발
영역

상태감시 및 고장진단

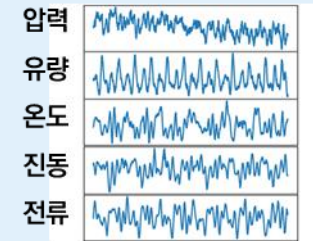
고장 예지

세부
기술
내용

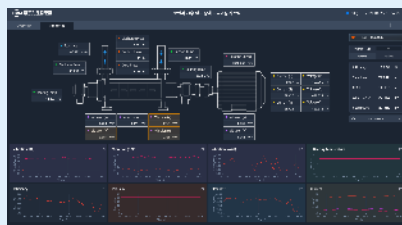
- 급수펌프 시스템 구축
- 발전소 데이터 취득



- 고장 모드 분석/선정
- 고장 구현 시험



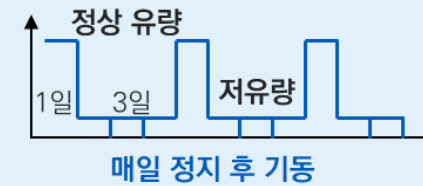
- 상태 모니터링 S/W
- 인공지능 기반 이상 감지 알고리즘 개발



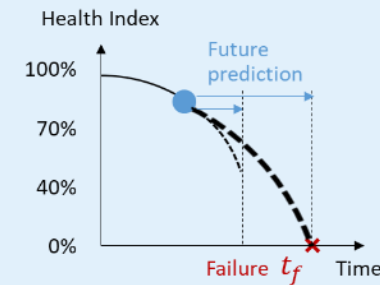
- 인공지능 기반 진단 알고리즘 개발
- 고장진단 S/W



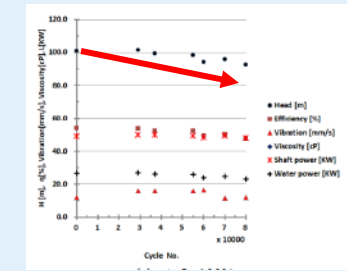
- 주기형 열화 시험



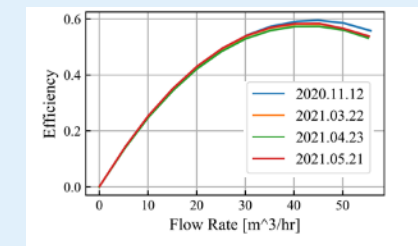
- 시스템 및 핵심 부품별 잔여수명 예측 기술 : 베어링, 임펠러, 씌일



- 건전성 인자 연구



- 예지 알고리즘 연구



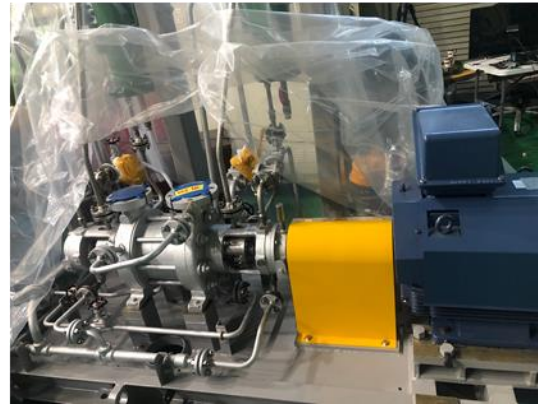
Pump System & Condition Monitoring

- 수평형 및 수직형 다단 원심펌프

45kW 수평형



55kW 수평형



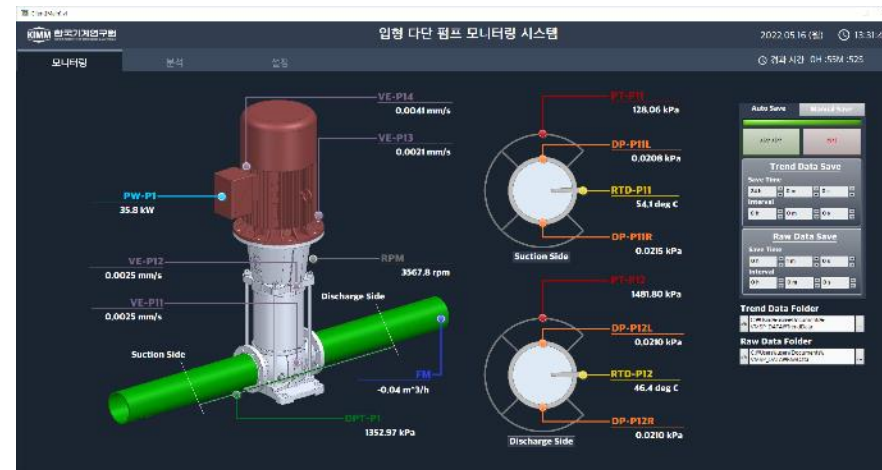
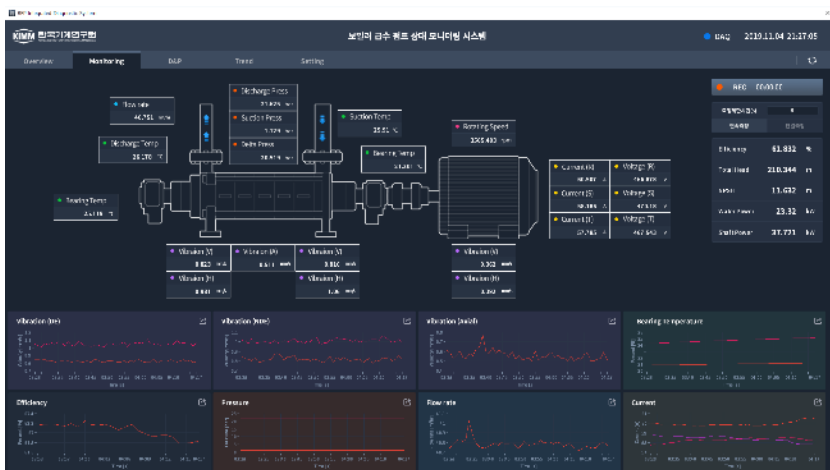
55kW 수직형



110kW 수직형



- 상태감시 시스템

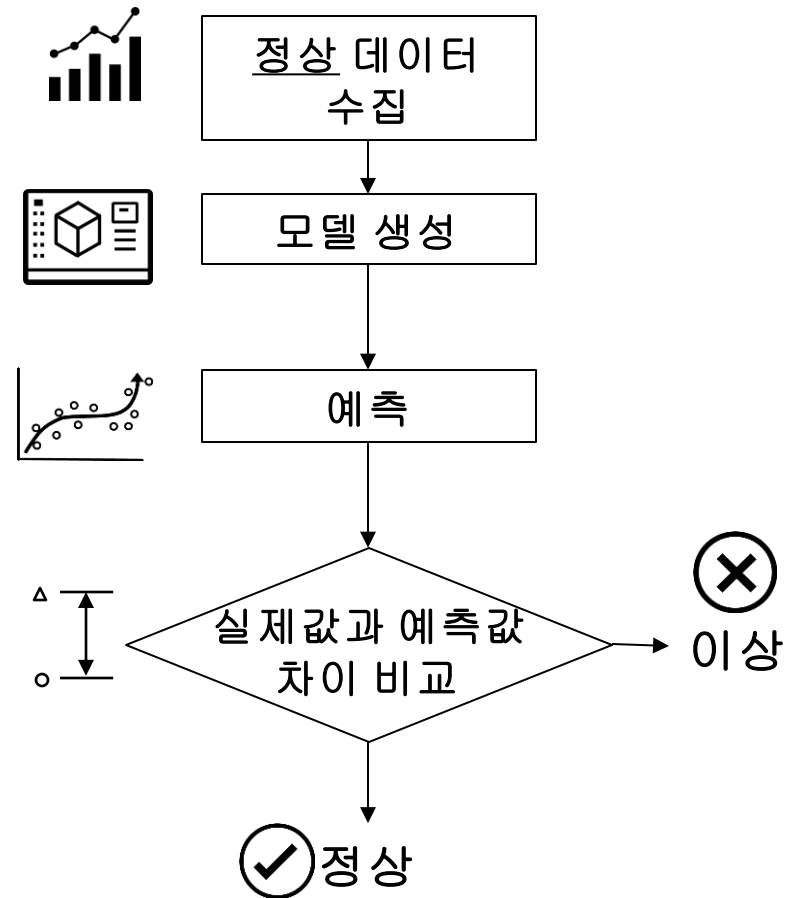


데이터	채널
압력	6
유량	1
온도	11
회전속도	1
전류/전압	6
성능	5
진동	7
합계	37

Anomaly Detection (1/2)

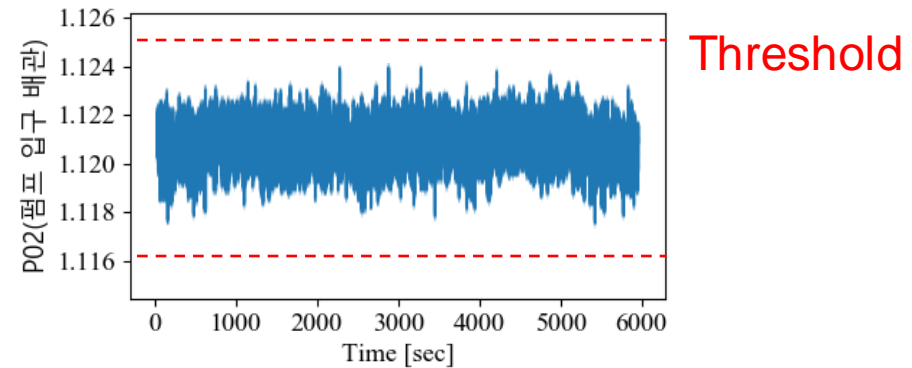
이상 감지 기술 개요

- 이상 감지 기술 절차

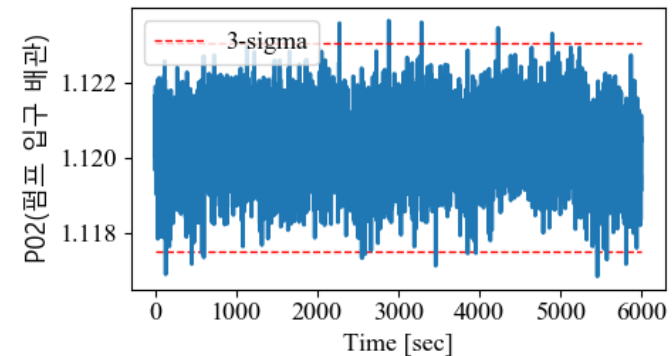


- 기존 방법의 문제점

단순 threshold 기준 → 사용자가 threshold값 지정 필요



3σ-Rule 기반 → 과도한 Alarm 발생



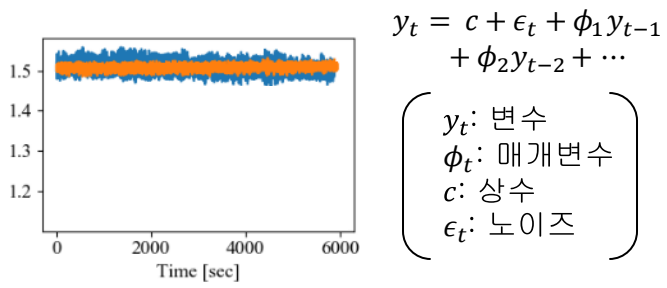
Anomaly Detection (1/2)

회귀 모델 및 Isolation Forest 기반 이상 감지

* Statistics and ML Toolbox
 - 앱: 회귀 학습기
 - 함수: fitlm, iforest ...

회귀 모델 기반 감지

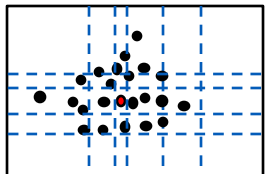
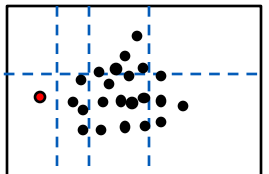
과거 변수 값의 선형 조합을 이용하여 현재 변수를 예측



+

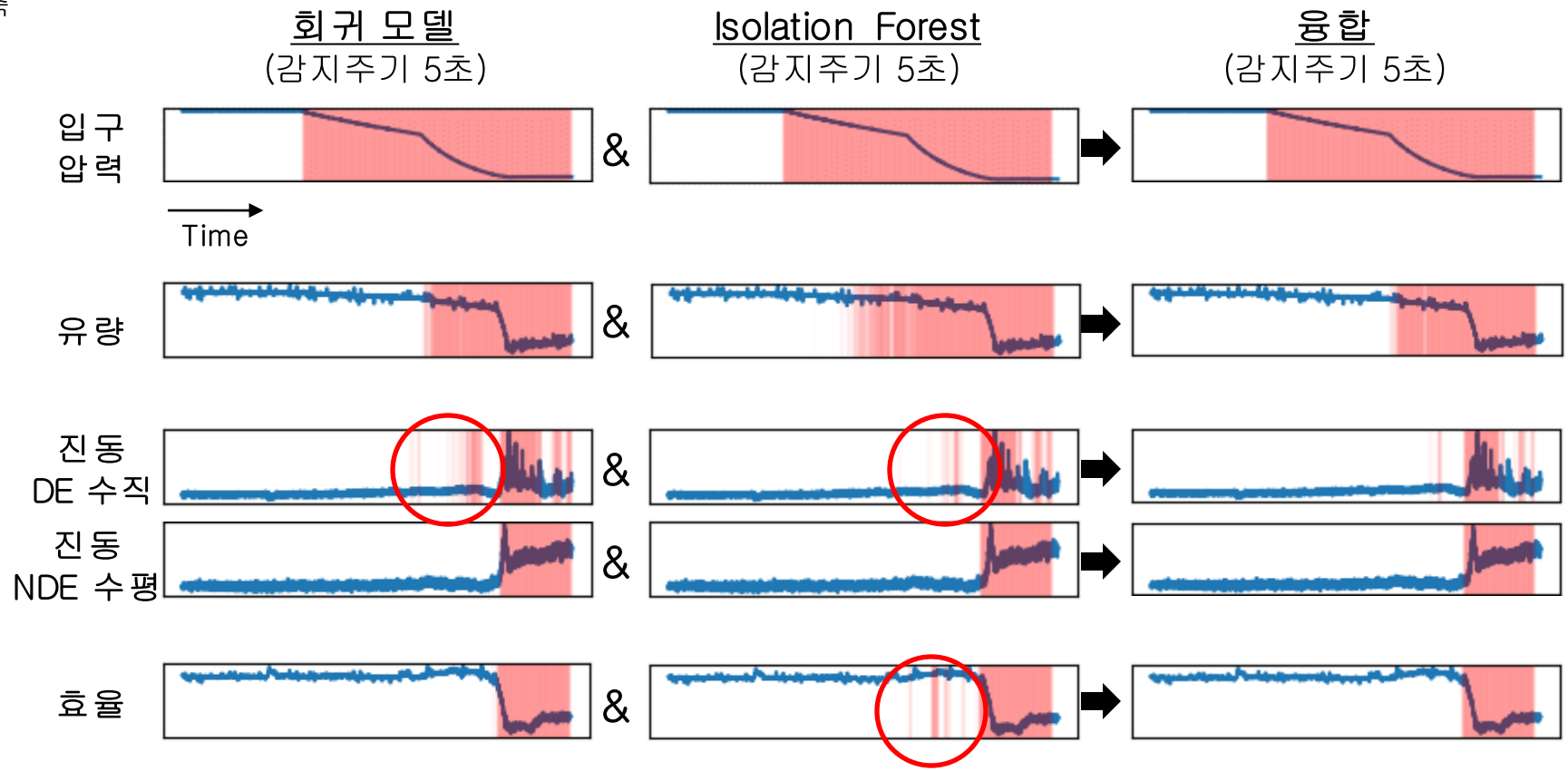
Isolation Forest 기반 감지

공간 분할의 횟수를 기반으로 이상치 탐지



노드 수: 4개 노드 수: 9개
 노드 수가 적으면 이상 노드 수가 많으면 정상

- 회귀 모델, Isolation Forest 각각 5초 이상 감지 시 최종 이상 판정

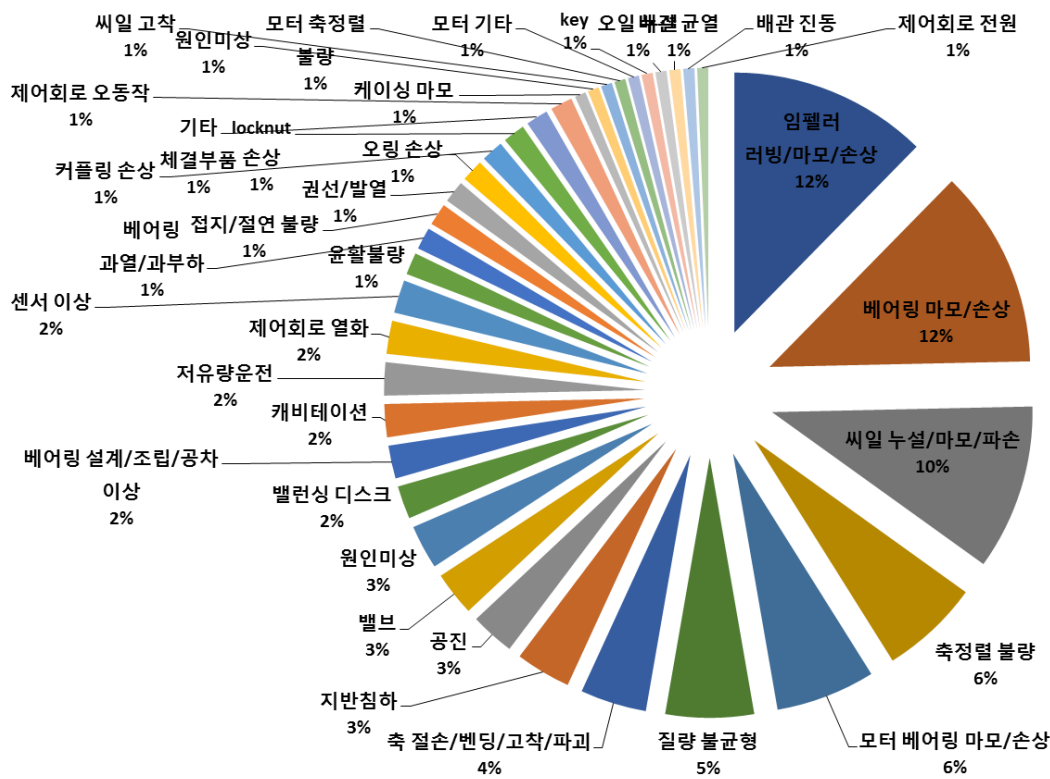


이상 감지 정확도 향상

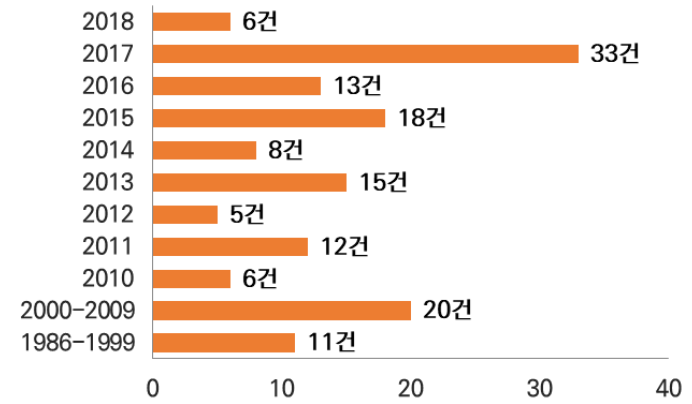
Fault Mode Analysis (1/2)

- ❑ 펌프 정비 보고서 500건 분석
- ❑ 국내 발전소 (원자력, 석탄, 복합 화력) 펌프 부품별 고장 빈도 분석

고장 모드 및 빈도 분석



■ 국내 발전소 펌프 고장정지 정비통계 및 고장 분석 (1986~2018)



대표 고장 모드 도출

순위	고장 모드	빈도
1	임펠러 러빙, 마모, 손상	12%
2	베어링 마모, 손상	12%
3	씰 마모, 파손	10%
4	축 정렬불량, 질량 불균형	11% (6+5)
5	저유량운전, 캐비테이션	4%

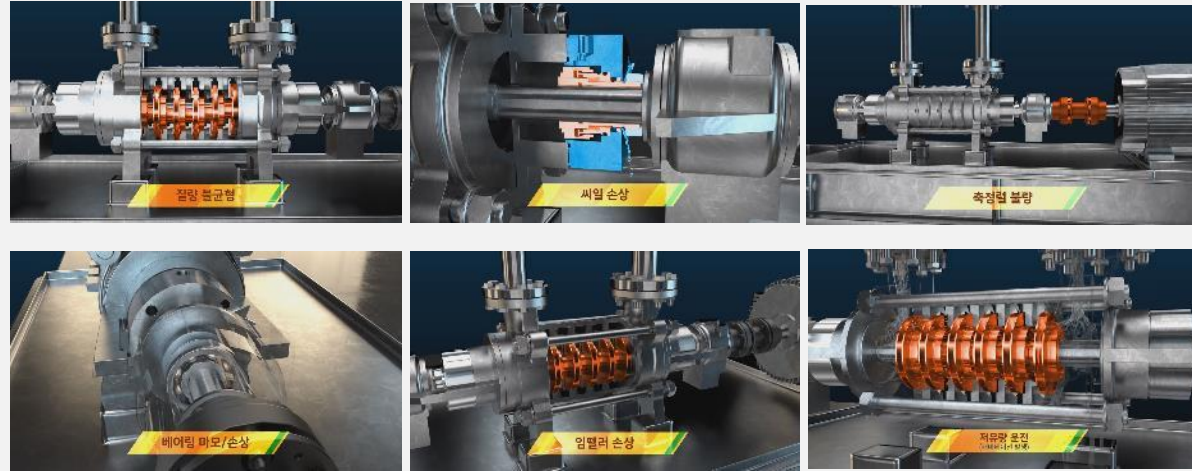
Fault Mode Analysis (2/2)

인공지능(AI)기반 예측진단 기술
'펌프 고장 모드'

Data Acquisition (1/2)

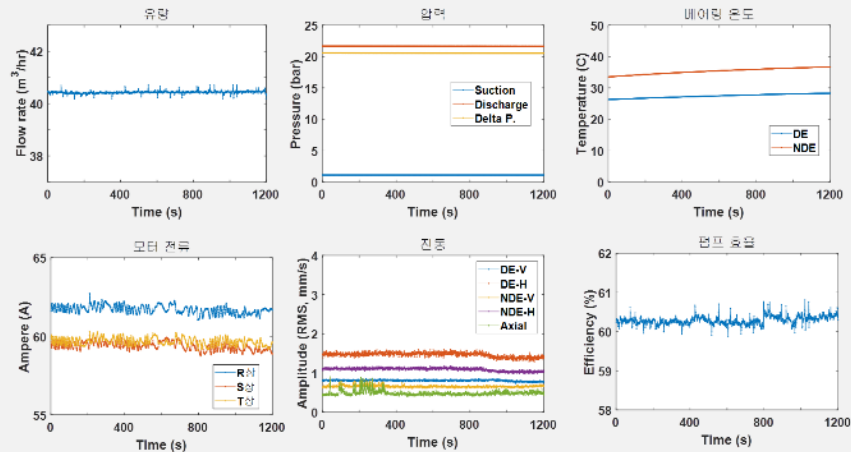
고장 데이터 획득을 위한 고장모사 시험

- ✓ 정상 운전 실험
- ✓ Cavitation 고장구현 시험
- ✓ 축정렬 불량 고장구현 시험
- ✓ 임펠러 고장구현 시험
- ✓ 미케니컬 씌일 고장구현 시험
- ✓ 베어링 고장구현 시험



1. 정상 운전 시험

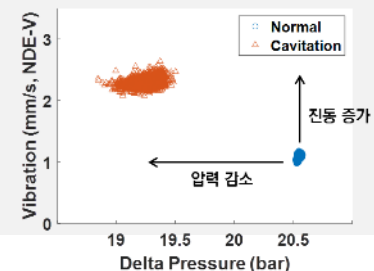
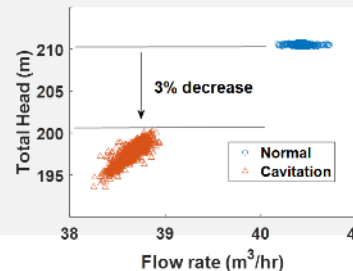
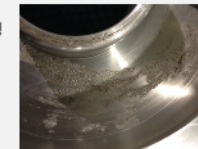
✓ 정상운전 시험 결과



2. 캐비테이션 시험

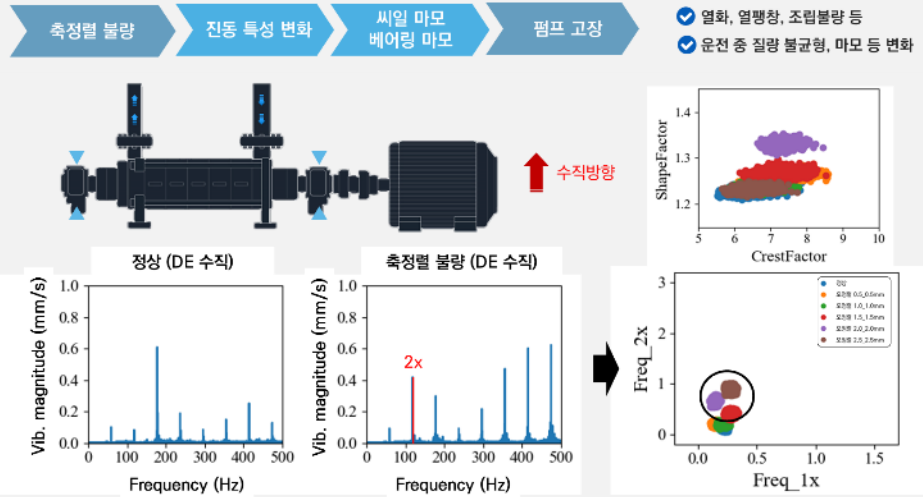


- ✓ 임펠러 입구가 높은 진공상태로 변하면 수중에 용해되어 있는 공기가 분리되어 기포 발생
- ✓ 기포의 생성과 파괴가 순식간에 반복되므로 충격파에 의한 소음과 진동이 수반, 양정·효율·축동력이 급격히 저하 운전불능 상태

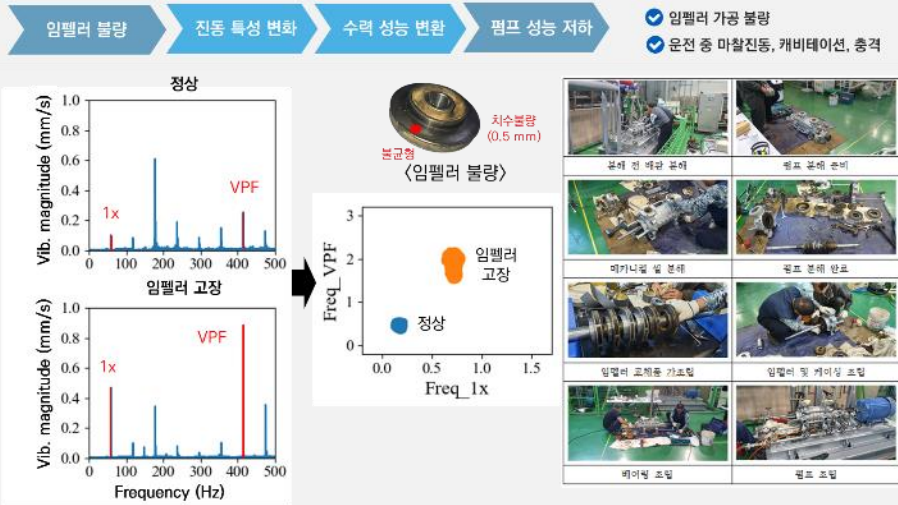


Data Acquisition (2/2)

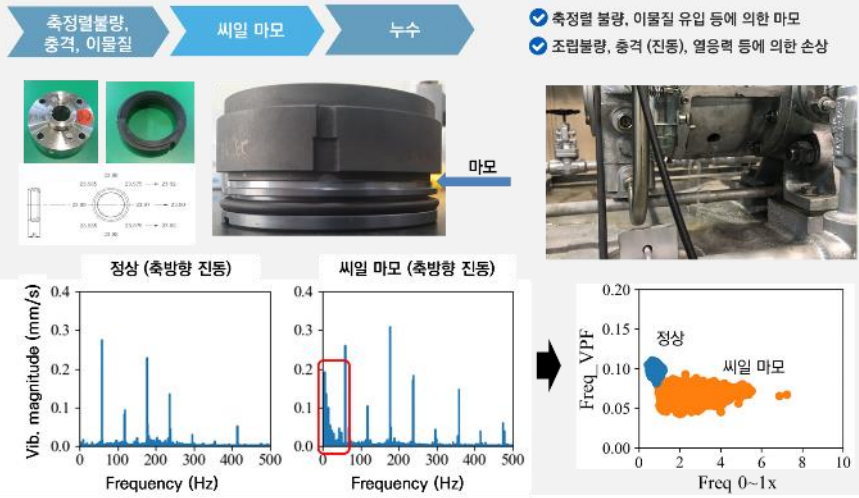
3. 축정렬 불량 시험



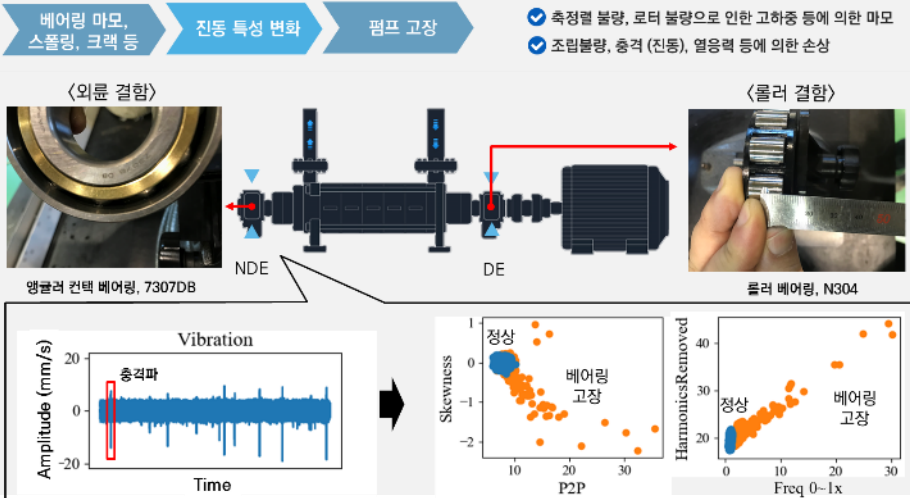
4. 임펠러 고장 시험



5. 씨일 마모 시험



6. 베어링 고장 시험



Data-driven Diagnosis (1/2)

Machine Learning based

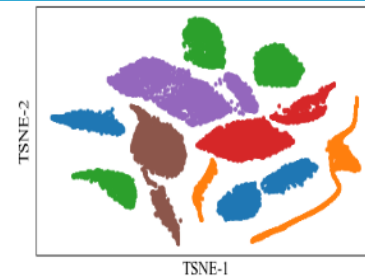
- ✓ 성공적인 진단을 위해서는 최적의 특성 인자 (Feature)를 추출하는 것이 중요
- ✓ 데이터 기반 특성 인자 선정 (**PCS**, 트리 기반 분류기 → 특성 인자 중요도 파악)
- ✓ 물리기반 방식의 특성 인자를 추가하여 하이브리드 방식 적용

- * **Predictive Maintenance Toolbox**
- 앱: 진단 특징 디자이너
- * **Statistics and ML Toolbox**
- 앱: 분류 학습기

	하이브리드 특성인자	
	물리기반 특성인자	데이터기반 특성인자
운전 및 성능 데이터	펌프입구 압력	펌프입구 압력
		Efficiency NPSH
진동 기반 특성인자	Ch1: 1x 주파수	Ch1: 1x 주파수
	Ch1: VPF	Ch1: VPF
	Ch1: Shape Factor	Ch1: VPF 조화주파수
	Ch4: Peak-to-Peak	Ch2: 'Absolute Mean'
	Ch4: Skewness	Ch2: 2x 주파수
	Ch4: 0~1x 주파수	Ch3: 하모닉 제외 주파수
	Ch5: 0~1x 주파수	Ch4: 1x 주파수

Classification Algorithm: SVM (Support Vector Machine)

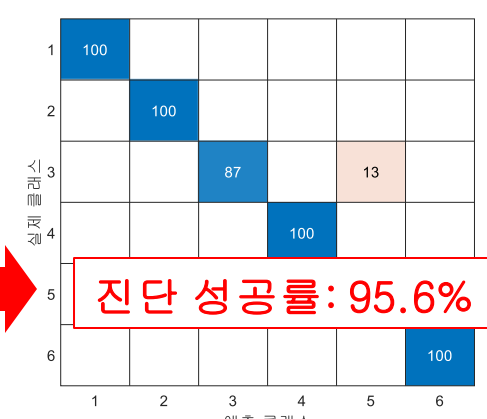
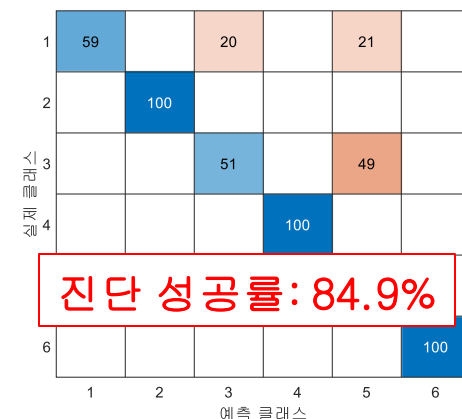
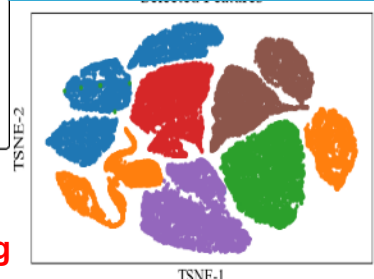
모든 특성 인자 (104개)



● 정상
● 저유량운전
● 축정렬불량
● 임펠러불량
● 씌일마모
● 베어링고장

Overfitting 문제 해결

최적 특성 인자 (15개)



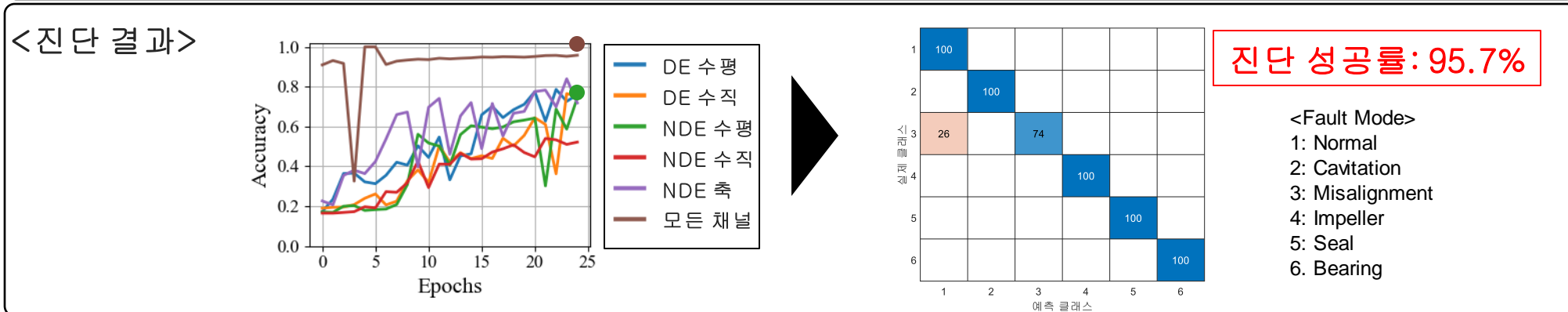
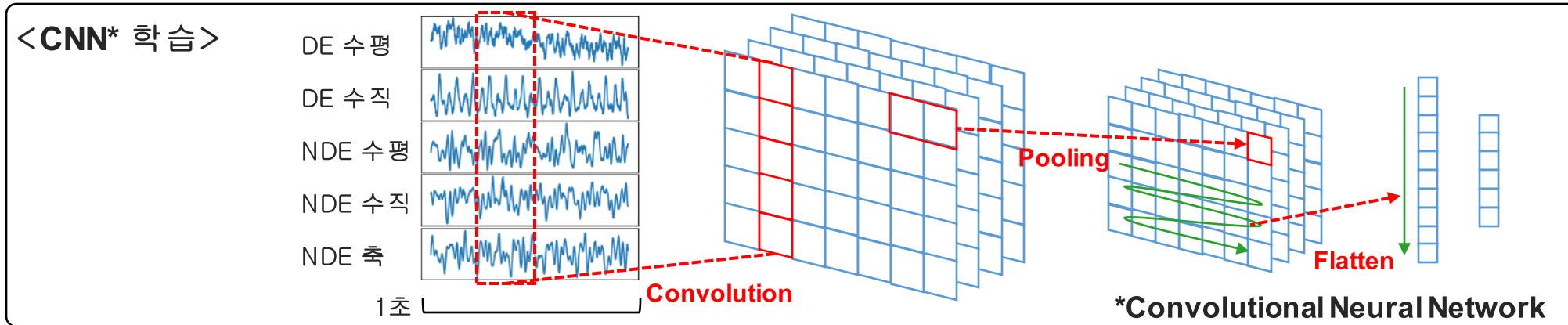
- <Fault Mode>
- 1: Normal
 - 2: Cavitation
 - 3: Misalignment
 - 4: Impeller
 - 5: Seal
 - 6: Bearing

Data-driven Diagnosis (2/2)

Deep Learning based

- ✔ 특성 인자를 자동으로 추출하여 진단에 활용
- ✔ 높은 진단 성공률을 확보할 수 있으나, 물리적 해석이 어려움
- ✔ 잔여 수명 예측을 위해서는 특성 인자가 필수적 (건전성 지표, Health Index 의 도출)

* Deep Learning Toolbox
 - 앱: 심층신경망디자이너
 convolution1DLayer



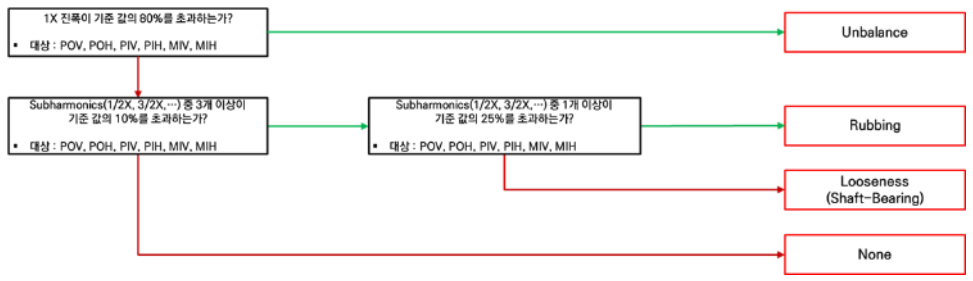
Rule-based Diagnosis (1/3)

Rule-based

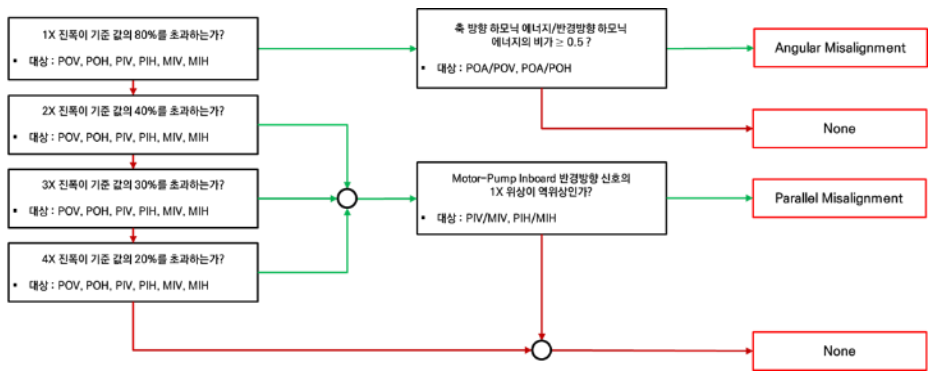
- ✓ 전문가의 지식을 코드화된 지식 체계로 변환하여 진단을 수행
- ✓ 고장 데이터가 없는 경우 사용, 스케일이 다른 시스템에도 적용 가능
- ✓ 기계학습 알고리즘 중 일반적으로 의사결정나무(Decision Tree) 활용

* Statistical and ML Toolbox - Decision Tree (fitrtree)

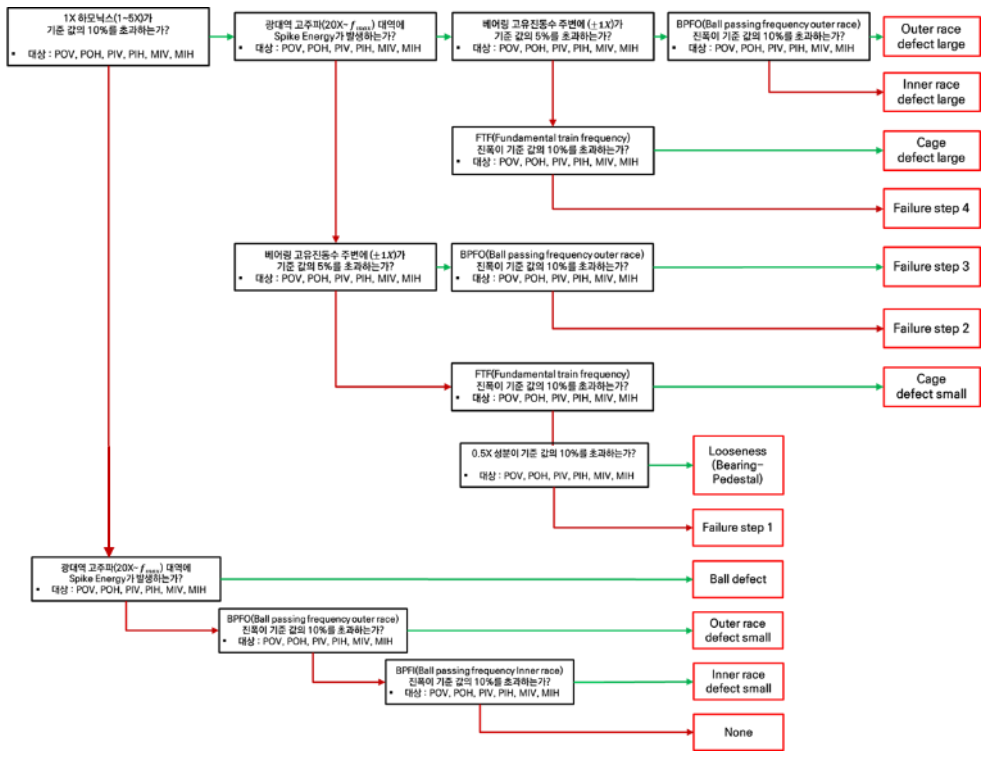
<Rotor Fault Decision Tree>



<Rotor-Motor Misalign. Decision Tree>

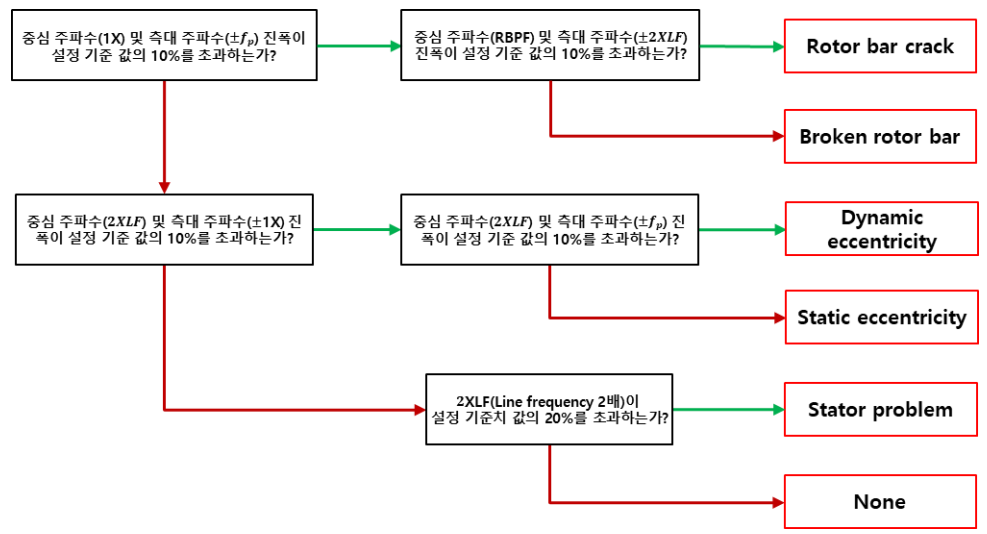


<Bearing Fault Decision Tree>

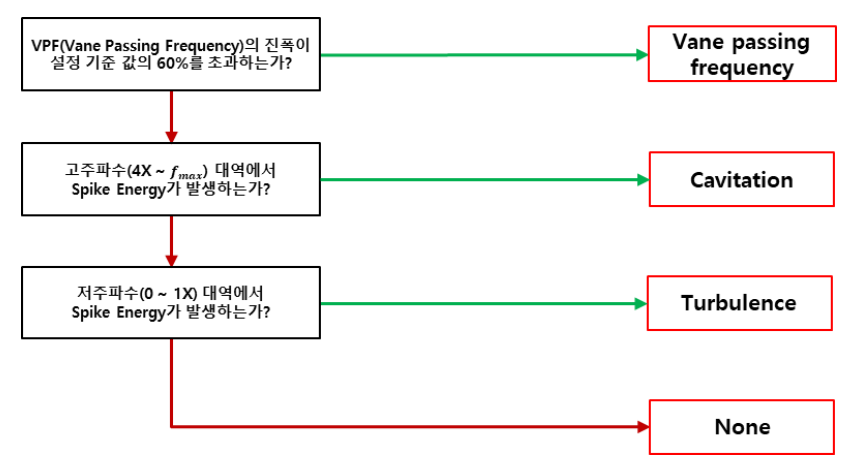


Rule-based Diagnosis (2/3)

<Electric Fault Decision Tree>

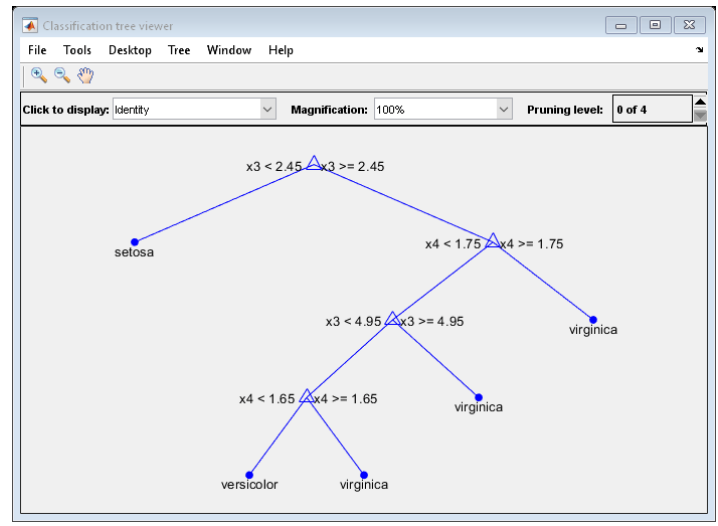


<Fluid Fault Decision Tree>

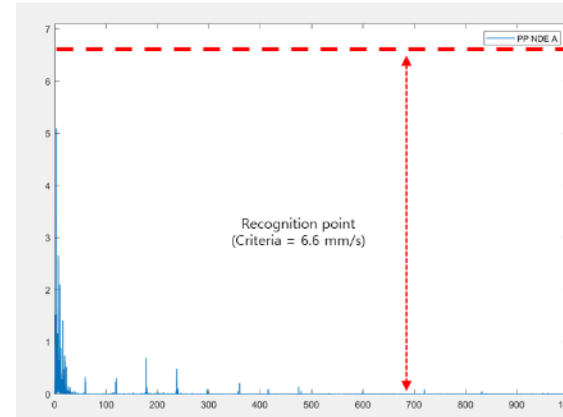
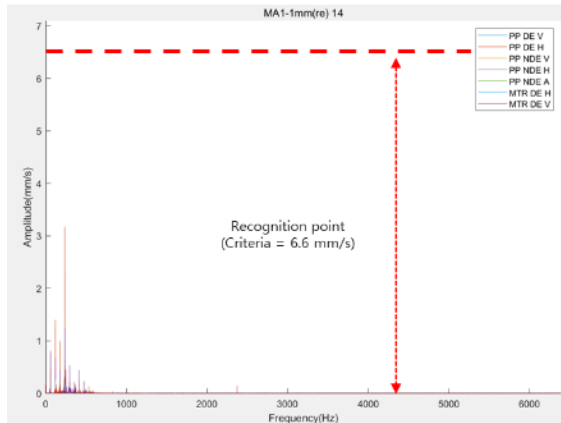


<Decision Tree 시각화>

검증 데이터 항목		Simulation Data 설명	Recognition 적용 항목
Decision Tree	Class		
Pump-Motor System	Normal	- 제공된 Test data 적용(Reference data)	- Peak find
Resonance	Beating	- Simulation data 적용	- Beating
Alignment	Misalignment	- Reference data 신호 증폭 Point : PP NDE Vertical / Axial - Misalignment 실험 Data 신호 증폭 Point : PP DE Vertical / MTR DE Vertical	- Peak find - Phase
Pump-Rotor	Unbalance	- Reference data 신호 증폭(1X) Point : PP NDE Vertical	- Peak find
	Rubbing	- Reference data 결합성분 인가(Sub-harmonics) Point : PP NDE Vertical	- Peak find
Pump-Bearing	Outer Race Defect	- Reference data 결합성분 인가(8PFO) Point : PP NDE Horizontal	- Peak find
Motor-Electric	Dynamic Eccentricity	- Reference data 신호 증폭(2XLF) 및 결합성분 인가(±f_p & ±1X) Point : MTR DE Vertical	- Peak find - Sideband
Pump-Fluid	Vane Passing Frequency	- Reference data 신호 증폭(7X : VPF) Point : PP NDE Vertical	- Peak find
Pump-Seal	Sealwear	- Seal wear 실험 Data 신호 증폭(1X 미만 Haystacks) Point : PP NDE Axial	- Peak find - Haystacks



Rule-based Diagnosis (3/3)

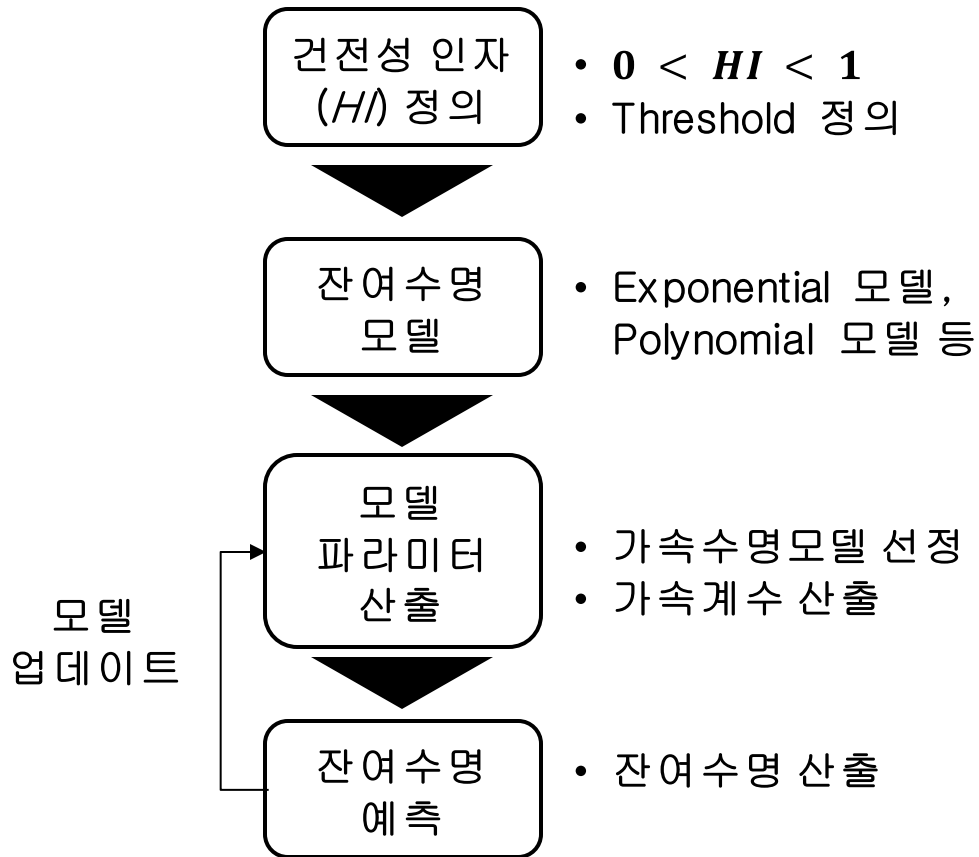


		Diagnosis Result
Bearing_result	'none'	none (Normal)
Fluid_result	'none'	none (Normal)
Hz	59.3491	none (Normal)
Mis_result	'Parallel Misalignment'	Parallel Misalignment
MTR_BPFI	424.5749	none (Normal)
MTR_BPFO	287.6145	none (Normal)
MTR_BSF	297.2021	none (Normal)
MTR_FTF	23.9679	none (Normal)
MTRbrg_Nf	5000	none (Normal)
NF	100	none (Normal)
Odd_freq	[29.6746,89.0237,148.372...	none (Normal)
p	2	none (Normal)
P_Hay	1x7 cell	none (Normal)
PB_freq	[292.0727,420.1168,244.7...	none (Normal)
PPN_BPFI	420.1168	none (Normal)
PPN_BPFO	292.0727	none (Normal)
PPN_BSF	244.7001	none (Normal)
PPN_FTF	24.3423	none (Normal)
PPNbrg_Nf	5100	none (Normal)
rbpf	2.3740e+03	none (Normal)
Rotor_result	'None'	none (Normal)
Seal_result	'None'	none (Normal)

		Diagnosis Result
Bearing_result	'none'	none (Normal)
Fluid_result	'none'	none (Normal)
Hz	59.3899	none (Normal)
Mis_result	'none'	none (Normal)
MTR_BPFI	424.8665	none (Normal)
MTR_BPFO	287.8120	none (Normal)
MTR_BSF	297.4061	none (Normal)
MTR_FTF	23.9844	none (Normal)
MTRbrg_Nf	5000	none (Normal)
NF	100	none (Normal)
Odd_freq	[29.6949,89.0848,148.474...	none (Normal)
p	2	none (Normal)
PB_freq	[292.2732,420.4052,244.8...	none (Normal)
PPN_BPFI	420.4052	Seal wear
PPN_BPFO	292.2732	none (Normal)
PPN_BSF	244.8681	none (Normal)
PPN_FTF	24.3590	none (Normal)
PPNbrg_Nf	5100	none (Normal)
rbpf	2.3756e+03	none (Normal)
Rotor_result	'None'	none (Normal)
Seal_result	'Seal wear'	Seal wear

Prognosis Procedure

데이터기반 잔여수명 예측 절차



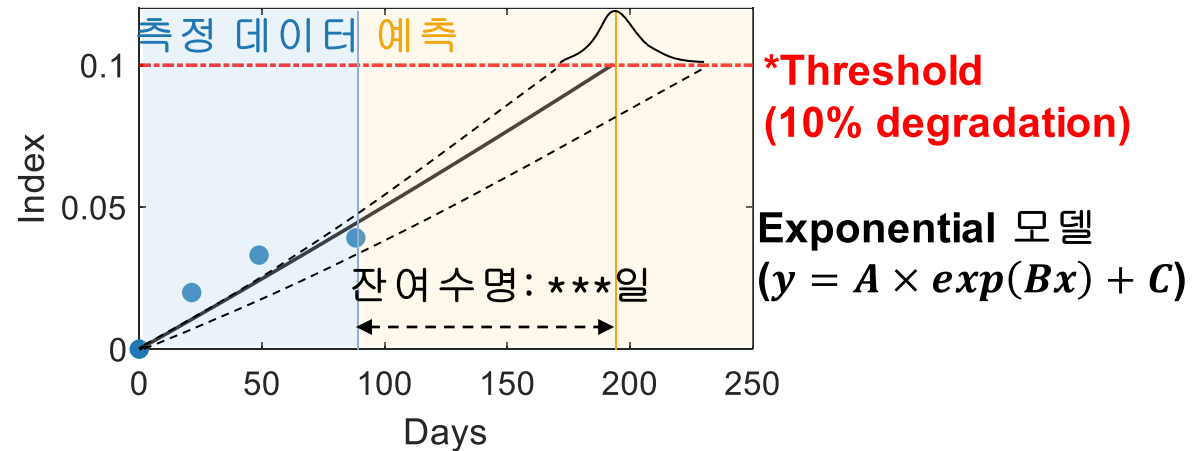
시스템 레벨 펌프 잔여수명 예측 예시

- 잔여수명 예측을 위한 시스템 건전성 인자 정의

$$HI_{System} = f(\text{압력, 온도, 유량, 전압, 전류, 진동} \dots)$$

~ (양정, 수동력, 축동력, 효율, *NPSH*, ...)

- 잔여수명 모델 선정 및 잔여수명 예측



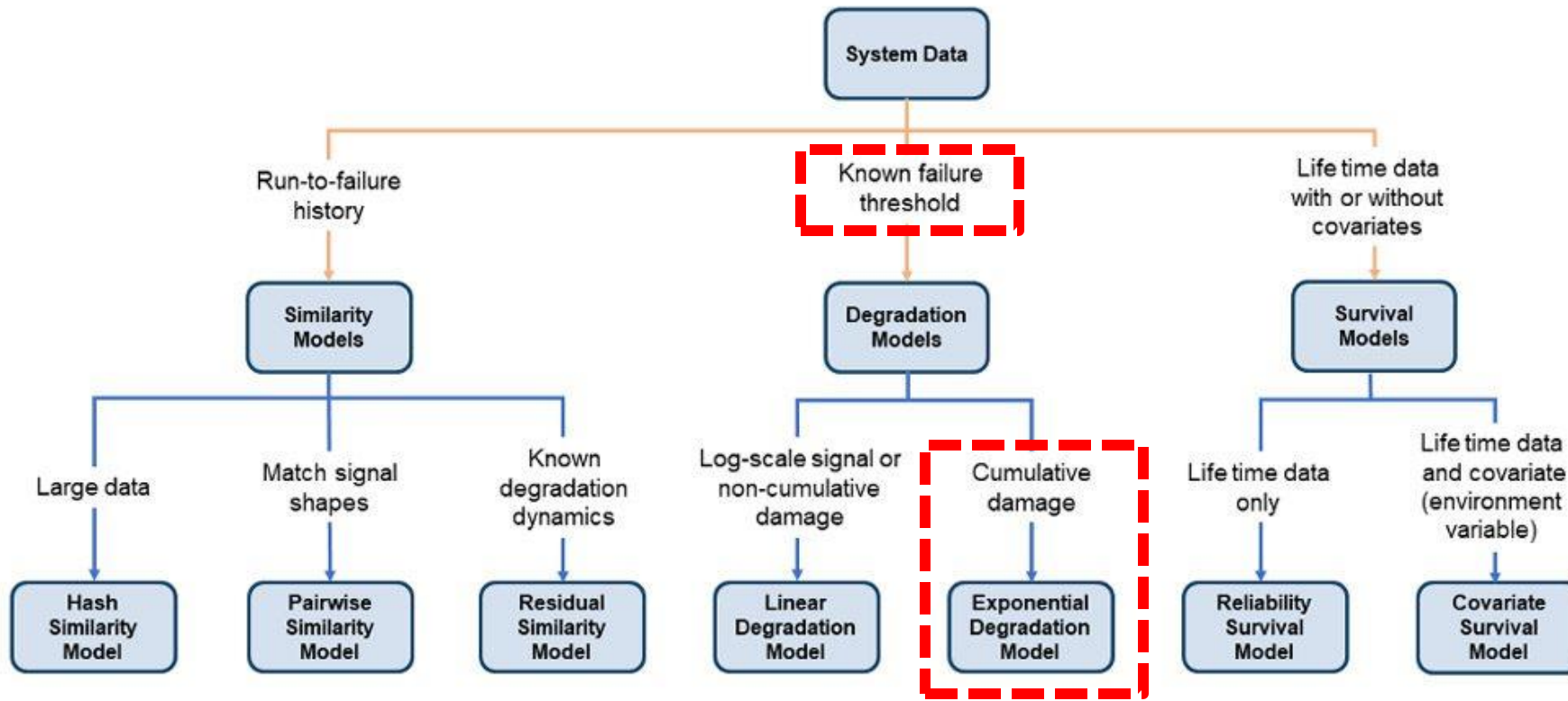
- 열화 빅데이터 확보를 통한 성능향상 및 검증
- 다양한 업데이트 방법을 적용하여 예측 정확도 향상

*KEPIC MOB (전력산업기술기준) 기준

Prognosis - Model

✓ 펌프의 잔여수명 예측 모델

- Exponential Degradation Model : $y = A \times \exp(Bx) + C$

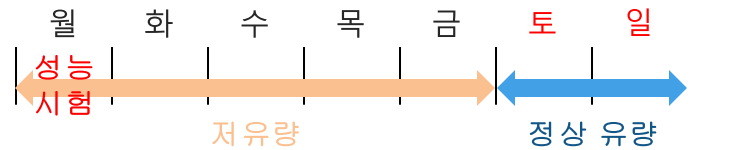


Prognosis - Experiments

☑ 보일러 급수 펌프 테스트베드를 활용한 열화 시험



- 주기적 저유량 운전을 통한 펌프 열화 시험
- 열화 데이터 구축 현황 (총 운전기간: 401일)



<주기형 스트레스 시험 모형>

시험 기간	2020년	2021년	2022년	합 계
	11 ~ 12 월	3~12월	4~9월	
정격 유량	-	2169.6	1072.1+464	3705.7 hr
50% 유량	513.3	342.3	-	855.6 hr
10% 유량	-	3471.0	975.2	4446.2 hr

Prognosis - Health Index(Performance)

✔ 펌프 잔여수명 예측을 위한 건전성 인자

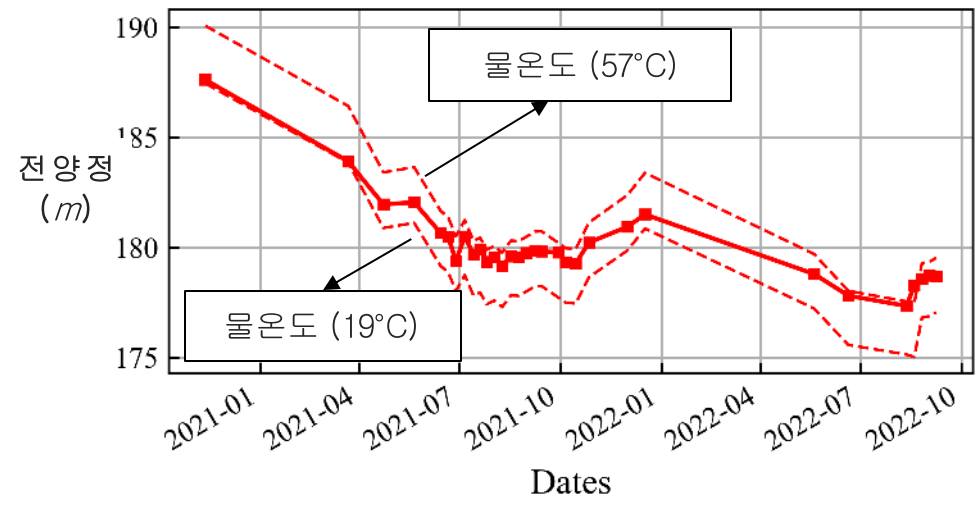
- 전양정 (H)

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{1}{2g} \left[\left(\frac{Q}{A_2} \right)^2 - \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 \right]$$

- 성능 건전성 인자 (HI_{system})

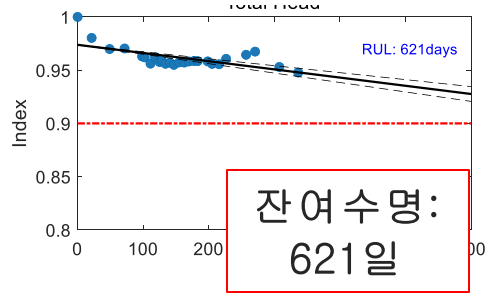
$$HI_{system} = \alpha H$$

✔ 건전성 인자 보정 (일정한 온도/밀도 하에 펌프의 성능)

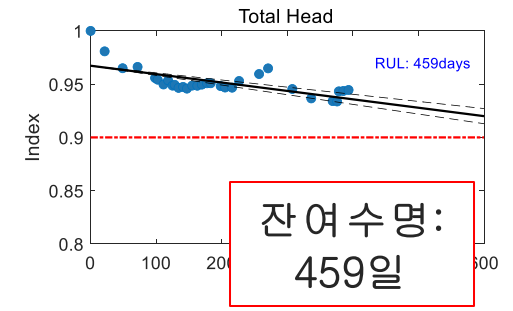
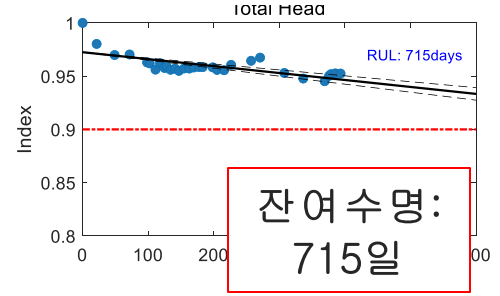


✔ 건전성 인자 보정을 통한 잔여수명 예측

<2022년 6월 (온도 무보정)>



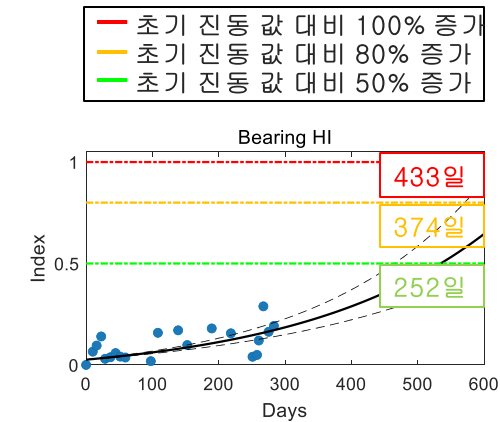
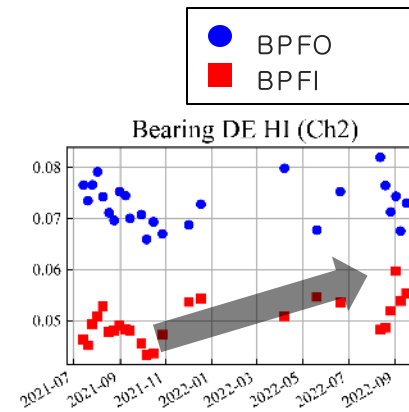
<2022년 10월 (온도 무보정)>



Prognosis - Health Index(Parts)

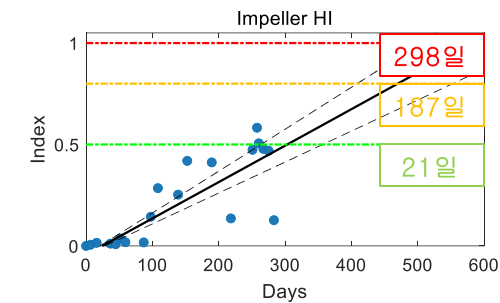
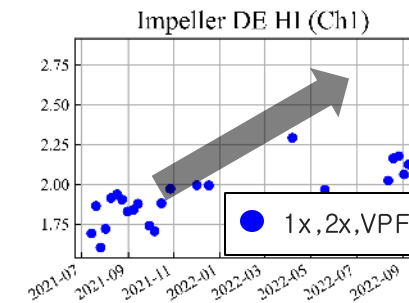
베어링 건전성 인자

- RMS 크기 대비 베어링 결함 주파수 성분은 일정한 경향성을 가짐
- $Bearing\ HI = \alpha_B [BPFO + BPF1]$



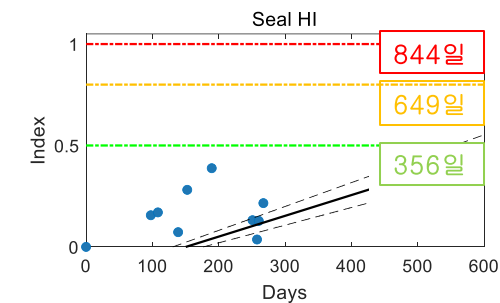
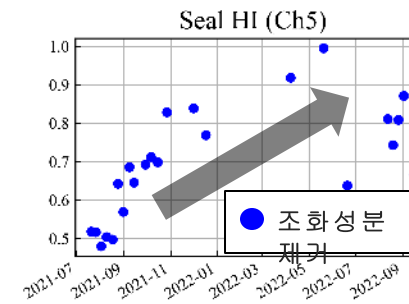
임펠러 건전성 인자

- 임펠러의 부식으로 인해 질량 불균형이 주로 발생하며, 1x 성분과, 조화 주파수 성분들의 크기가 증가
- $Impeller\ HI = \alpha_I [1x + 2x + VPF]$



씨일 건전성 인자

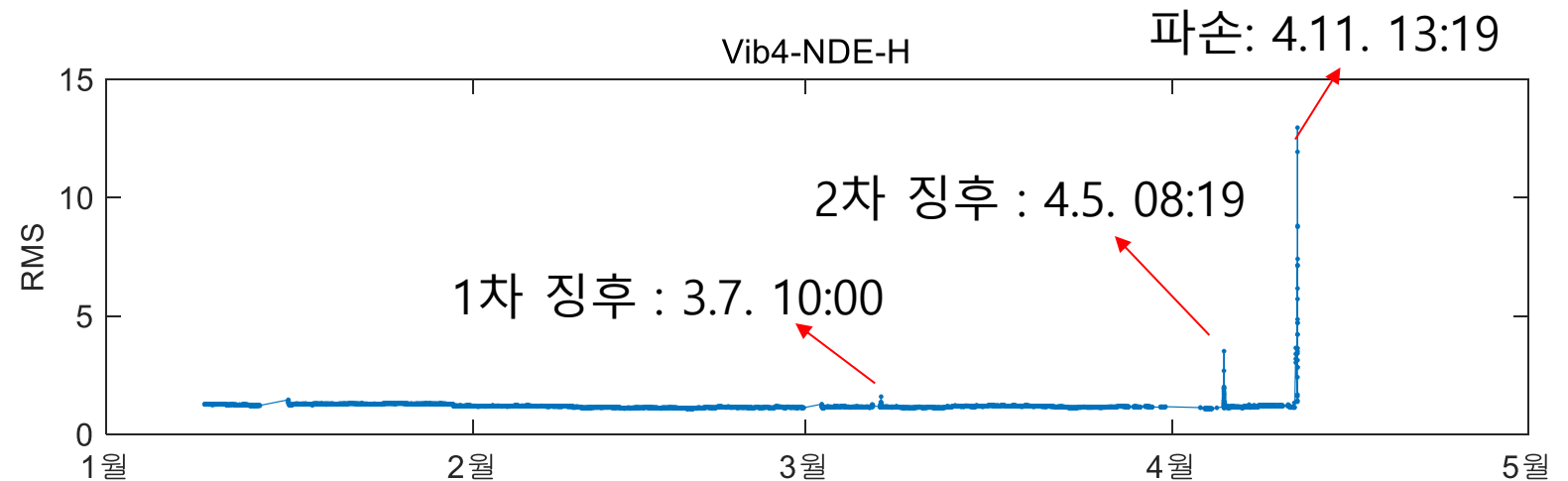
- 축방향 진동 신호의 주파수 성분 중 조화 주파수 성분을 제외한 나머지 저주파 대역의 크기 합
- $SEAL\ HI = \alpha_S [\sum f - \sum f_{nx}]$



Machines only Stop Working after their Parts Fail! (Mike Sondalini)

Prognosis – Experiment (Bearing Failure)

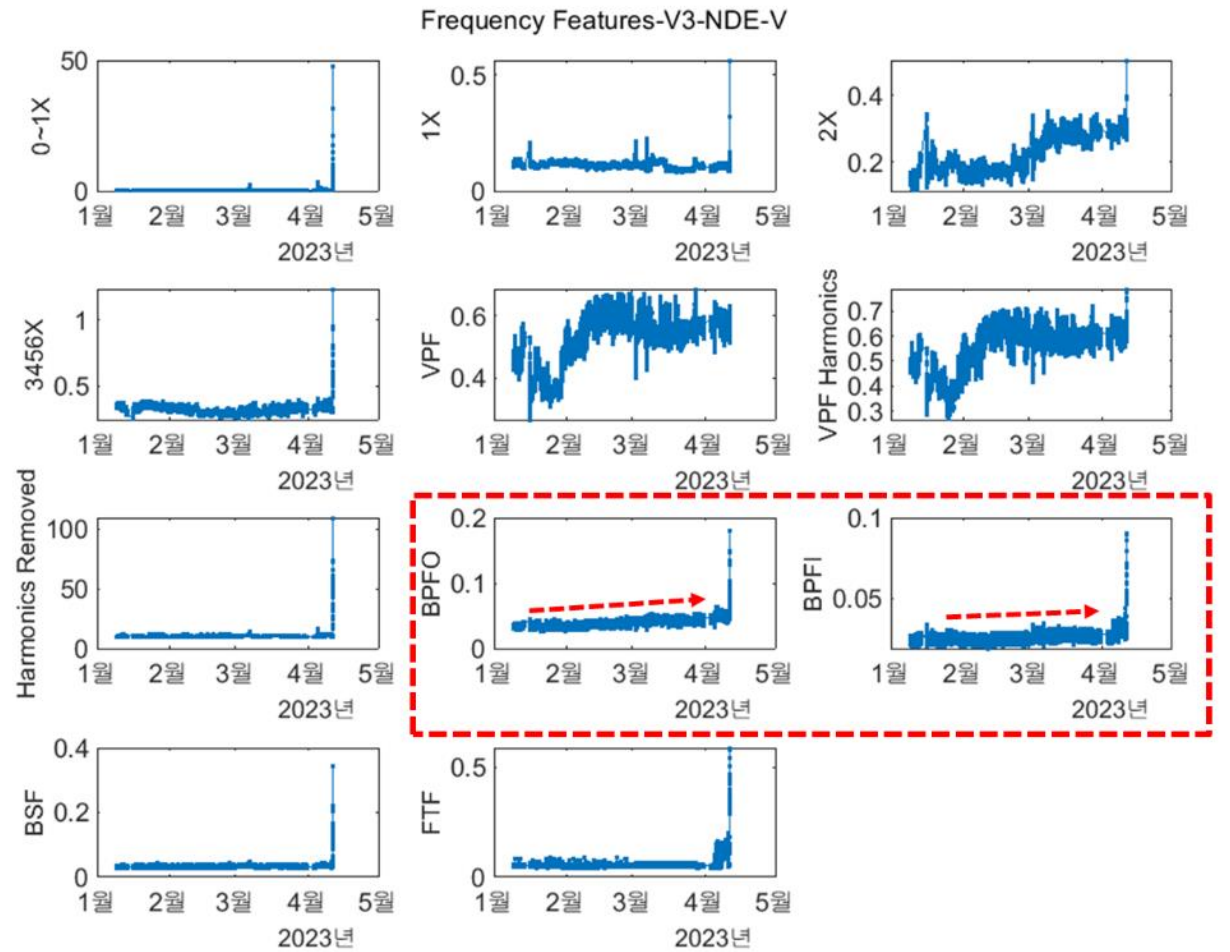
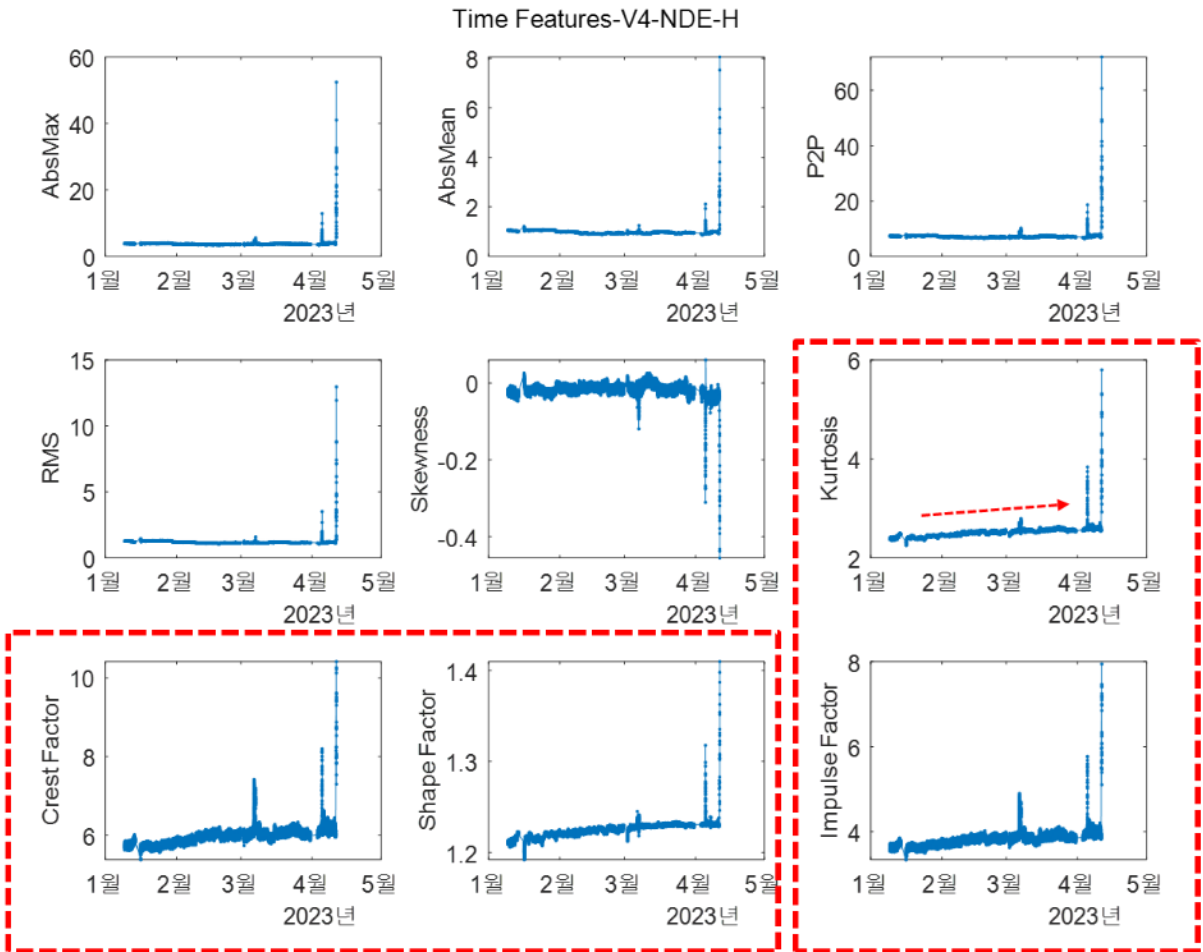
- ◆ 베어링 윤활 불량 상황에 대한 시험 ('23. 1. 9. ~ '23. 4. 11.)
 - 위치 : 펌프 NDE
 - 베어링 정보 : 7307BDB (B: 40° Contact Angle, DB: 뒷면 조합형)



Prognosis – Bearing (Feature Analysis)

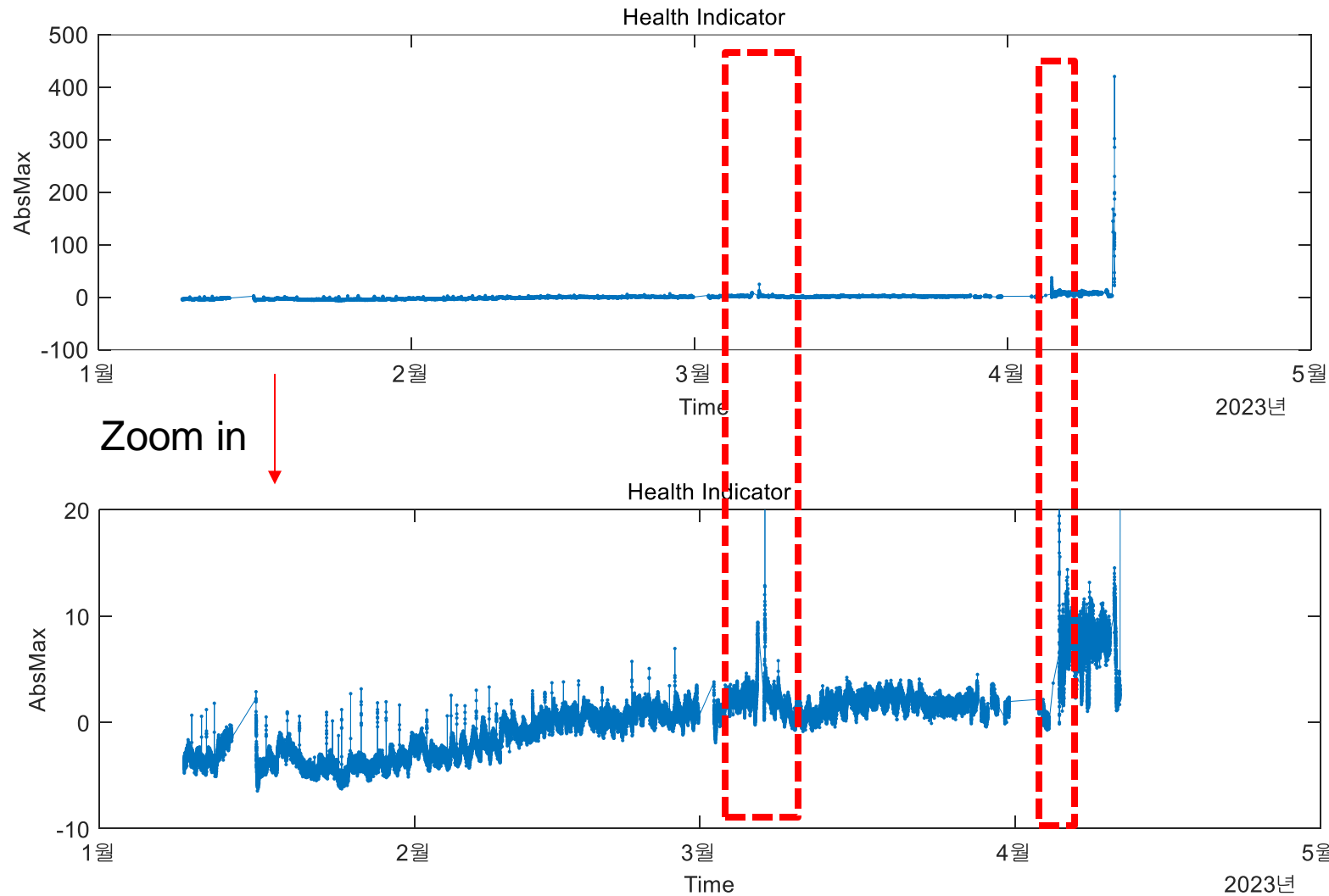
* Predictive Maintenance Toolbox
- 앱: 진단특징디자이너

✔ 시간 및 주파수 영역 특성인자 추출



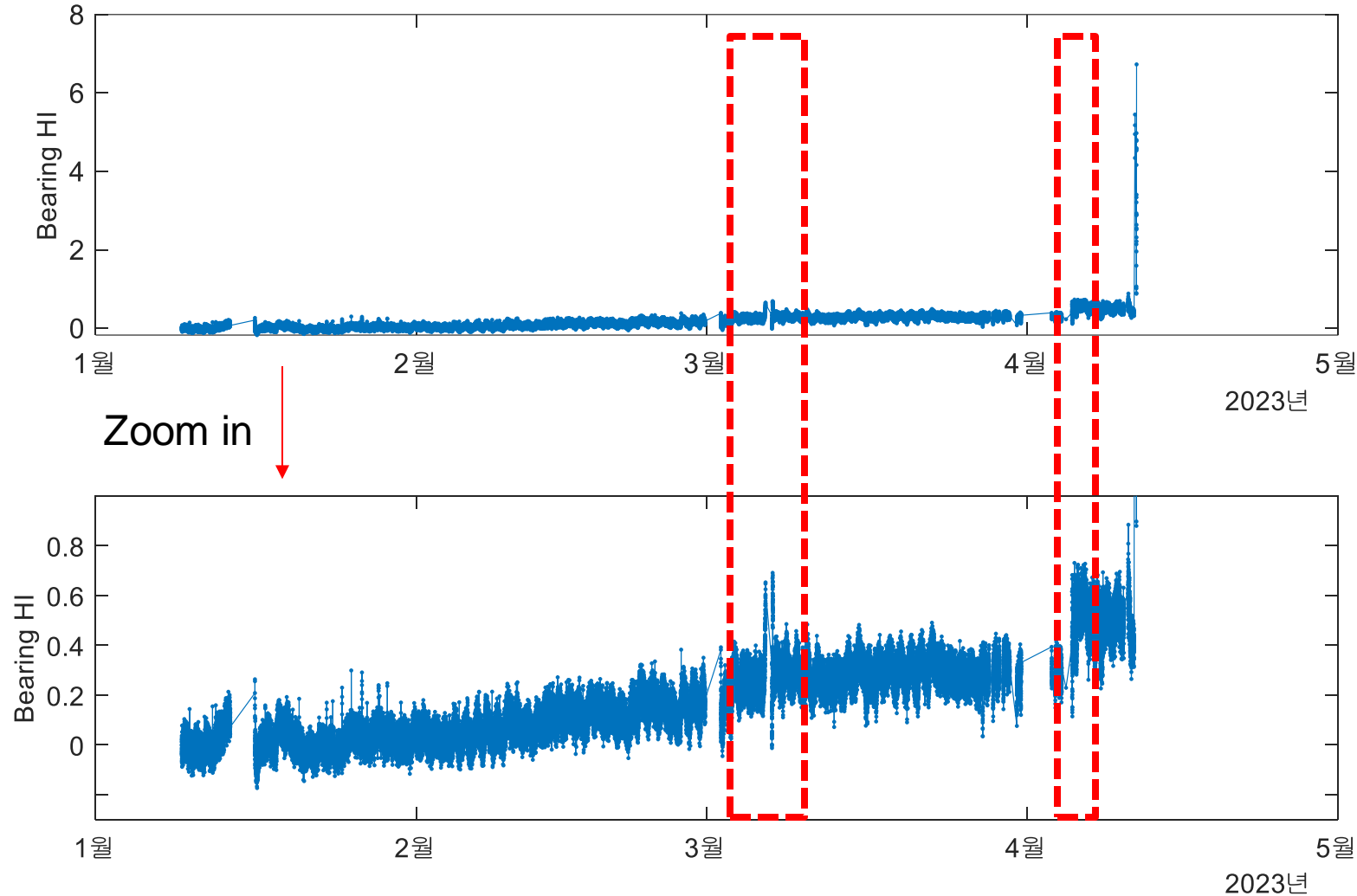
Prognosis – Bearing (Health Index)

- ✓ Heal Index 선정 : PCA (주성분 분석, Principal Component Analysis)



Prognosis – Bearing (Health Index)

- ✓ Heal Index 선정 : 물리적 특성 및 데이터 분석 고려



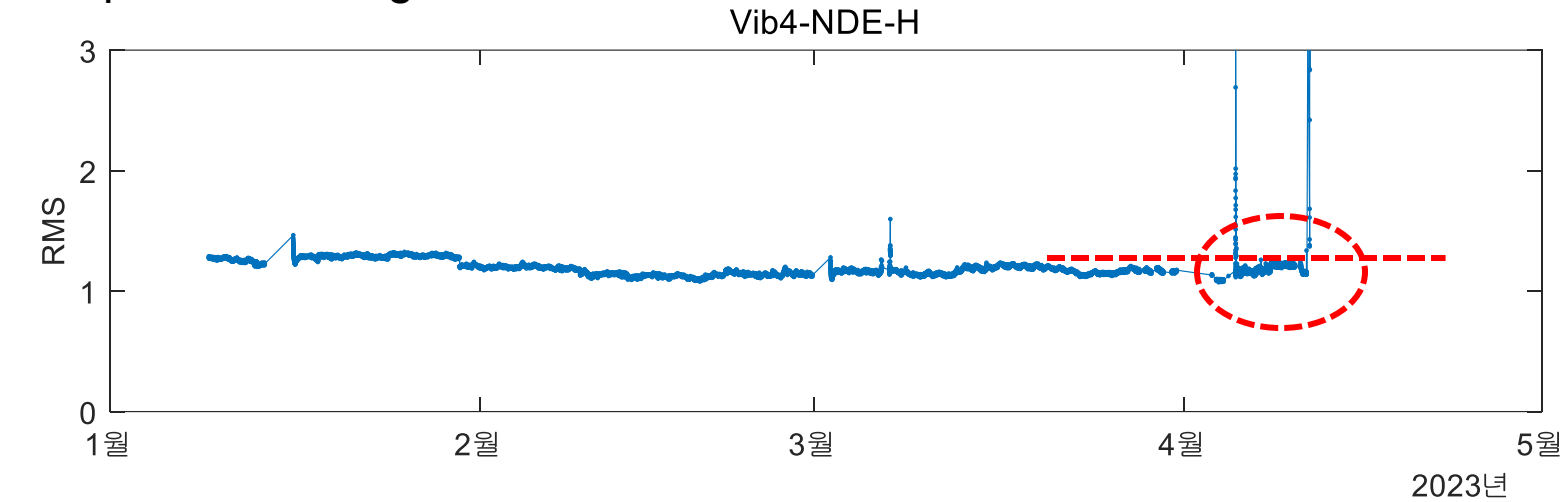
$$\text{Bearing HI} = \alpha * (\text{Kurtosis} + \text{Impulse factor}) * (\text{BPFO} + \text{BPFI})$$

HI 선정 기준

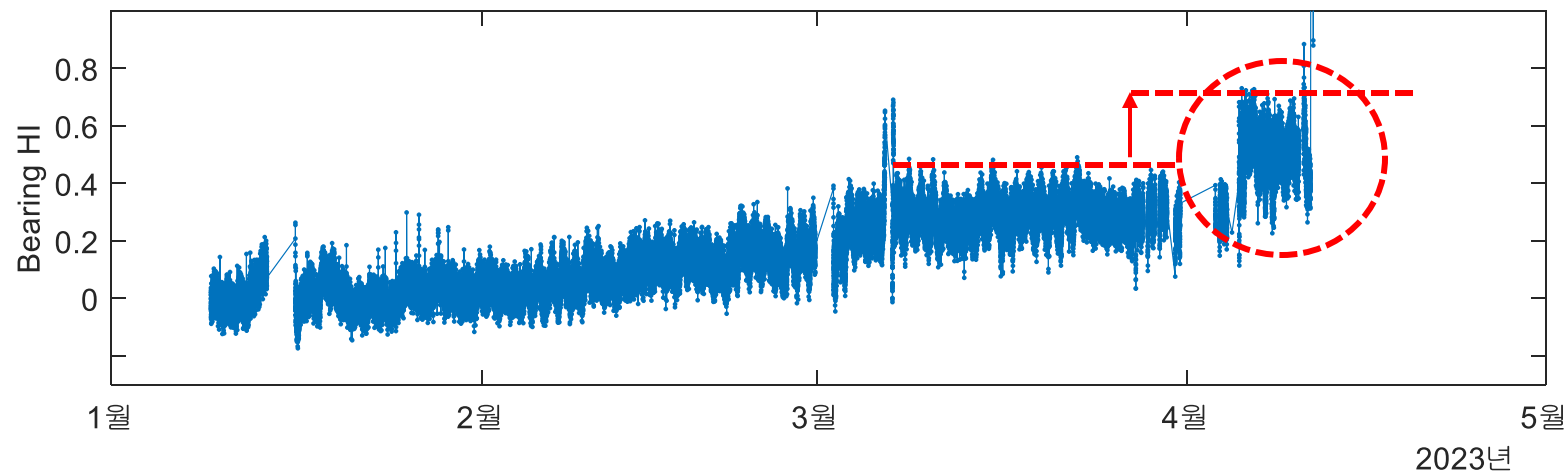
: 기울기 ↑, 표준편차 ↓

Prognosis – Bearing (Health Index)

✓ RMS vs. Proposed Bearing Health Index



2차 사전 징후
발생 후 진동 안정화

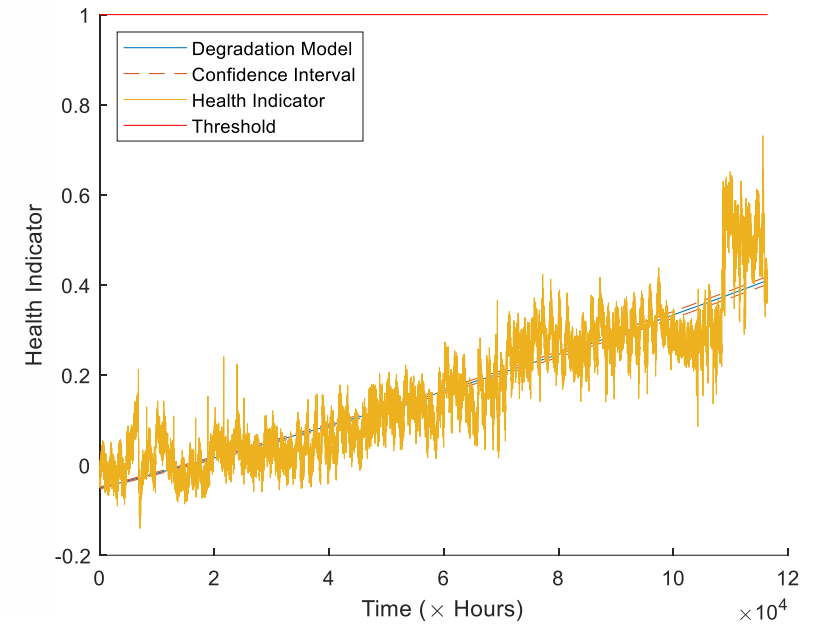
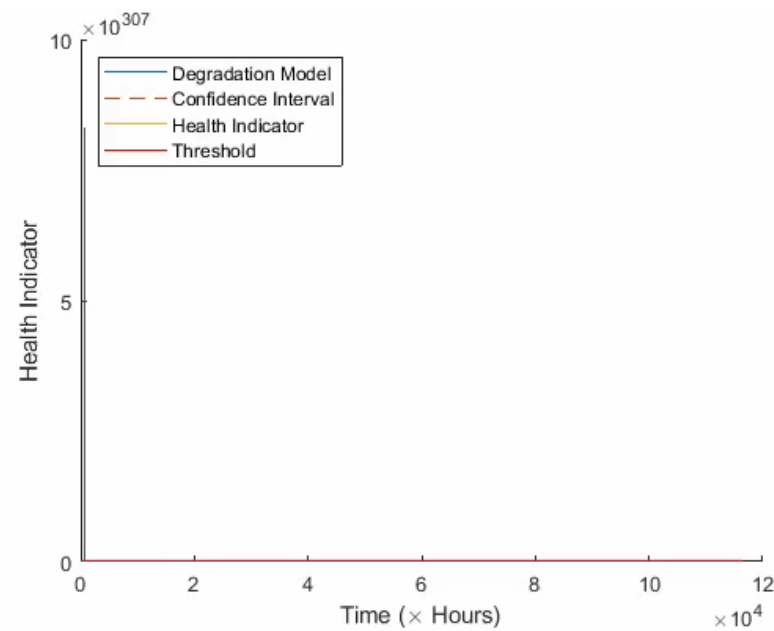
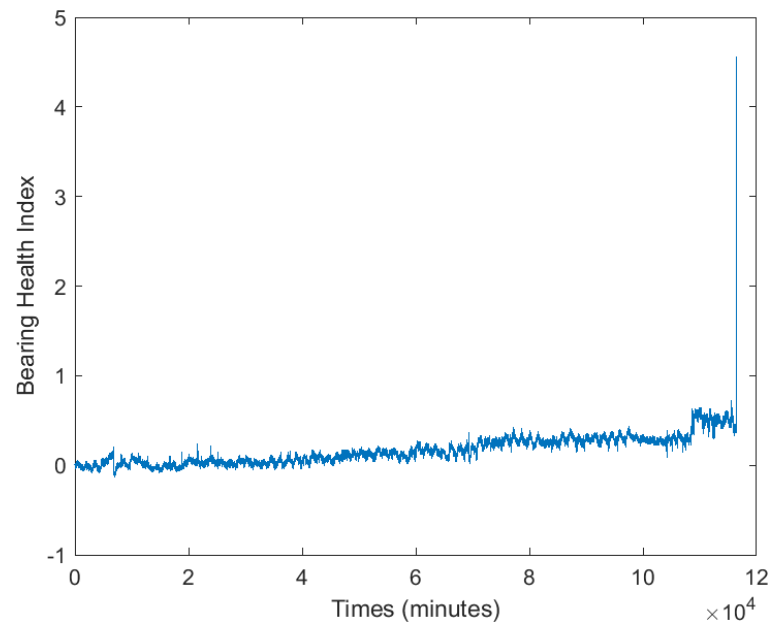


2차 사전 징후
발생 후 높은 진동 유지

Prognosis – Bearing

✓ MATLAB : Exponential Degradation Model

* Predictive Maintenance Toolbox
- RUL prediction model



Prognosis – Experiment (Accelerated Life Testing)

☑ 내구수명 시험 설계

- 대상 : 55kW 입형 다단 원심펌프
- 모델명: DXRF155-3
- 내부부속 사양 :
1단 : 168.5mm, 2단 : 159.5mm, 3단 : 155mm
- 시험규격 :
[1] KS A 5608, 가속수명시험 규격
[2] RS B 0069, 입형 다단 원심펌프 신뢰성 평가 기준

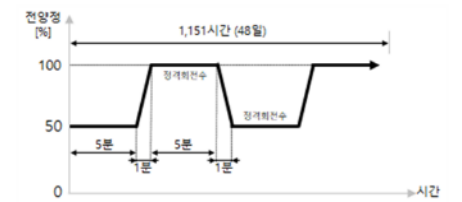


그림 1-4. 가속 내구수명 시험을 위한 펌프 작동/운전 조건

1.5.3 펌프 성능 만족 요건

내구수명 시험에 따른 펌프 성능 만족 여부 평가와 관련하여, 시험 대상 펌프는 가속 내구수명 시험 동안 운전에 따른 소음, 진동, 누수 등의 이상 현상이 없으며, 가속 내구수명 시험 전/후 진행되는 성능 시험을 통한 설계 유량 조건에서의 양정 및 소비전력 측정 결과 성능 저하가 10% 이하이어야 한다.

펌프 내구수명 시험 시료의 크기(n)를 1개로 하여 신뢰수준(CL) 80% 및 불신뢰도(p) 0.1로 형상모사(β)가 2.8인

와이블(Weibull) 분포를 갖는 수명 분포를 기반으로 10,000시간의 B_{10} 수명(B_{100p})을 확인하기 위하여, 다음의 수식을 통해 산출된 1,151시간(48일) 동안 가속 내구수명 시험을 실시함

- 무고장 시험 시간(t_n) : 26,476시간
$$t_n = B_{100p} \cdot \left[\frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}} = 1.0 \times 10^4 \cdot \left[\frac{\ln(1-0.8)}{1 \cdot \ln(1-0.1)} \right]^{\frac{1}{2.8}} = 26,476 \text{ hours}$$

- 가속 계수(AF , RS B 0069:2004 해설서 참조) :
$$AF = \left(\frac{P_{test}}{P_{field}} \right)^n \times \left(\frac{\omega_{test}}{\omega_{field}} \right)^n \times \exp \left[\frac{E_A}{k} \left(\frac{1}{T_{field}} - \frac{1}{T_{test}} \right) \right]$$

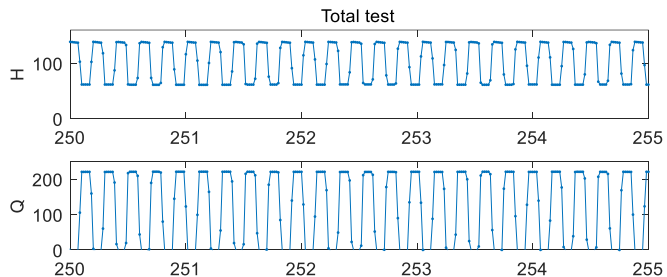
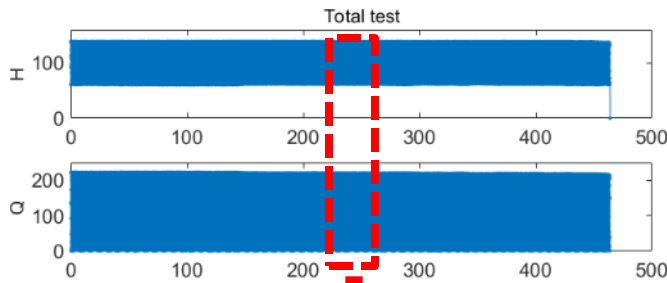
- 가속 내구수명 시험 시간(t_{na}) : 1,151시간(48일)
$$= \left(\frac{1.25P_{field}}{P_{field}} \right)^{5.1} \times \left(\frac{1.43\omega_{field}}{\omega_{field}} \right)^{5.1} \times \exp \left[1,200 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{313} \right) \right] \approx 23$$

$$t_{na} = \frac{t_n}{AF} = \frac{26,476}{23} \approx 1,151 \text{ hours}$$

Prognosis – Experiment (Impeller Failure)

✔ 임펠러 고장 발생 (6월 8일 ~ 6월 27일, 19일 8시간 운전)

시험 시작
(22.6.8 12:06)



진동/소음 심각
(22.6.27 17:00 경)



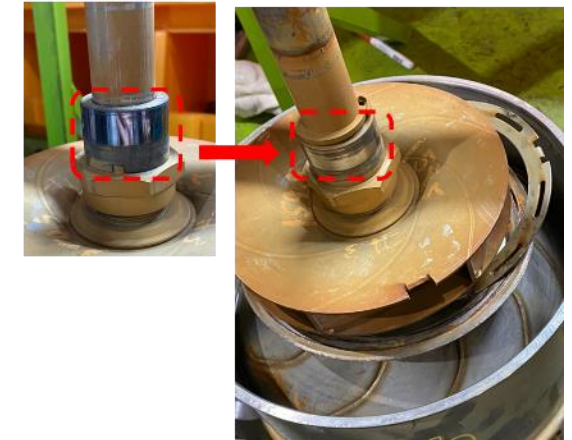
동작 불가
(22.6.27 20:00 경)



2단 임펠러 마찰마모



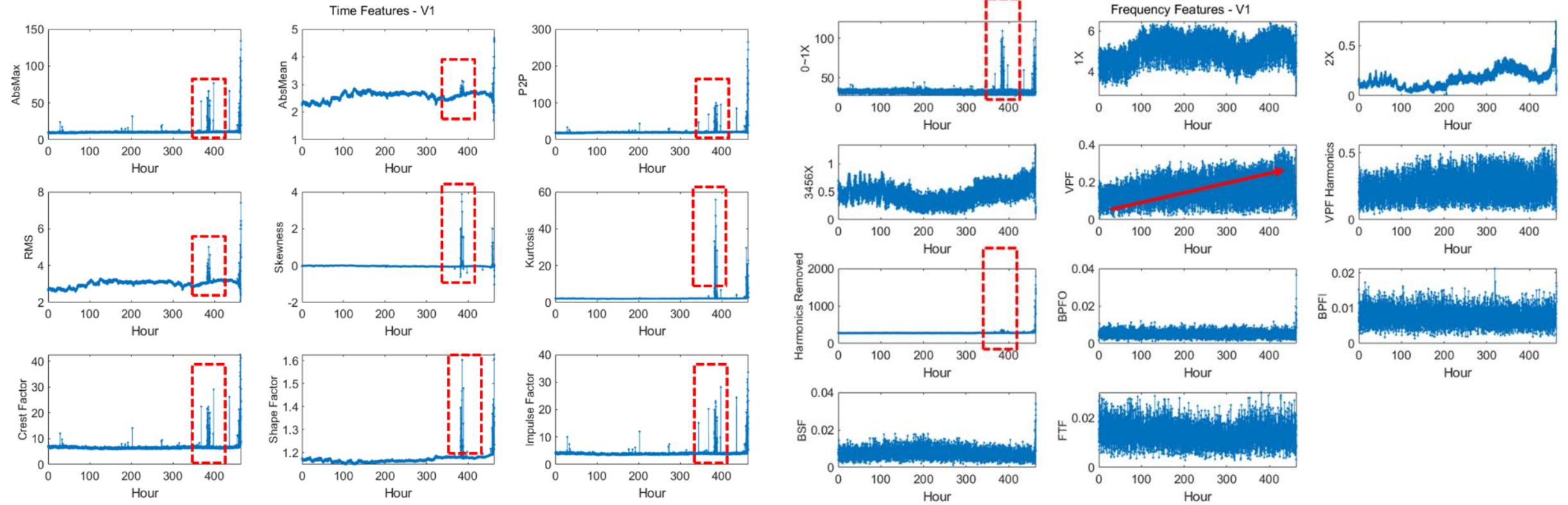
2단 임펠러 체결부위 불량 의심



2단 임펠러 하부와 1단 디퓨저 상부 간 마찰/간섭으로 인해 내부 협착 및 과전류 발생

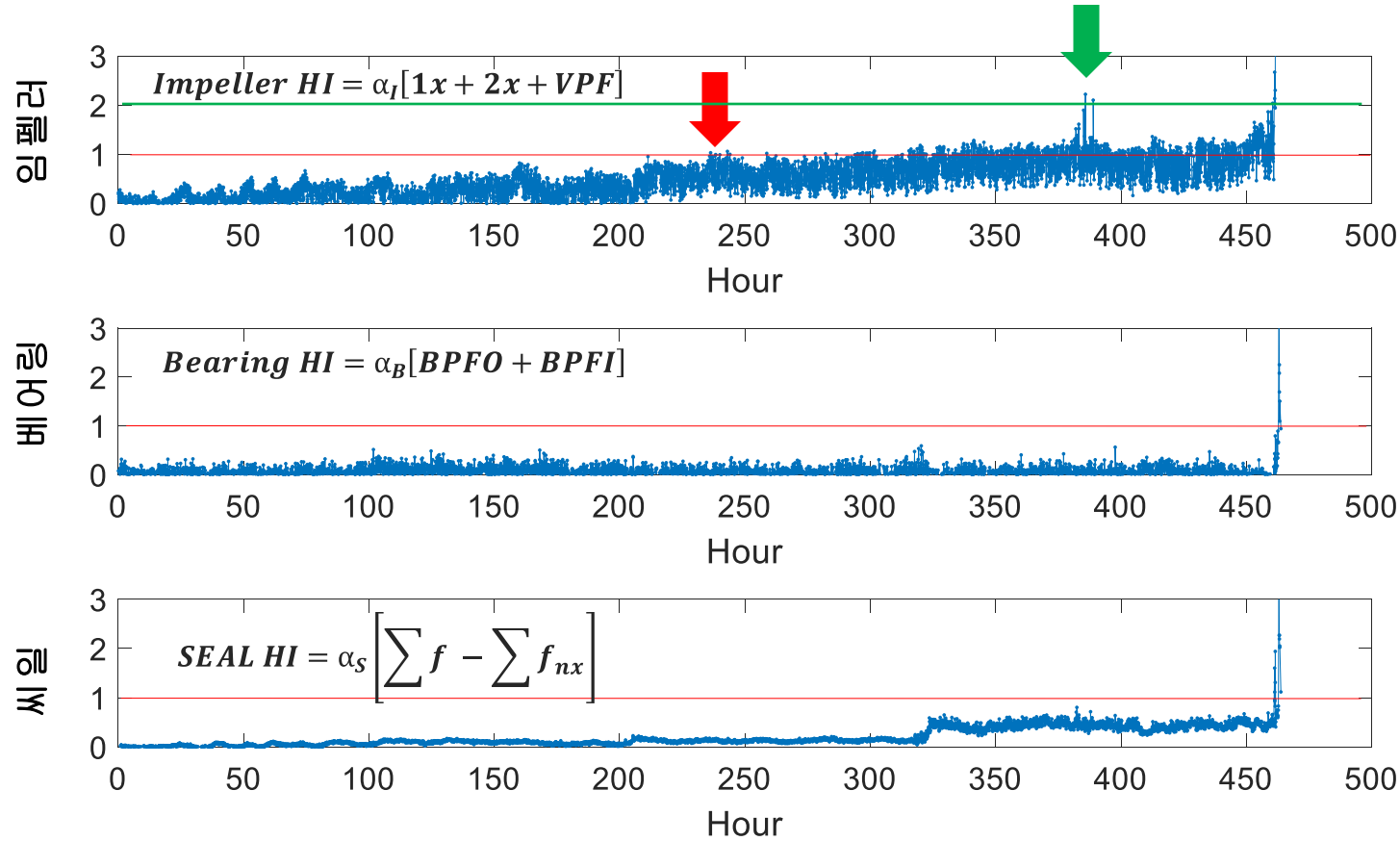
Prognosis – Feature Analysis

✔ 시간 및 주파수 영역 특성인자 추출



Prognosis – Impeller (Health Index)

☑ 부품별 건전성 인자 분석(고장 부품 판별)

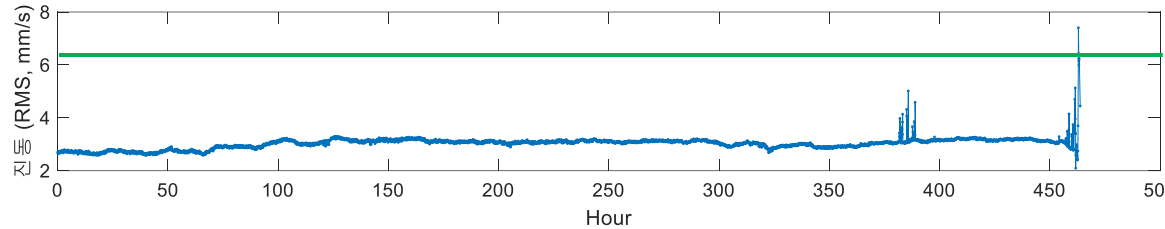


Shut down 226시간 전에 임펠러 고장이 예측, 80시간 전에 비상 정지 한계 예측

Prognosis – Impeller (Health Index)

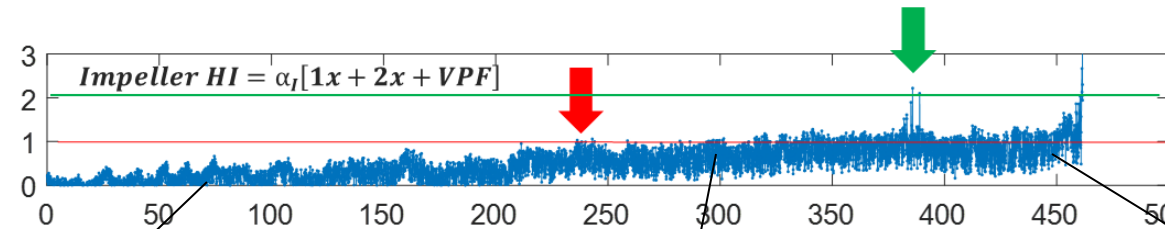
✓ RMS vs. Proposed Impeller Health Index

As-Is



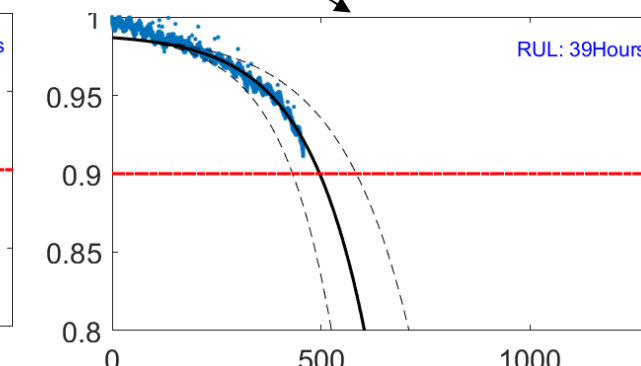
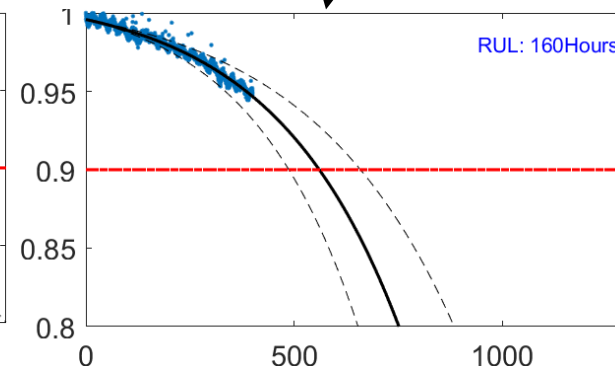
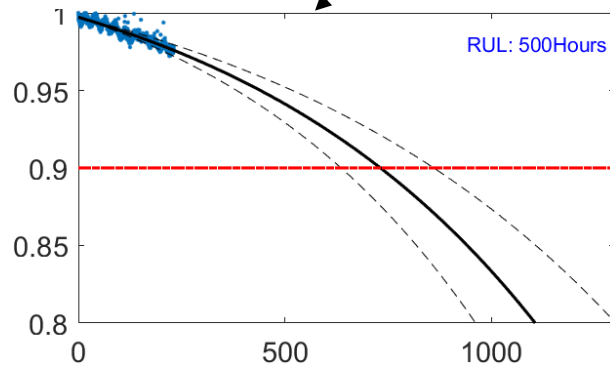
ISO 10816-7
 최대 경보 한계 6.4mm/s
 → 진단 불가능

To-Be



임펠러 고장 이상을 예측
 → 예측 진단 가능

잔여수명 예측



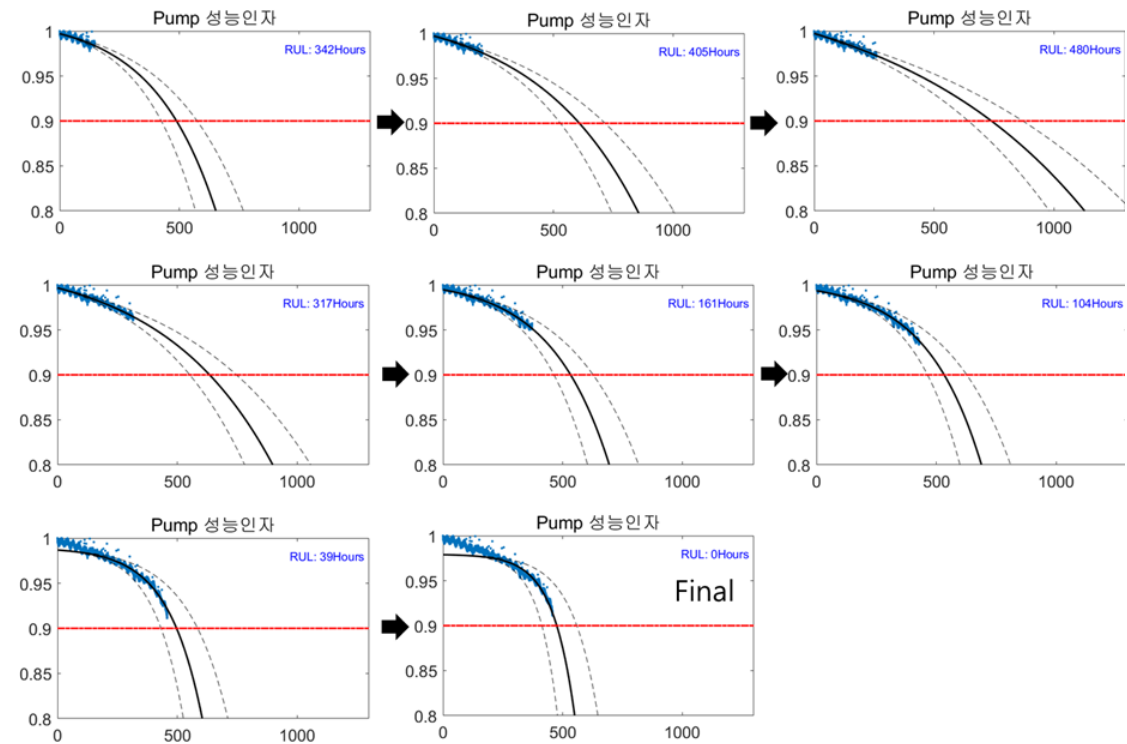
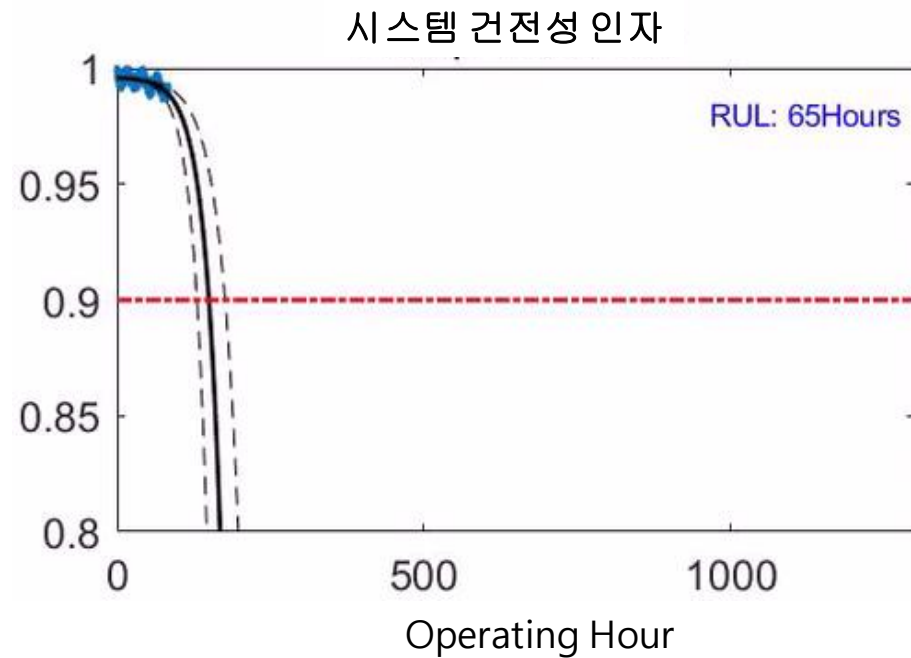
Machines don't die; ... they're murdered! (Bennett Rod)

Prognosis – Pump Performance

Performance RUL Prediction

Exponential 모델

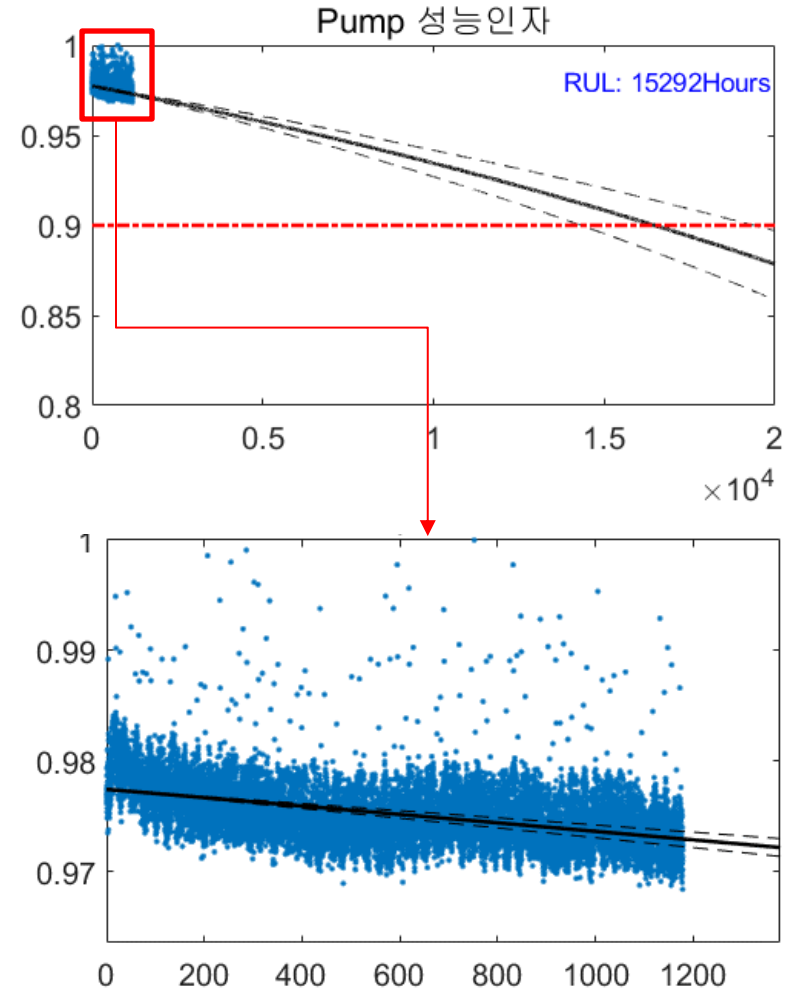
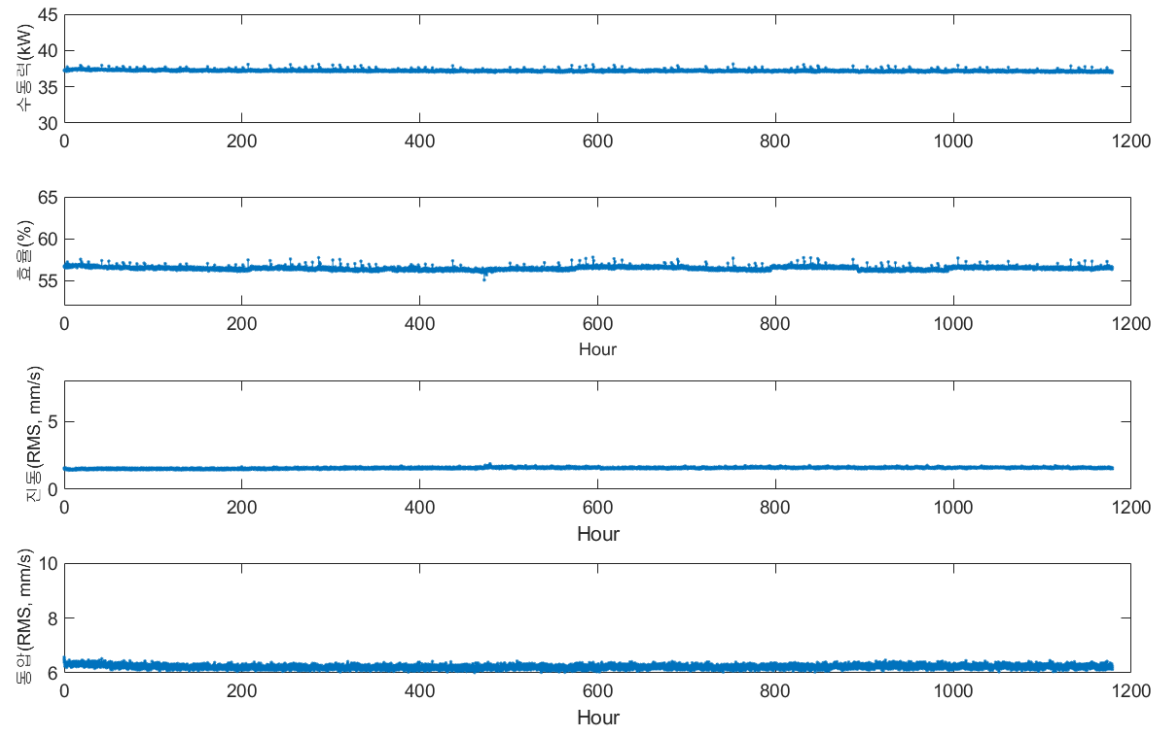
$$(HI_{system} = A \times \exp(Bt) + C)$$



성능 10% 저하 시 잔여 수명 0 시간

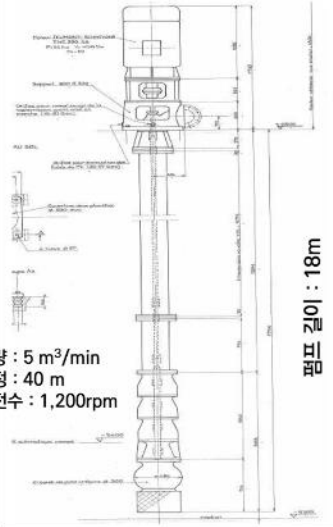
Prognosis – Evaluation

☑ 동종의 다른 펌프에 대한 가속 내구시험 결과
: 합격



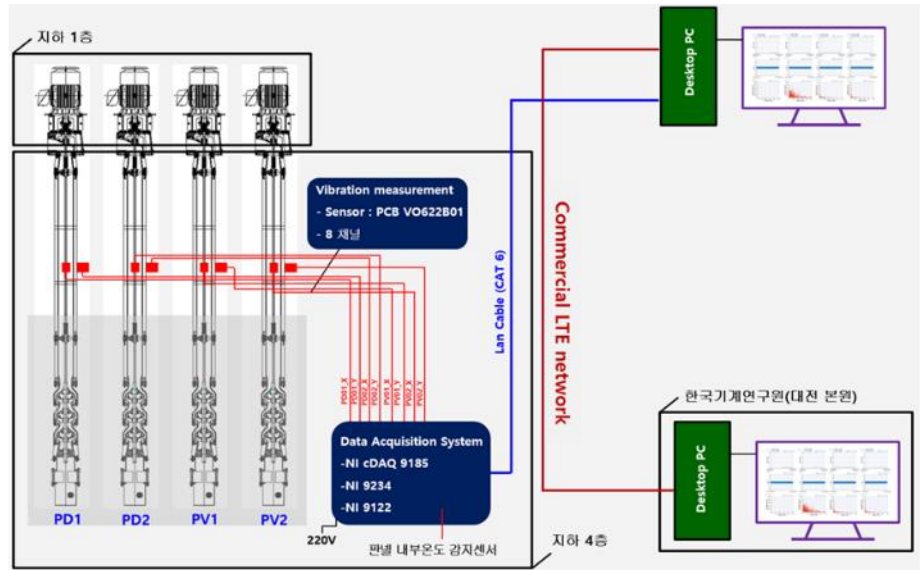
Prescriptive Maintenance

Start-up/Commissioning 단계, 초기고장

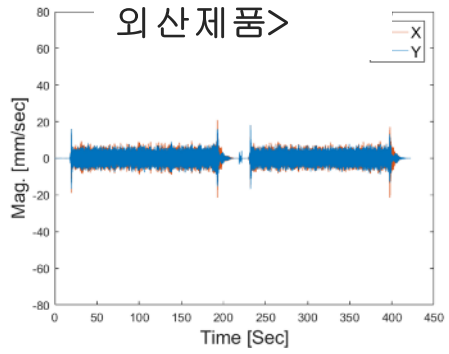


Maker : Jeumont-Schneider → 국산화

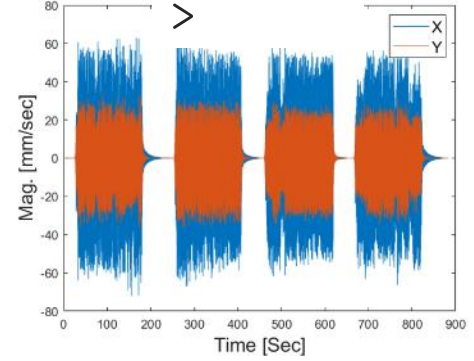
KIMM 원내 모니터링 시스템 구축 및 장기 데이터 취득 (21.7 ~ 22.3)



<기존 외산제품>



<국산제품>

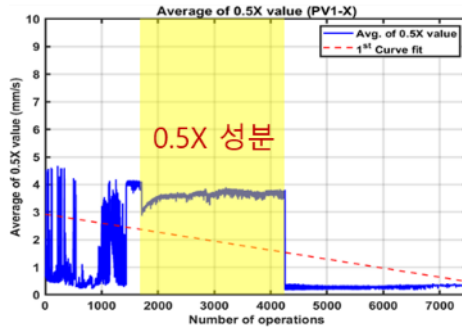
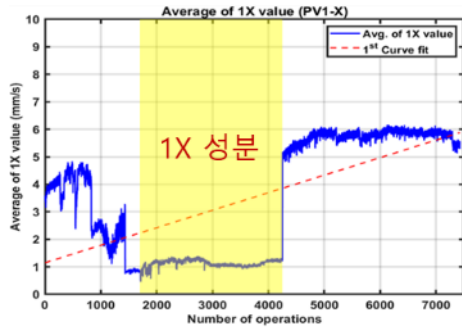


- 1) 2021. 7/9~7/21(카본 베어링, 축방향 groove 無)
- 2) 2021. 7/21~8/12(PD1 : 신규 카본베어링(축방향 groove 有), PD2 : Peek 베어링(축방향 groove 無))
- 3) 2021. 8/12~8/24(구름 베어링 추가),
- 4) 2021. 8/28~9/6(PV1 HBV peek 베어링으로 교체),
- 5) 2021. 9/23~11/8(PV1 베어링 틈새 증가)
- 6) 2022. 1/24 ~ (PV1 : 신규 카본 베어링 (축방향 groove 有), PV2 : 신규 peek (축방향 groove 有))

Prescriptive Maintenance

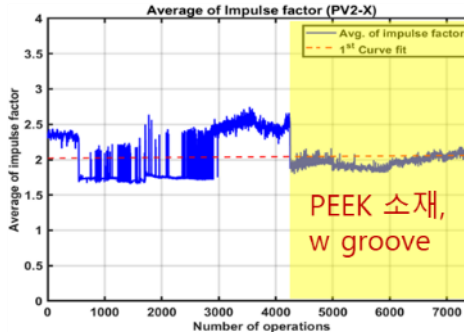
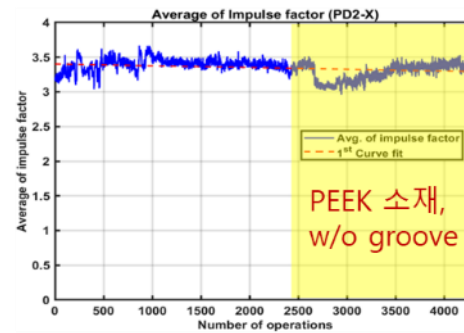
장기 데이터 분석 (21.7 ~ 22.3)

❖ 베어링 간극



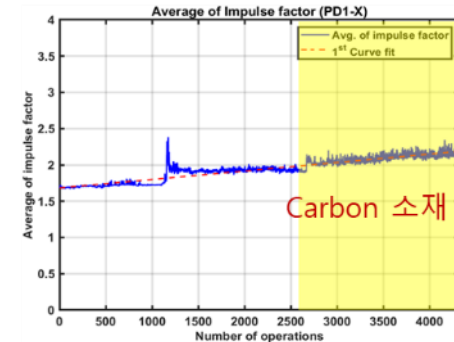
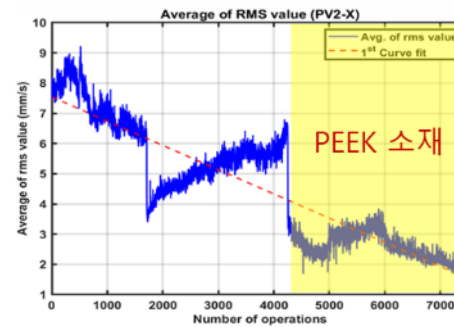
베어링 간극을 크게 할 경우,
1X 성분은 줄어드나 0.5X
성분이 증가하여 이득이 없음

❖ 베어링 형상 (그루브)



axial groove 가 있는 경우
Impulse factor 값이 낮아지고,
RMS 값도 낮아짐

❖ 베어링 소재



Carbon 소재 베어링의 경우
Impulse factor 값이 점차적으로
증가하는 추세

진단 결과에 따른 최종 개선

◆ 가이드 베어링 간극

: 0.12~0.14 mm

◆ 가이드 베어링 소재

: PEEK with axial groove

◆ 로터 샤프트 간 연결

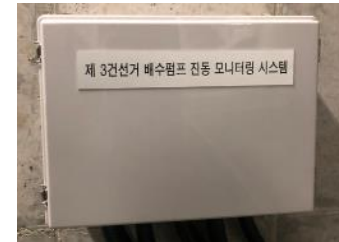
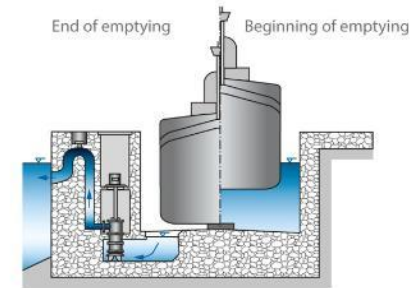
: Stopper type

설비의 도입 단계에서 발생하는 초기 고장을 진단하고, 설계 개선으로 설비의 신뢰성 확보

Preventive Maintenance

End of Life 단계, 마모고장

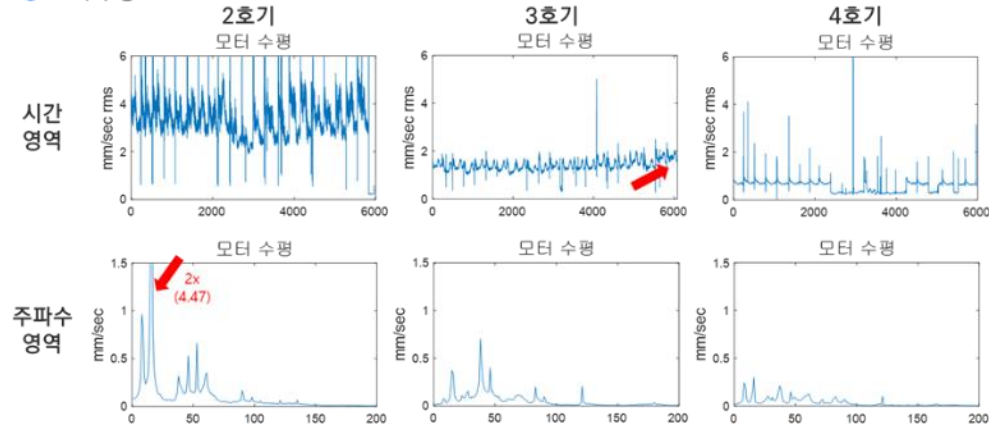
- ✔ 해군 정비창 건설거 배수 펌프 (1~4호기, 2004년 도입)
 - 필요성: 내구연한이 도래한 배수펌프의 상태감시 시스템 부재로 설비 및 작업자의 불안요소 가중
 - 방안 : 제 3도크 실시간 진동 계측 및 모니터링/경보 시스템 구축
 - 설치 대상 (펌프 4대): 700 KW 이상 메인 배수펌프 1~4 호기
 - 설치 센서 : 속도 센서 (VO622B01) 16채널 (4채널/1호기)
 - 설치 : 21년 4월 21~22일 공사 (2~4호기), 1호기 추가 설치 완료 (22. 1. 18)
 - ISO 10816-7 적용, 사용자 VOC를 반영하여 SW update 2차 완료 (22. 5. 19)



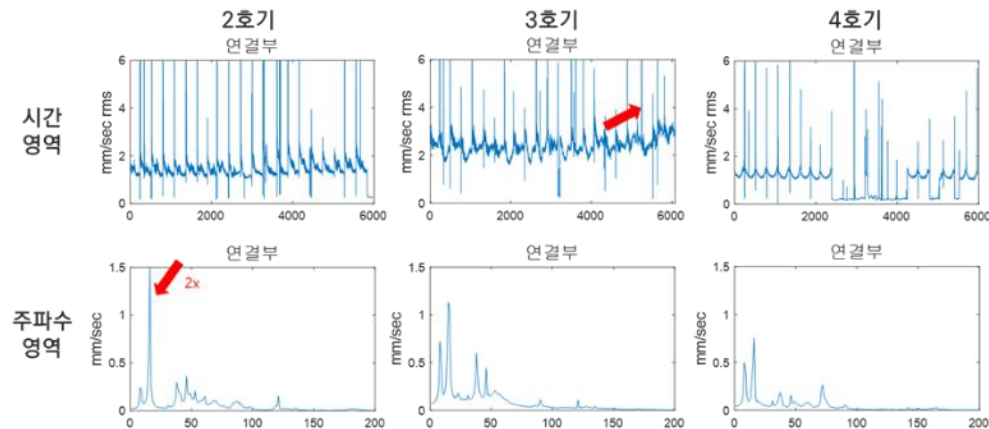
Preventive Maintenance

장기 데이터 분석 (21.4 ~ 22.1)

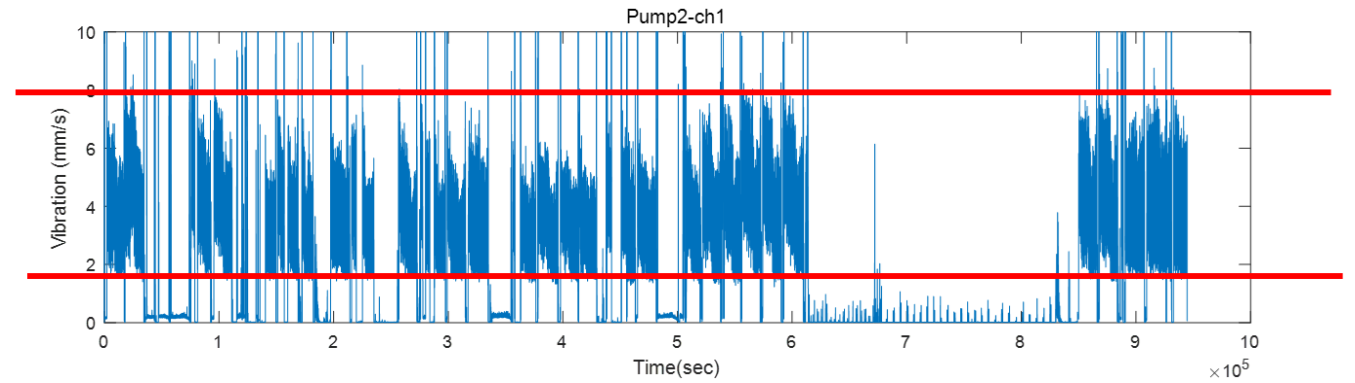
모터 수평



연결부



장기 데이터 분석 (22.2 ~ 23.2)



<2022년>

- 21년에는 2호기의 진동 수준이 3~5 mm/s 이며, 2x 성분 크기 과다로 Alignment 권고
- 1, 3, 4호기는 양호

<2023년>

- 22년에는 2호기 진동 수준이 전반적으로 상승 추세임 (6.4mm/s 로 경보한계를 넘는 경우 다수 발생)
- 1, 3, 4호기는 양호

Conclusions and Future Works

1. Always **Predictive Maintenance**?

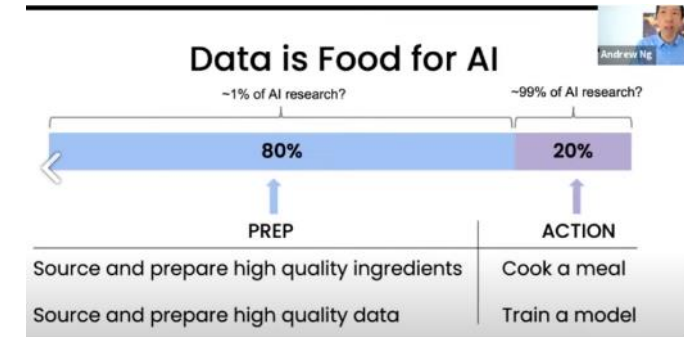
- Sometimes, Prescriptive/Preventive

2. The Key Enabler of PHM

- Sensor & Data Acquisition
- Physical Domain Analysis
- **Wise Data** : AI 성패는 데이터 정리가 80% 결정 (Andrew Ng)
- 전담 조직

3. Proposition

- Health Index Study (Physical & Statistical or AI)
- RUL : Study but don't obsess
- Right Now? : **Continuous Monitoring of Health Index with MATLAB**



MATLAB EXPO

Thank you



© 2023 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [mathworks.com/trademarks](https://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.