



인공지능 기반 기계시스템 예측진단 기술

한국기계연구원

선경호

2019. 2. 13

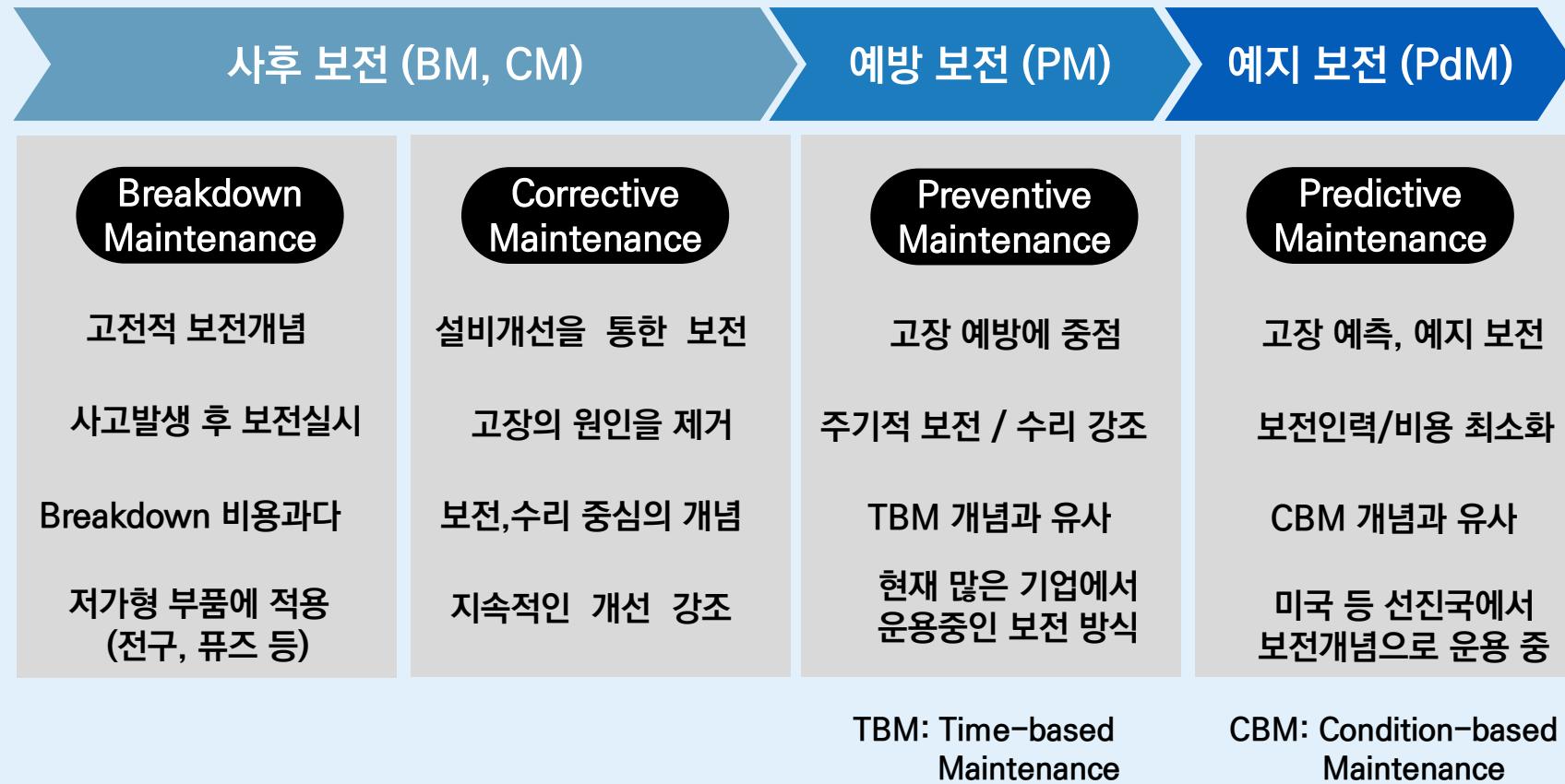


PHM (Prognostics and Health Management)

What is it?

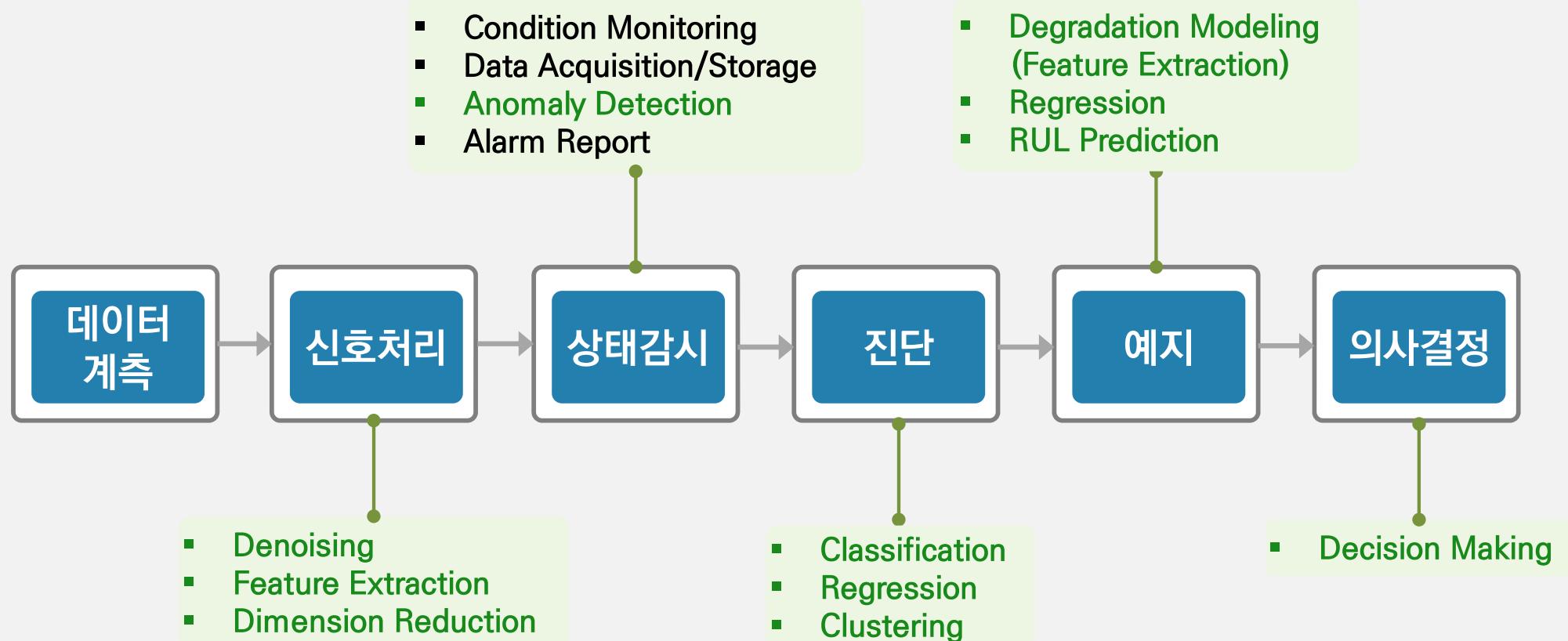
1. **Enhance Diagnostics** – the process of determining the state of a component to perform its function(s), high degree of fault detection and fault isolation capability with very low false alarm rate
2. **Prognostics** – actual material condition assessment which includes predicting and determining the useful life and performance life remaining of components by modeling fault progression
3. **Health Management** – is the capability to make intelligent, informed, appropriate decisions about maintenance and logistics actions based on diagnostics/prognostics information, available resources and operational demand

Maintenance Paradigm Shift



AI accelerates PHM

PHM Procedure



KSPHM Society



The background image shows a large industrial facility, likely a refinery or chemical plant, with tall storage tanks and complex piping systems against a backdrop of a cloudy sky at sunset.

KSPHM
**Korean Society for Prognostics
and Health Management**

PHM(건전성 예측 및 관리) 기술은 기계, 설비, 항공, 발전소 등의 상태 정보를 수집하여 시스템의 이상상황을 감지하고 분석 및 예지진단을 통해 고장시점을 사전에 예측함으로써 설비관리를 최적화하는 기술입니다.

[VIEW](#)



■ 초대의 글

국내외 기업체, 정부출연기관, 대학의 4차 산업혁명 리더 여러분,
안녕하십니까?

4차 산업혁명의 핵심인 건전성 예측관리(Prognostics and Health Management, PHM) 기술의 발전과 체계적 보급, 그리고 인력양성을 통한 산업생태계의 성공적 구축을 도모하고자 지난 2018년 2월 한국PHM학회가 창립되었습니다. 창립 후 첫 정기학술대회를 "Toward Industrial PHM" 이라는 주제로 산업적용 성공사례를 공유하고 논의할 수 있는 다양하고 참신한 프로그램을 준비하고 있습니다.

여러분의 많은 성원과 참여를 고대하며, 최신 PHM기술 동향을 직접 만나 보실 수 있는 이번 행사에 여러분을 초대합니다.

PHM Korea 2019 조직위원장 윤 병 동
사단법인 한국PHM학회 회장 최 주 호

■ 행사개요

- 행 사 명: PHM Korea 2019(한국PHM학회 정기학술대회)
- 일 자: 2019년 4월 10일(수)~12일(금)
- 장 소: 르메르디앙서울호텔(서울시 강남구 소재, 구 리츠칼튼호텔)
- 참가대상: 국내외 기업체, 정부출연기관 및 대학 석박사급 연구원 또는 대학원 재학생

Deep Learning & ImageNet

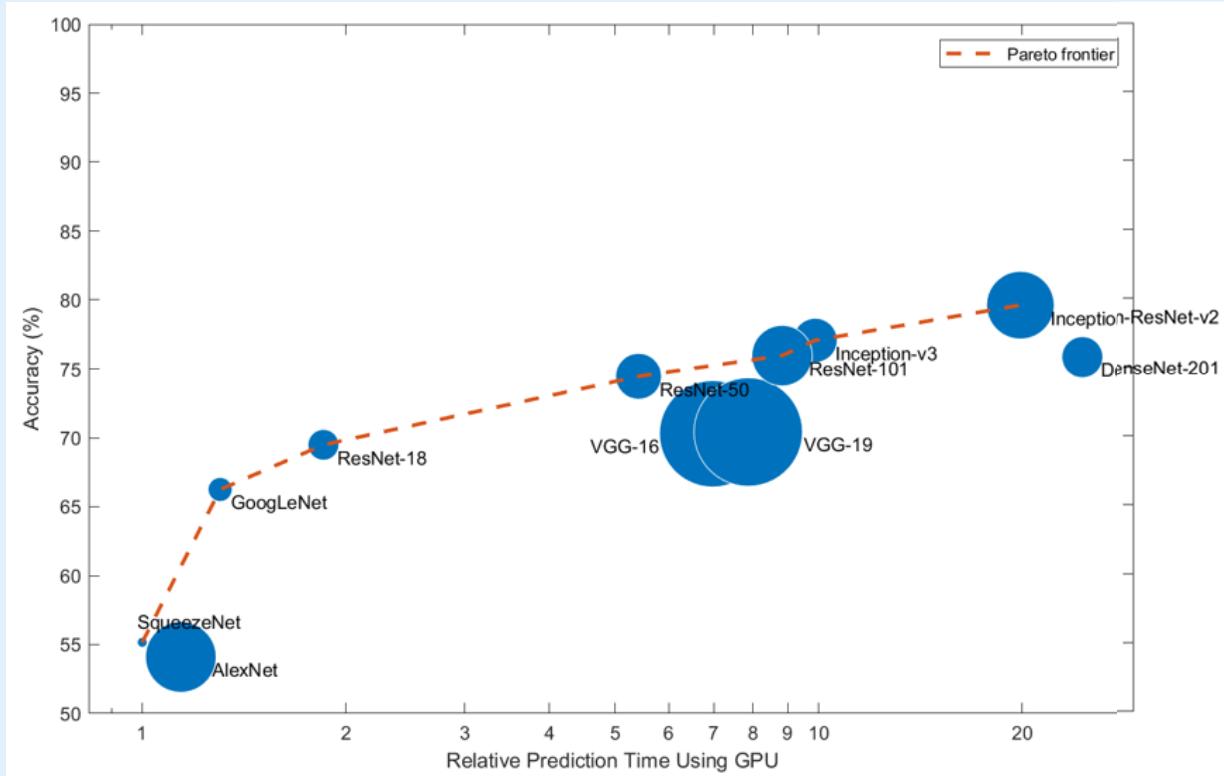


Prof. Li Fei Fei, 22,000 레이블, 1,500만장 이미지, 2009

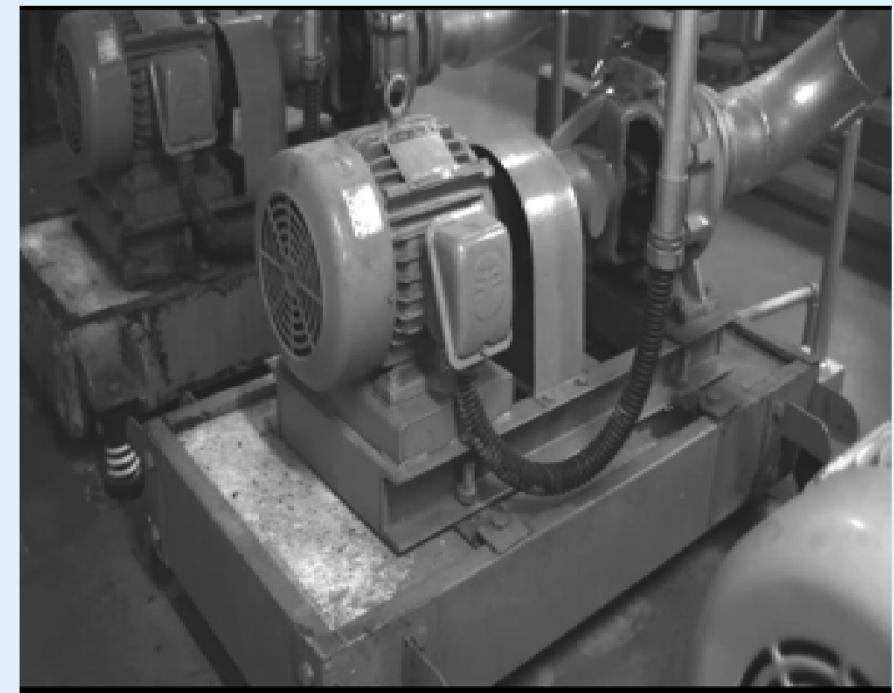
ImageNet



ISVRC: ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge



Winner Network



이 물체는 무엇일까요?

Image Classification

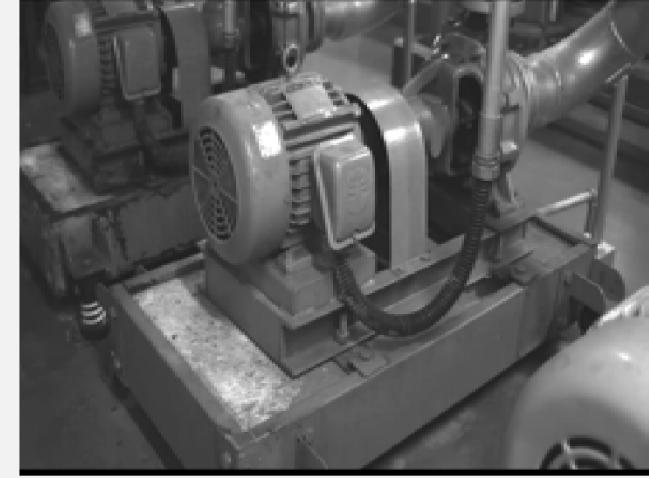
AlexNet

projector



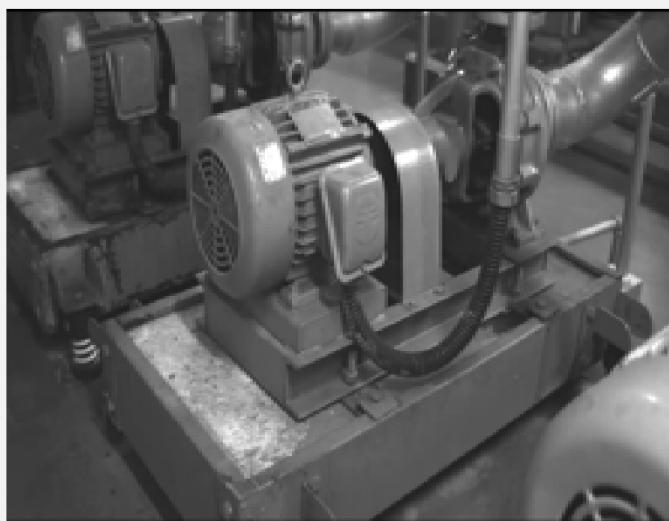
GoogleNet

projector



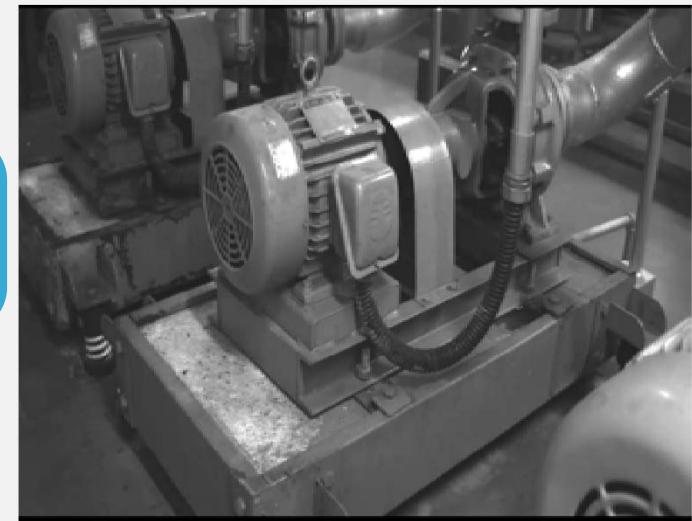
VGG19

dishwasher



Inception
-ResNet
-vs2

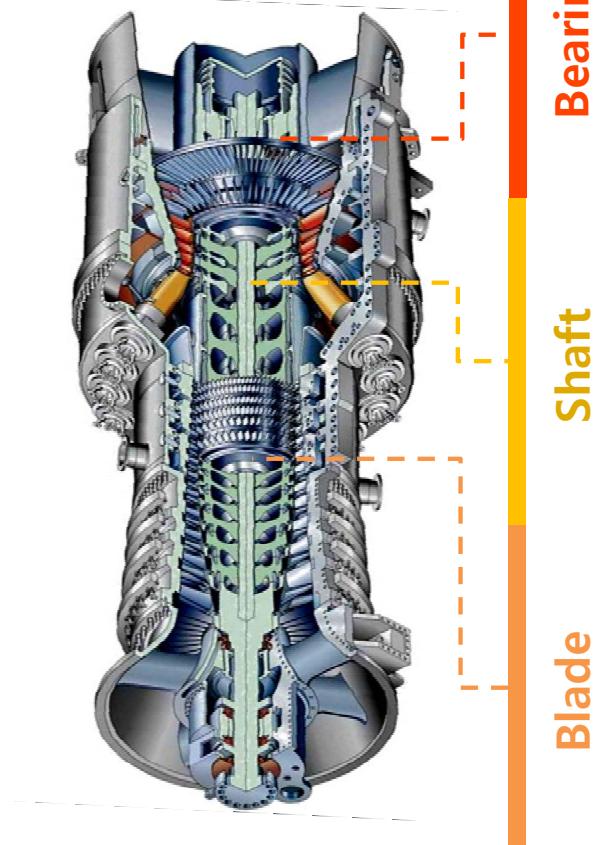
gas pump



연구보안 관계로 자료 미공개

고속회전기계 진단기술

Ex) 가스 터빈



Critical Component Failure Mode	Common Measure & Algorithm
<ul style="list-style-type: none"> Abrasion scratch, Babbitt Bond failure, Surface wear, Pivot wear, ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Vibration, Oil debris/temp., FT, STFT, Wavelet Transform, Neural Networks, FDA Support Vector Machine, Hidden Markov Modeling, Fuzzy Logic, Etc.
<ul style="list-style-type: none"> Unbalance, Misalignment, Rubbing, Crack, Bending ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Vibration - FT, STFT, Wavelet Transform, Fuzzy Logic, FDA Support Vector Machine, Autoregressive Model, Energy Index Analysis, Etc.
<ul style="list-style-type: none"> Breakage, Crack, Rubbing, Fatigue, ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Vibration, Tip clearance, Casing Pressure - FT (Blade pass frequency), STFT, Wavelet Transform, BTT (Blade Tip Time), Etc.

고속회전기계 진단기술

로터/베어링 시스템

구동시스템 DAQ 시스템

윤활시스템 모니터링 시스템

냉각시스템

로터 중량: 105 kg, 10,200 rpm 구동 (대형 turbine과 선속도 matching)

회전속도, 베어링 온도 감시
모터코어, 베어링 온도 감시
오일 입/출구 온도, 베어링 온도, 축진동, 하우징 진동감시

4 채널
5 채널
18 채널
DAQ (3 engine module)
Ethernet 통신
실시간 데이터 처리/상태감시 SW

<Measured data>

축진동 4chs (상대진동)
베어링 하우징 진동 2chs (절대진동)
베어링 메탈온도 6chs
베어링 윤활온도 4chs
회전속도 1ch

Tilting pad type fluid film bearing

<질량불균형>

Unbalance Weight

ISO G0.4 ~ G 13.7 unbalance

<축정렬불량>

Shim plate

Horizontal: 150~450 μm
Vertical: 300~900 μm

<마찰 진동 (Rubbing)>

Labyrinth seal

Mechanical seal contact, direct contact

<베어링 메탈 마모>

Partial Babbitt metal wear: 10, 20, 30 μm

<베어링 피봇 마모>

Wear on the back of tilting pad: 20 μm

고속회전기계 진단기술

<사용된 특징(Features)>

Time	Feature1	Maximum
	Feature2	Absolute Mean
	Feature3	peak2peak
	Feature4	Skewness
	Feature5	Kurtosis
	Feature6	Crest factor
	Feature7	Shape factor
	Feature8	Impulse factor
Frequency	Feature9	Frequency center
	Feature10	RMSF
	Feature11	0.5X/1X
	Feature12	2X/1X
	Feature13	(3X~5x)/1X
	Feature14	(3X,5x,7x,9x)/1X
	Feature15	(2X~10x)/1X
	Feature16	(0.01X~0.99x)/1X
Temperature	Feature17	Pad1- supply temp.
	Feature18	Pad2- supply temp.
	Feature19	Pad_top - supply temp.
	Feature20	Pad2 - Pad1
	Feature21	supply temp. - discharge temp.

<분류 정확도>

Features Machine Learning	Time	Freq.	Temp.	Conventional Vibration-based diagnosis	Proposed Vibration+Temp. diagnosis	비고
				Time + Freq.	Time + Freq. + Temp.	
K-nearest Neighbor (kNN)	87.8%	79.5%	90.1%	92.1%	96.2%	k=5
Decision Trees	83.7%	82.6%	86.7%	90.3%	93.5%	.
Naïve Bayes	76.2%	68.7%	80.7%	74.3%	92.2%	kernel
Discriminant Analysis	55.7%	67.3%	67.4%	79.9%	92.2%	.
Support Vector Machine	65.3%	67.2%	83.7%	80.4%	96.4%	Linear kernel
Ensemble: Bagged Trees	87.3%	84.3%	88.2%	94.1%	98.7%	50 learning cycles
Artificial Neural Network (ANN)	79.3%	77.5%	87.9%	90.2%	96.2%	# of hidden-layer neurons=60

- ◆ 학습 데이터: 70분, 7.5GB (1set per 1min.)
 - Normal state 26 set
 - Shaft fault mode: Unbalance 12 set, Misalignment 12 set, Rubbing 9 set
 - Bearing fault mode: Metal wear 9 set, Pivot sear 2 set

연구 대상



 해당 분야 성과 (시스템다이나믹스연구실)

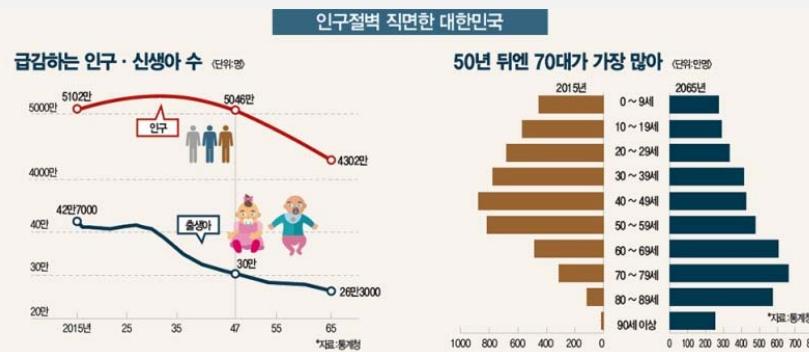
- 풍력 상태감시 및 고장진단 기술분야 (국제인증, 최근 5년간 정부사업 123억원)
- 고속 회전기계 진동저감 분야(최근 7년간 민간수탁 35억원)
- 지난 20년간 대한민국 주요 함정 (약 20종)에 대해 진동 / 소음 / 충격 / 생존성 분야 독자기술을 적용하여 성공적인 함 건조 및 해군 전력화에 기여 (최근 5년간 민간수탁 350억원)



시장 현황 및 이슈

전문인력 감소

■ 인공지능 기술 도입을 통한 전문인력 감소 대비



- 전문인력 고령화/은퇴로 인한 기술 노하우 손실
- 인구감소로 인한 대체 인력 부족
- 안전사고 대비에 대한 의식의 고취
- 인공지능 기술에 따른 안전 기술의 혁신



승조원 수 감소

■ 자동화/자율화 기술 개발을 통한 승조원 수 감소 대비



- 복무기간 단축 및 인구감소
- 전투/운용 등의 자동화 필요



연구 개요



연구 분야

- 발전 플랜트 대상
- 능동기기: 동적 건전성 중요
- 예측정비가 중요한 시스템
- 내부적 요인에 의한 고장

- 효과적인 학습 네트워크 설계
- 물리기반 융합형 네트워크 개발
- 해석 가능한 딥러닝 기술
- Imbalance 데이터 생성 기술

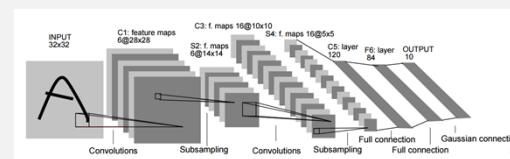
- 해군 함정 대상
- 수동기기: 정적 건전성 중요
- 손상 복구가 중요한 시스템
- 외부적 요인에 의한 고장

적용 분야

- 보일러 급수펌프 시스템



- 진단 및 제어를 위한 인공지능



- 소화 주관 시스템



연구개발 개략도

빅데이터 기반 구축

학습 및 알고리즘 개발

AI기반 응용 소프트웨어



예측진단

특수용 펌프 테스트
시설 구축

함정 배관계 테스트
시설 구축

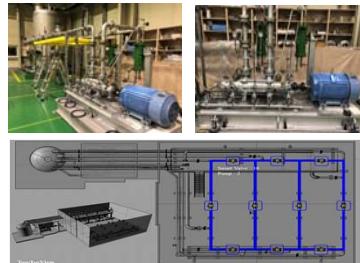
고장 빅데이터 확보
및 알고리즘 개발

사고 시나리오 예측
및 알고리즘 개발

예측진단 S/W

사고대응 S/W

2018



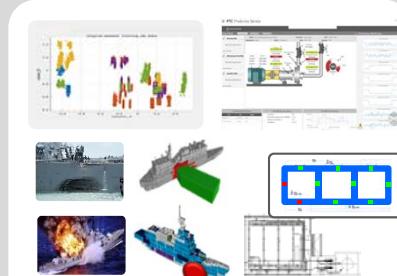
예측진단 및 사고대응
시험설비

2019



빅데이터 확보 및
인공지능 학습

2020

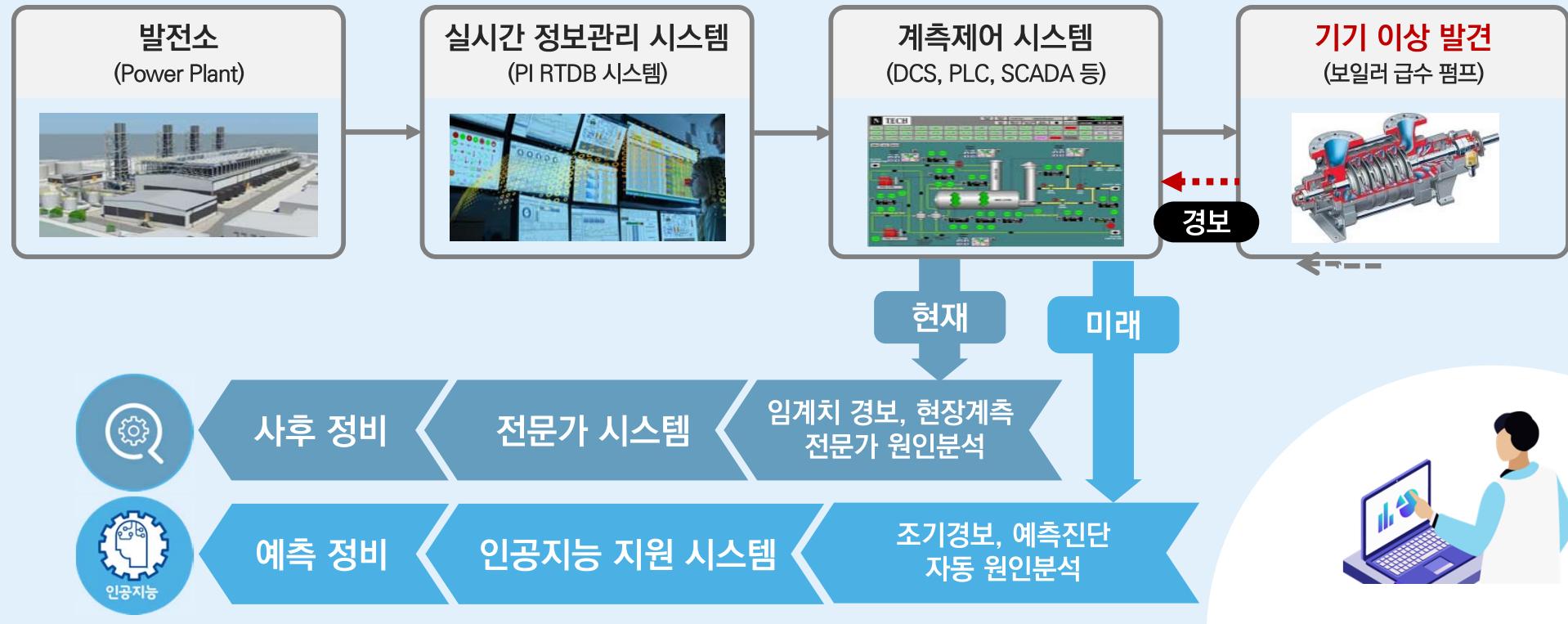


배관계통 기기
진단 및 손상 예측 S/W

예측진단 기술 개요 및 현황



상태감시 시스템 및 유지정비 현황



국내외 연구개발 현황

- ✓ GE: Predix (Cloud-based 플랫폼), Smart Signal (Rule-based)
- ✓ SIEMENSE: Mindsphere (Cloud-based 플랫폼)
- ✓ 한국전력: IDPP (Intelligent Digital Power Plant) – 주기기에 집중
- ✓ SKF: Bearing 예측진단
- ✓ Flowserve: Smart Pump
- ✓ KIMM: 특수용 펌프 및 배관에 집중 연구

감사합니다

한국기계연구원, 책임연구원
선경호 (sunkh@kimm.re.kr)
042-868-7247

