



Doosan Heavy Industries & Construction

발전소 회전기기 진동 원격 감시 및 자동 진단 시스템 소개 [DOOVES-RMS]



두산중공업(주) 선임연구원
명지호

This document is the informational asset of Doosan Heavy Industries & Construction. Thus, unauthorized access, revision, distribution and copying of this document are strictly prohibited.

1

BACKGROUND

2

DOOVES-RMS

3

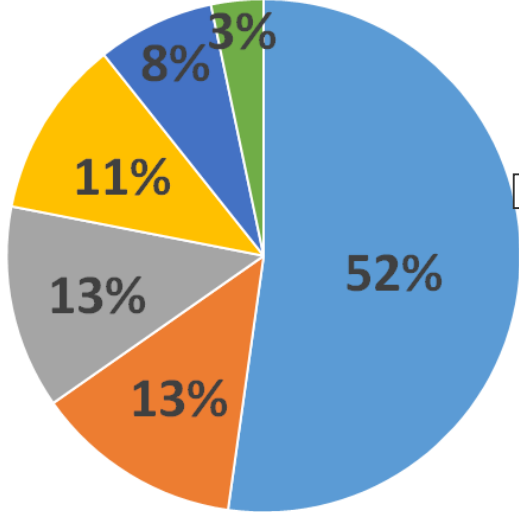
BUSINESS APPLICATIONS

4

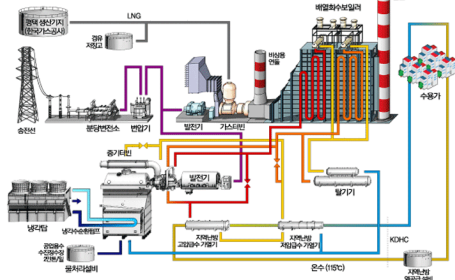
SUMMARY

1. BACKGROUND

발전소 주요 정지 이슈



■ 회전기기 ■ 상탄설비 ■ 통풍장치
■ 배관 ■ 전자장치 ■ 밸브

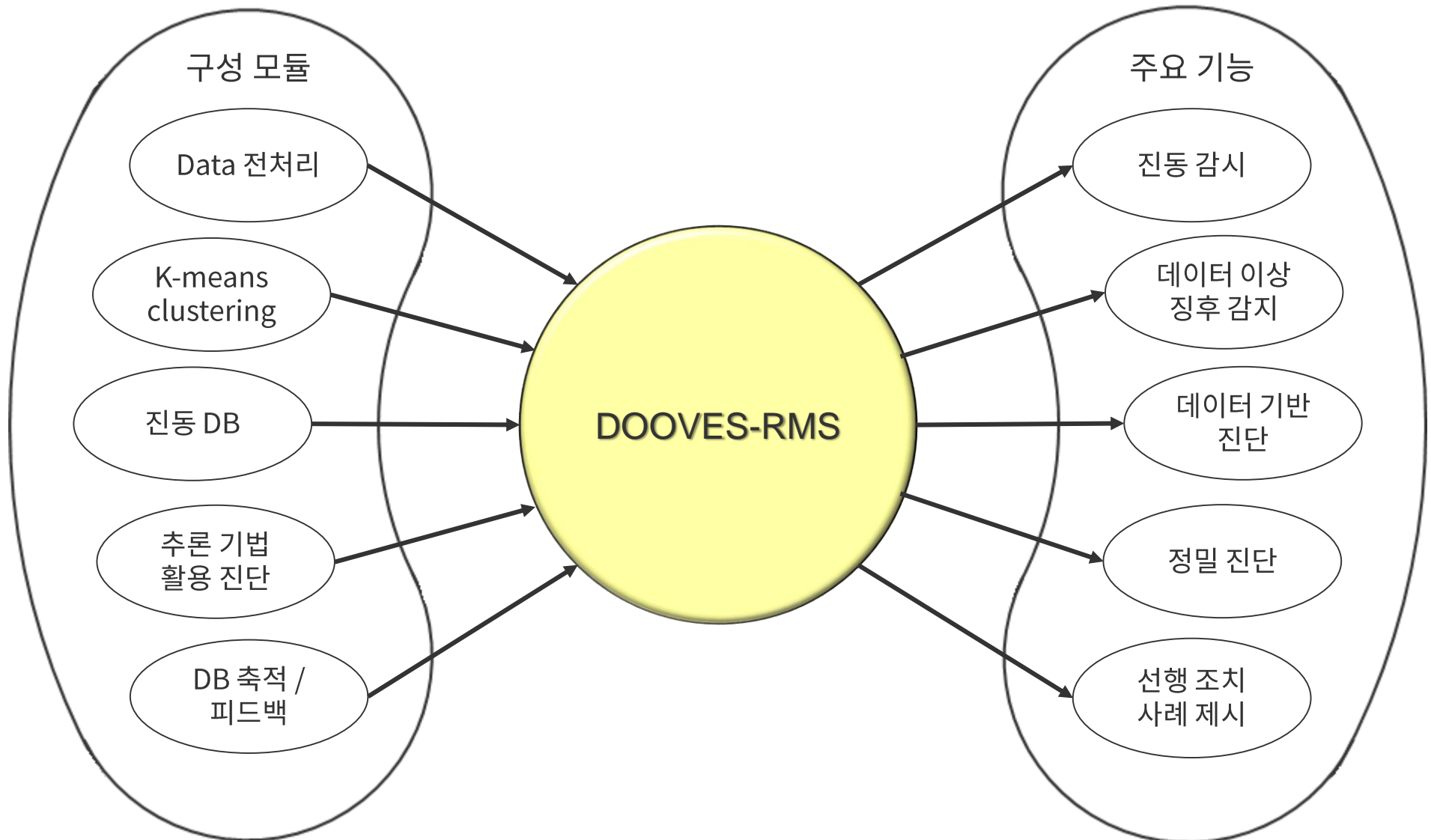


회전기기 이슈

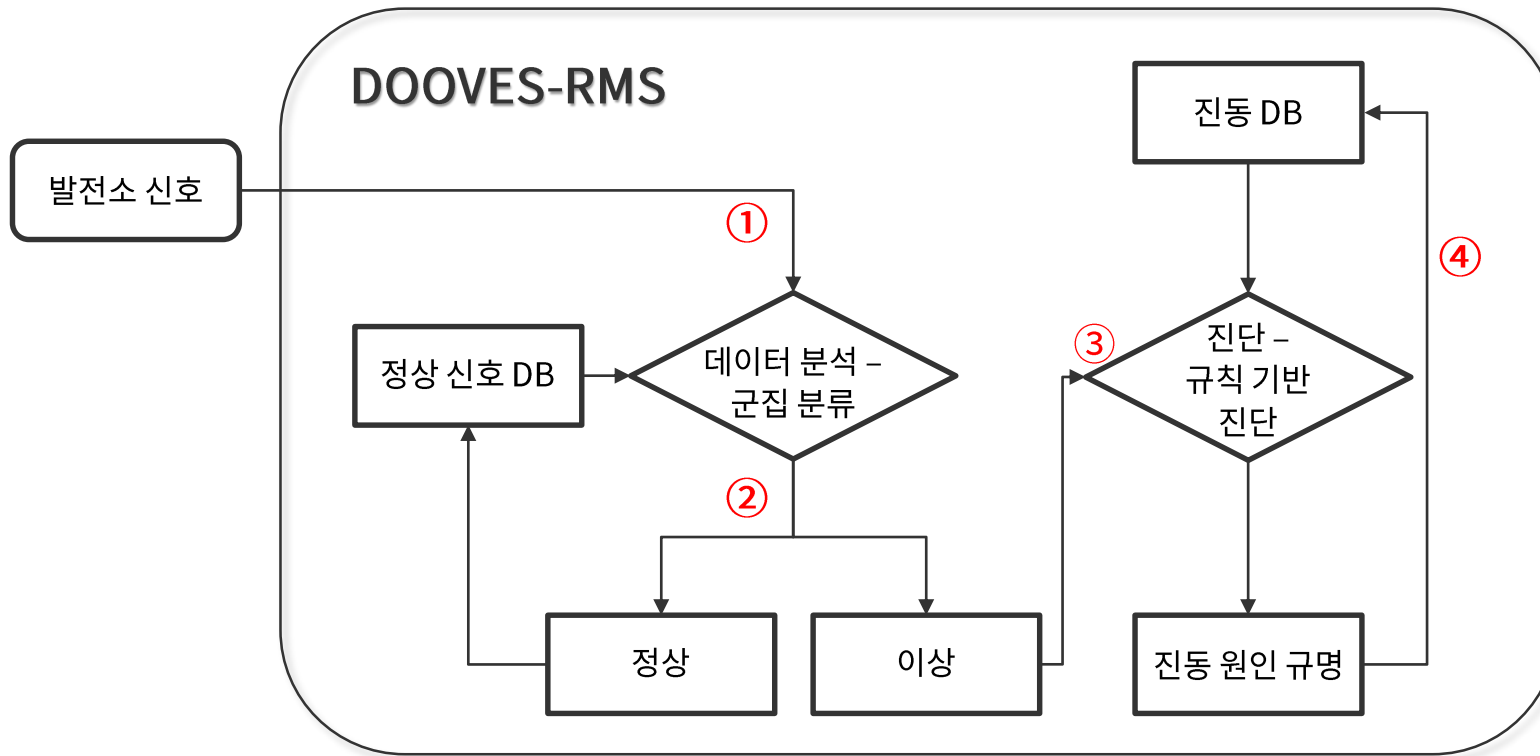
- 발전소 주요 정지 이슈 중 가장 높은 비율
- 대부분의 원인은 진동 발생 이슈
- 진동은 초기 발생시부터 고진동 도달까지 시간이 짧음
- 고진동의 경우 기기의 손상을 유발하여 추가 이슈 발생

진동 이슈 대응을 위한
전문가 시스템 필요

2. DOOVES-RMS* – 시스템 구조



2. DOOVES-RMS – 데이터 분석 / 진단 로직



① 회전기기 데이터 취득
- 원격 데이터 취득 및 모니터링
- Off-line 데이터 취득 가능

② 신호 기반 데이터 분석
- 운전 데이터 전처리
- K-means clustering

③ 사례 기반 진동 진단 규칙
- 진동 DB 기반 진단 규칙
- Fuzzy 로직 등 추론 기법

④ 진단 사례 DB 축적 및 피드백
- 진동 DB 축적
- 진단 weight factor 반영

2. DOOVES-RMS – 회전기기 데이터 취득

적용 기기

증기터빈



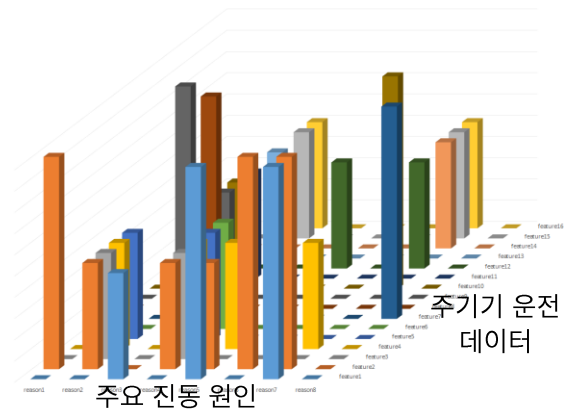
가스터빈



BOP¹⁾ 펌프



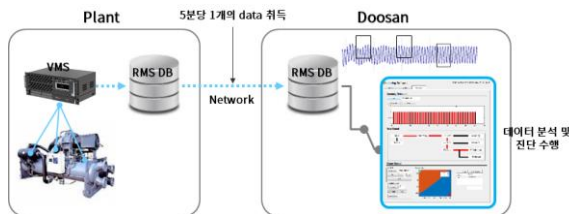
- 증기터빈, 가스터빈, 중대형 펌프 등의 발전소의 주요 회전기기 대상으로 적용
- 각 기기별 별도의 진단 규칙을 적용함으로써 특화된 진동 원인 진단 가능
 - ✓ 증기터빈 : 증기 압력, 온도, 진공도 외 80여개
 - ✓ 가스터빈 : 연소 맥동압력, 가스 온도 외 70여개



진동 원인별 운전 데이터 상관성 그래프

취득 방식

원격 취득



현장 취득



- VMS²⁾ / RMS³⁾ 뿐만 아니라 휴대용 DAQ⁴⁾를 통해 입수된 데이터 분석 가능

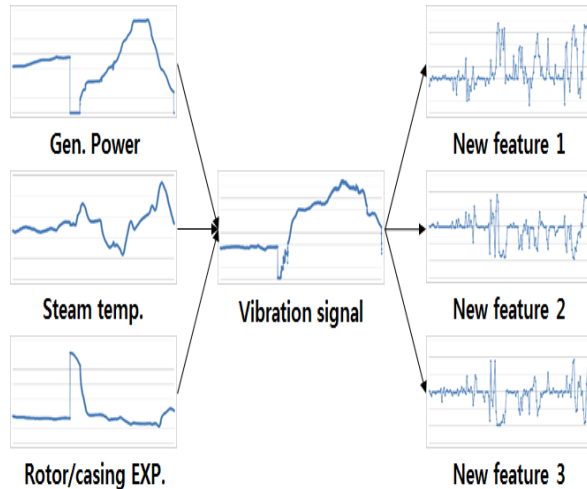
1X amp.	Vib. Overall	Vib. phase	Freq.
Load	RPM	Bearing oil inlet temp.	Bearing oil drain temp.
Bearing pad temp.	Bearing oil press.	Gen. current	DXD(RXD,SXD)
LP vacuum	HP, IP, LP inlet steam temp.	HP, IP, LP inlet steam press.	valve openness
Ext. steam temp.	Ext. steam temp.	case delta temp.	steam seal temp.
steam seal press.	Bearing delta temp.	Thrust bearing inactive/active temp.	Thrust bearing inactive/active delta temp.
...

진동 진단용 운전 데이터 태그 리스트

- 1) BOP : Balance Of Plant, 발전소 설비 중 보일러, 주기기를 제외한 나머지 설비의 총칭
- 2) VMS : Vibration Monitoring System, 발전소 주기기 대상 진동 신호 취득 장비
- 3) RMS : Remote Monitoring System, 발전소 운전 신호의 원격 감시 장비
- 4) DAQ : Data Acquisition, 데이터 취득 장비의 총칭

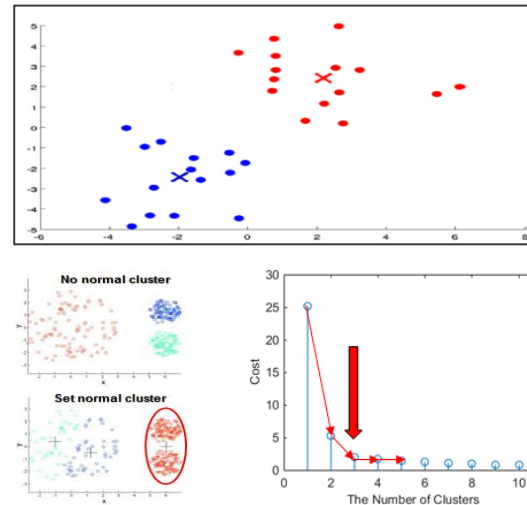
2. DOOVES-RMS – 신호 기반 데이터 분석

데이터 전처리 단계



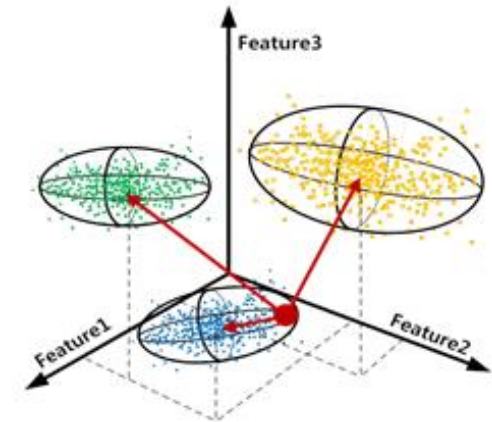
취득 운전 데이터의 전처리 수행
 - 운전 데이터와 진동 신호간 상관관계가 적용된 feature 도출
 - 진동 원인별 군집 명확성 향상을 위한 R-square 추출

데이터 분석 알고리즘 적용 단계



K-means clustering 수정 적용
 - K값 자동 산출용 정상 군집 학습
 - K값 변화에 따른 군집 분류 가중치

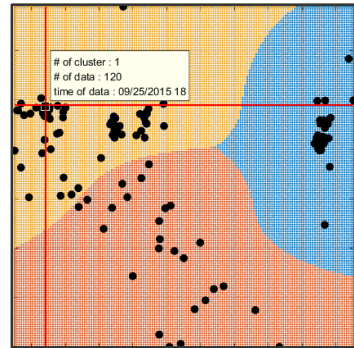
특성별 데이터 분류 단계



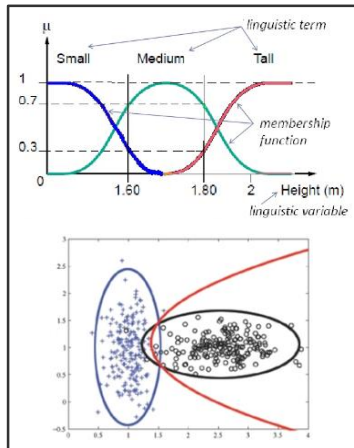
분석을 위한 데이터 추출
 - 진단을 위한 군집별 데이터 추출
 - 추출된 데이터간의 통계 정보 활용으로 특성 정의

2. DOOVES-RMS – 사례 기반 진동 진단

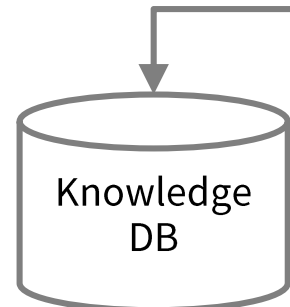
진단 사례 DB로부터 원인별 진동 신호와 운전 데이터간의 상관관계를 도출하여 진단 지식 DB를 구축, 추론 알고리즘을 통해 진동 진단 정확성을 개선함



진동/운전 데이터

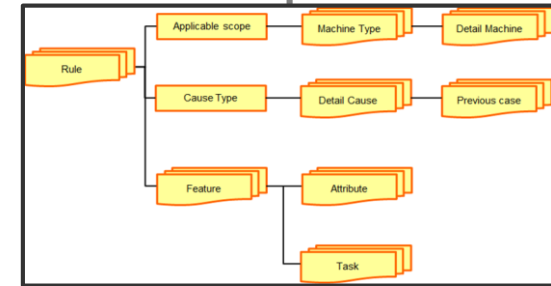


추론 기법을 통해 진단
결과의 정교화

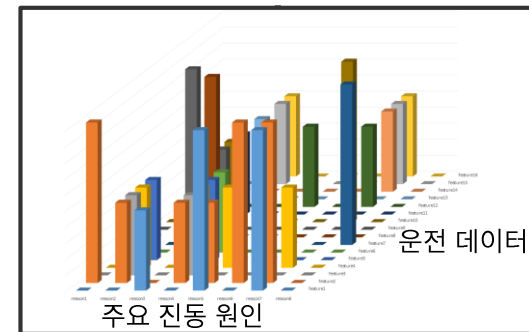


Rule
Inference

Root Cause
Estimation



진단 규칙 구조화



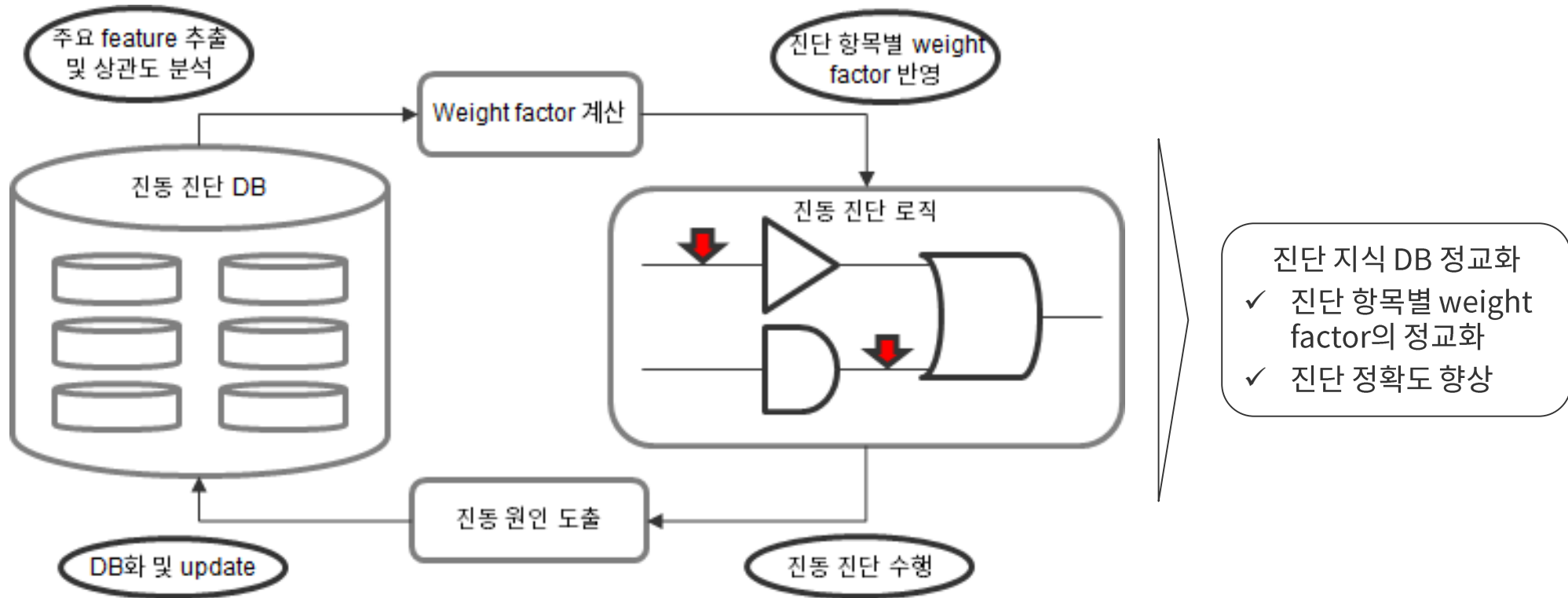
진동 원인별 운전 데이터 상관성



두산중공업 보유 진동 진단 사례 DB

2. DOOVES-RMS – 진단 사례 DB 축적 및 피드백

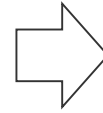
사례 DB 축적을 통해 진단 로직에 피드백되는 알고리즘의 정확도 핵심요소인 weight factor를 지속적으로 정교화함



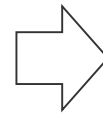
진단 사례 DB 축적 및 피드백 절차

2. DOOVES-RMS – 기능 소개

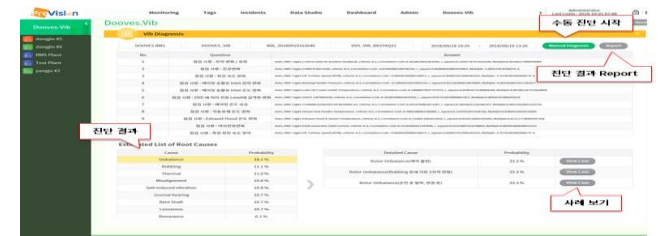
- 회전기기의 진동, 출력, 회전속도 감시 시각화



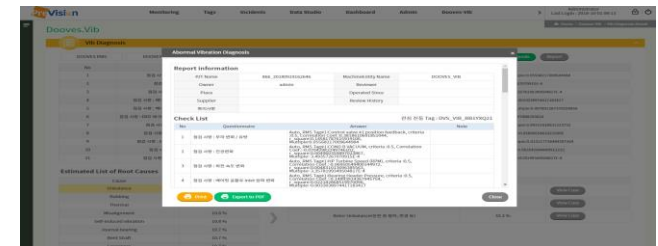
- 데이터 이상 징후 감지 기능



- 데이터 기반 진동 진단 및 정밀 진단 기능



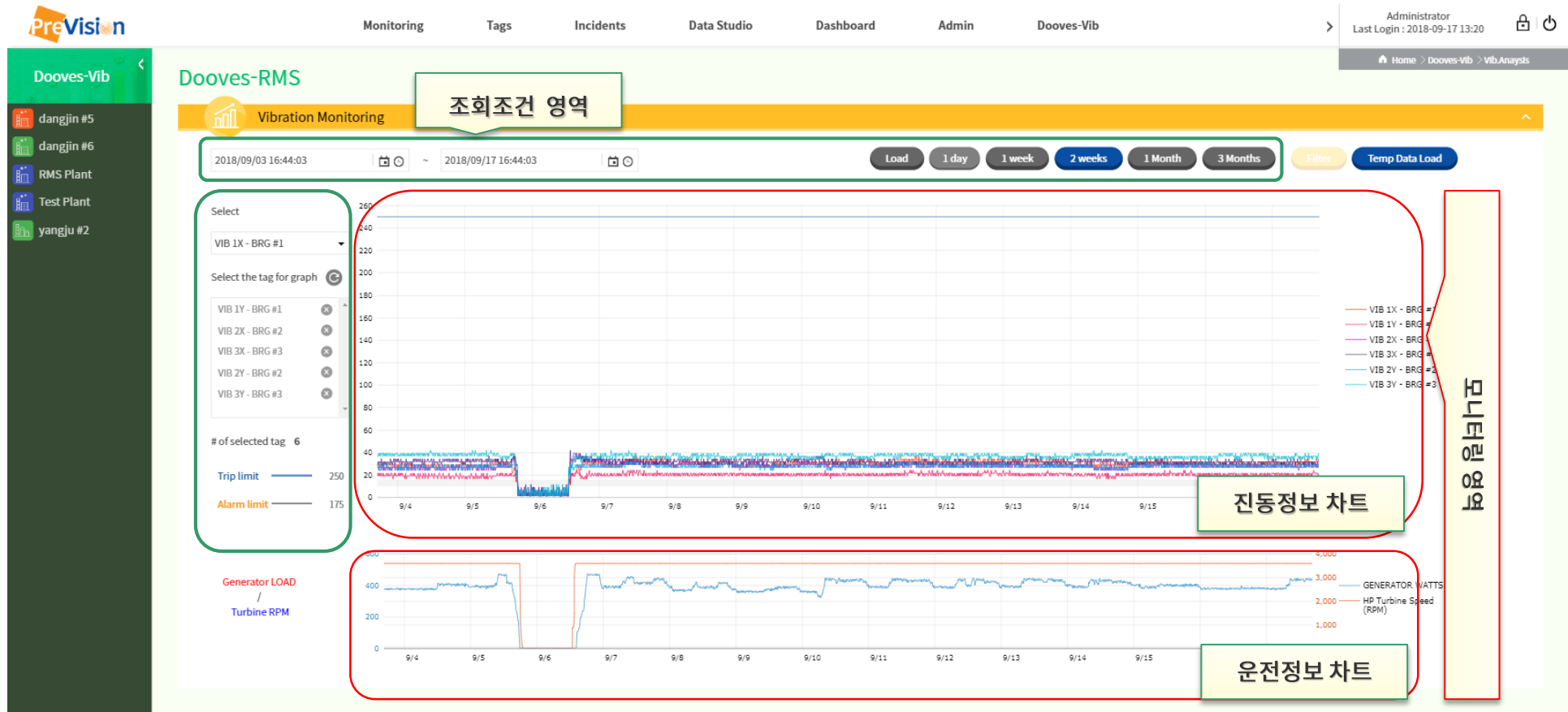
- 각 항목별 진단 기준 및 결과 보고서 제공



Doosan Heavy Industries & Construction

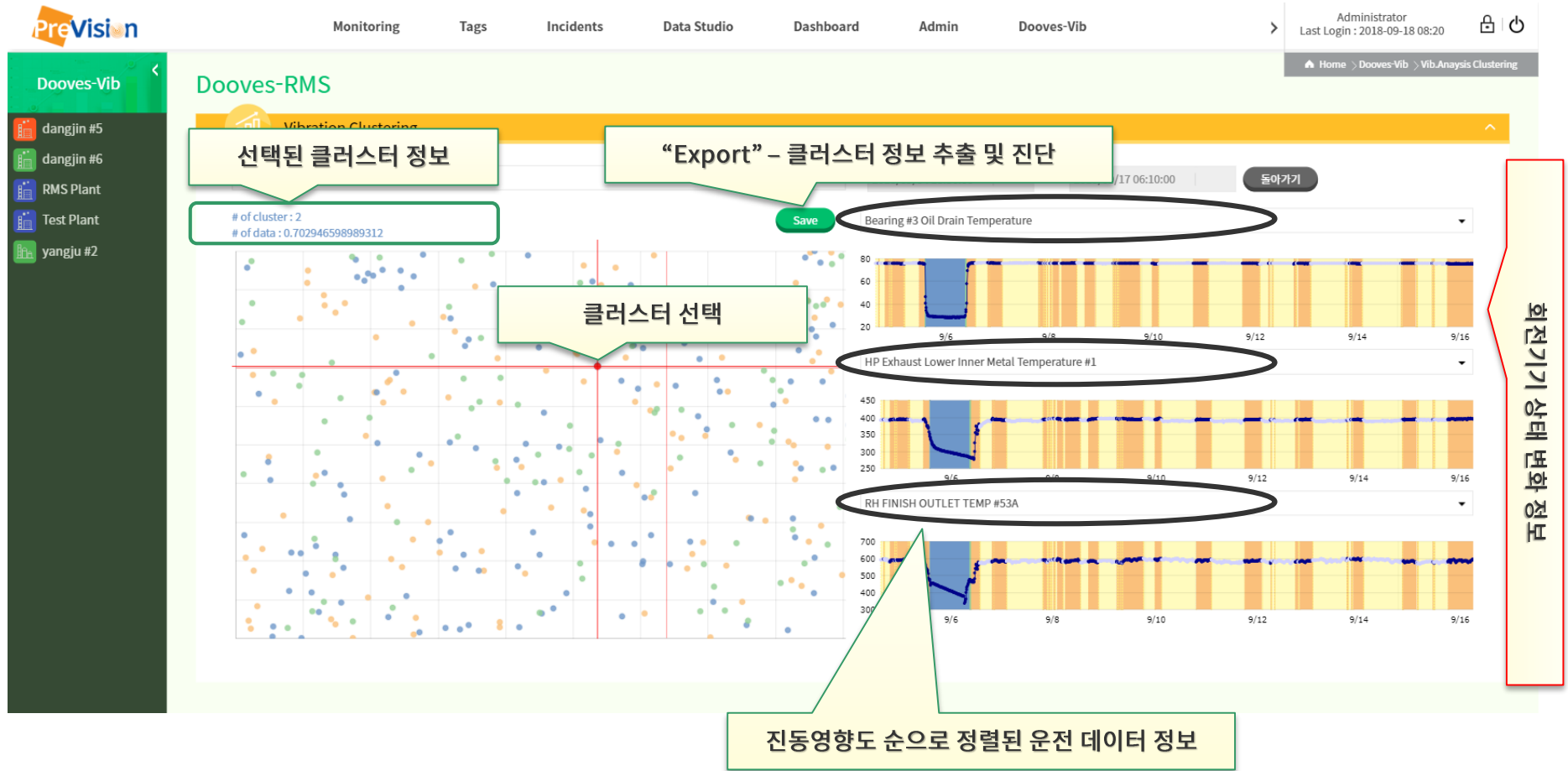
2. DOOVES-RMS – 진동 / 출력 / 운전 속도 감시

회전기기의 입수 데이터 중 진동 및 출력과 회전속도 정보를 한 화면에 표시함으로써 현재 기기의 상태를 파악, 진동을 진단하고자 하는 데이터 구간을 확인, 선택할 수 있음



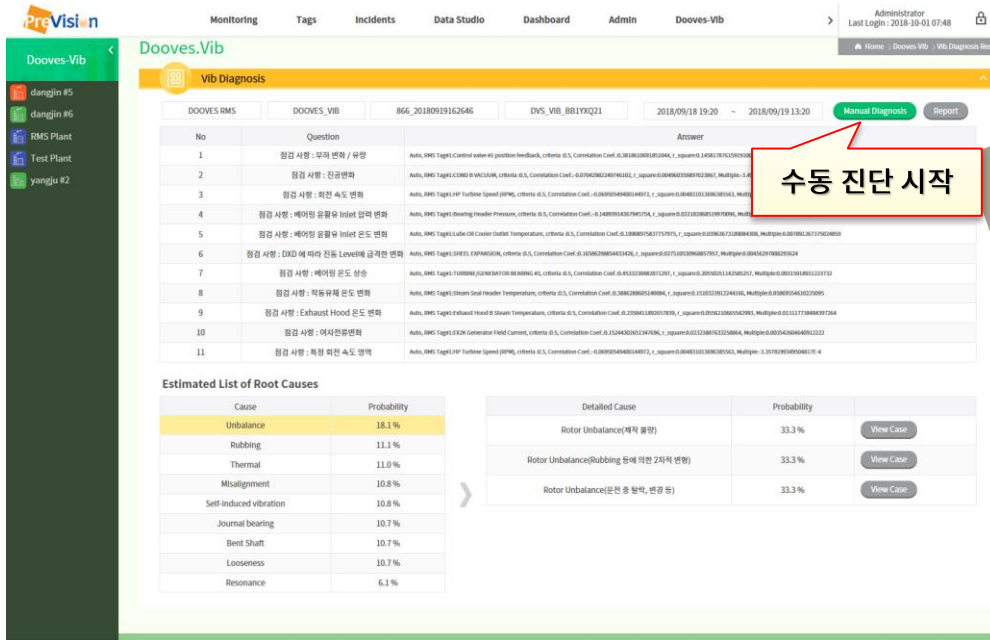
2. DOOVES-RMS – 이상 징후 감지

데이터 분석을 통해 정상 상태와 이상 원인 별로 분류, 운전 데이터 변화 정보와 동시에 제공함으로써 이상 징후의 출현을 시각적으로 제공



2. DOOVES-RMS – 데이터 기반 진단 및 정밀 진단

분석된 데이터를 기준으로 1차적인 진단을 수행한 뒤, 추가 입수 정보를 사용자가 직접 입력하여 진단에 반영하는 추가 진단 기능을 제공함으로써 진단 정확도를 향상



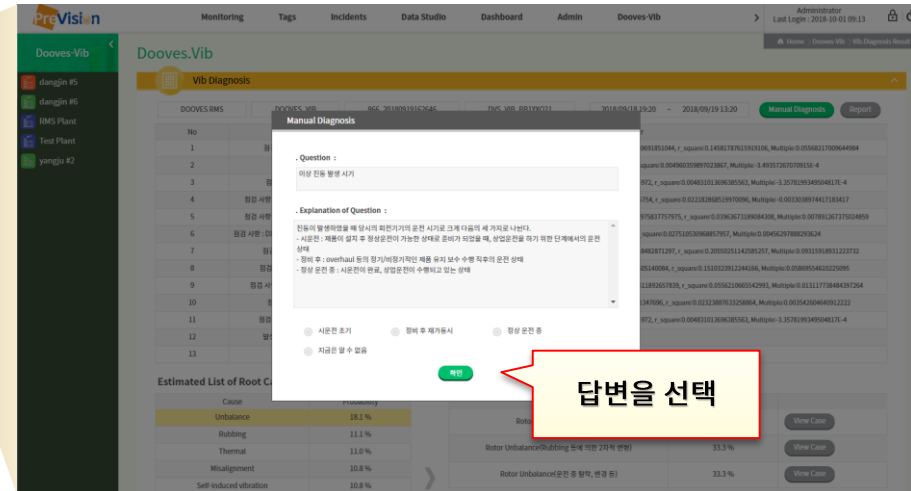
수동 진단 시작

No	Question	Answer
1	점검 사항 : 무하 변속 / 유압	Auto, RMS Tagset Control valve #1 position feedback, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
2	점검 사항 : 잔공변속	Auto, RMS Tagset Control valve #1 position feedback, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
3	점검 사항 : 회전 속도 변화	Auto, RMS Tagset LFP Turbine Speed (RPM), criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
4	점검 사항 : 베어링 유압유 레벨 입력 변화	Auto, RMS Tagset Bearing Header Pressure, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
5	점검 사항 : 베어링 유압유 레벨 온도 변화	Auto, RMS Tagset Lube Oil Cooler Outlet Temperature, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
6	점검 사항 : DSK 에 따라 잔동 Level에 급격한 변화	Auto, RMS Tagset DSK1 EXPANDION, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
7	점검 사항 : 베어링 온도 상승	Auto, RMS Tagset TURBINE CORRECTOR REAR BEARING, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
8	점검 사항 : 작동유체 온도 변화	Auto, RMS Tagset Steam Seal Header Temperature, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
9	점검 사항 : Exhaust Hood 온도 변화	Auto, RMS Tagset Exhaust Hood S Steam Temperature, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
10	점검 사항 : Exhaust Hood 온도 변화	Auto, RMS Tagset EXCH Generator Head Current, criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010
11	점검 사항 : 회전 속도 입력	Auto, RMS Tagset LFP Turbine Speed (RPM), criteria #1, Correlation Conf. #1.3618012001022044, r_square=0.1498178710101010

Cause	Probability
Unbalance	18.1 %
Rubbing	11.1 %
Thermal	11.0 %
Misalignment	10.8 %
Self induced vibration	10.8 %
Journal bearing	10.7 %
Bent Shaft	10.7 %
Looseness	10.7 %
Resonance	6.1 %

Detailed Cause	Probability
Rotor Unbalance(계측 불균)	33.3 %
Rotor Unbalance(Rubbing 등에 의한 2차적 영향)	33.3 %
Rotor Unbalance(운전 중 열적, 변형 등)	33.3 %

데이터 기준 자동 진단 결과



답변을 선택

Question :
이동 전동 불평 시기

Explanation of Question :
진동이 발생하였을 때 당시의 회전속도의 분산 시기로 크게 다름이 세 가지로 나뉩니다.
- 시운전 : 시운전 속도가 정상상태에 가까운 상태에 놓여 있을 때, 정상상태를 자기 회전 단계에서의 운전 상태
- 정비 후 : overhaul 후의 정지(정지)된 상태를 유지 보수 수행 직후의 운전 상태
- 정상 운전 중 : 시운전의 종료, 정상상태에 수렴하고 있는 상태

☐ 시운전 초기
 ☐ 정비 후 재가동시
 ☐ 정상 운전 중

답변

추가적인 사용자 입력 진단 (정확도 향상)

2. DOOVES-RMS – 선행 조치 사례 제시

진단 결과 기준 과거 사례 및 선행 조치 사례를 제공, 이를 report로 제공함으로써 사용자에게 필요한 조치 방안 수립의 가이드를 제시

진단 결과 Report

No	Question	Answer
1	점검 사항 : 부하 변화 / 운영	Auto RMS Tagged Control value #1 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
2	점검 사항 : 진동변화	Auto RMS Tagged Control value #2 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
3	점검 사항 : 회전 속도 변화	Auto RMS Tagged Control value #3 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
4	점검 사항 : 제어용 압력 유량 및 압력 변화	Auto RMS Tagged Control value #4 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
5	점검 사항 : DCS에 의한 진동 Level에 급격한 변화	Auto RMS Tagged Control value #5 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
6	점검 사항 : 제어용 온도 상승	Auto RMS Tagged Control value #6 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
7	점검 사항 : 작동유체 온도 변화	Auto RMS Tagged Control value #7 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
8	점검 사항 : 작동유체 유량 변화	Auto RMS Tagged Control value #8 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
9	점검 사항 : 작동유체 유속 변화	Auto RMS Tagged Control value #9 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
10	점검 사항 : 제어전압 변화	Auto RMS Tagged Control value #10 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000
11	점검 사항 : 작동 전압 속도 변화	Auto RMS Tagged Control value #11 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000

Estimated List of Root Causes

Cause	Probability
Unbalance	33.3%
Bubbling	11.1%
Thermal	11.0%
Misalignment	10.8%
Self induced vibration	10.8%
Journal bearing	10.7%
Bent Shaft	10.7%
Looseness	10.7%
Resonance	6.1%

사례 보기

진단 결과별 사례 조회 및 reporting 기능

진단 결과 Report

Report information

Field	Value
PTT Name	RMS_20180919102456
Owner	admin
MachineEntry Name	DOOVES_VIB
Reviewer	
Operated Since	
Review History	

Check List

No	Questionnaire	Answer	Note
1	점검 사항 : 부하 변화 / 운영	Auto RMS Tagged Control value #1 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000	
2	점검 사항 : 진동변화	Auto RMS Tagged Control value #2 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000	
3	점검 사항 : 회전 속도 변화	Auto RMS Tagged Control value #3 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000	
4	점검 사항 : 제어용 압력 유량 및 압력 변화	Auto RMS Tagged Control value #4 position feedback, criteria #5, Correlation Coef. 0.36800000000000000000, Multiple 0.00000000000000000000	

Estimated List of Root Causes

Cause	Probability
Unbalance	33.3%
Bubbling	11.1%
Thermal	11.0%
Misalignment	10.8%
Self induced vibration	10.8%
Journal bearing	10.7%
Bent Shaft	10.7%
Looseness	10.7%

저장 / 출력 가능한 진단 결과 report

Click

Similar cases

로터의 Mass Unbalance

로터의 Mass Unbalance

Unbalance 진동의 특징

베어링이 shop과 field에서 다른 것을 사용하고 또한 각각의 로터가 서로 연결되면서 발생

로터의 Mass Unbalance

발전기 로터의 Mass Unbalance는 다음과 같다. - Cool 도체의 동형치와 - 냉각 Fan이 충전됨 - End Ring 열림으로 인해 동시도 불균 이 경우 대략은 다음과 같다. - 조립부품 개 개의 충전 또는 Moment of Inertia를 수정한 후, 전체의 평형을 고려하여 해결한다. - 저속에서 균형을 맞추는 Balancing 을 실시한다. - 고속에서 안전로터(또는 Modal Balancing)를 실시한다.

Estimated List of Root Causes

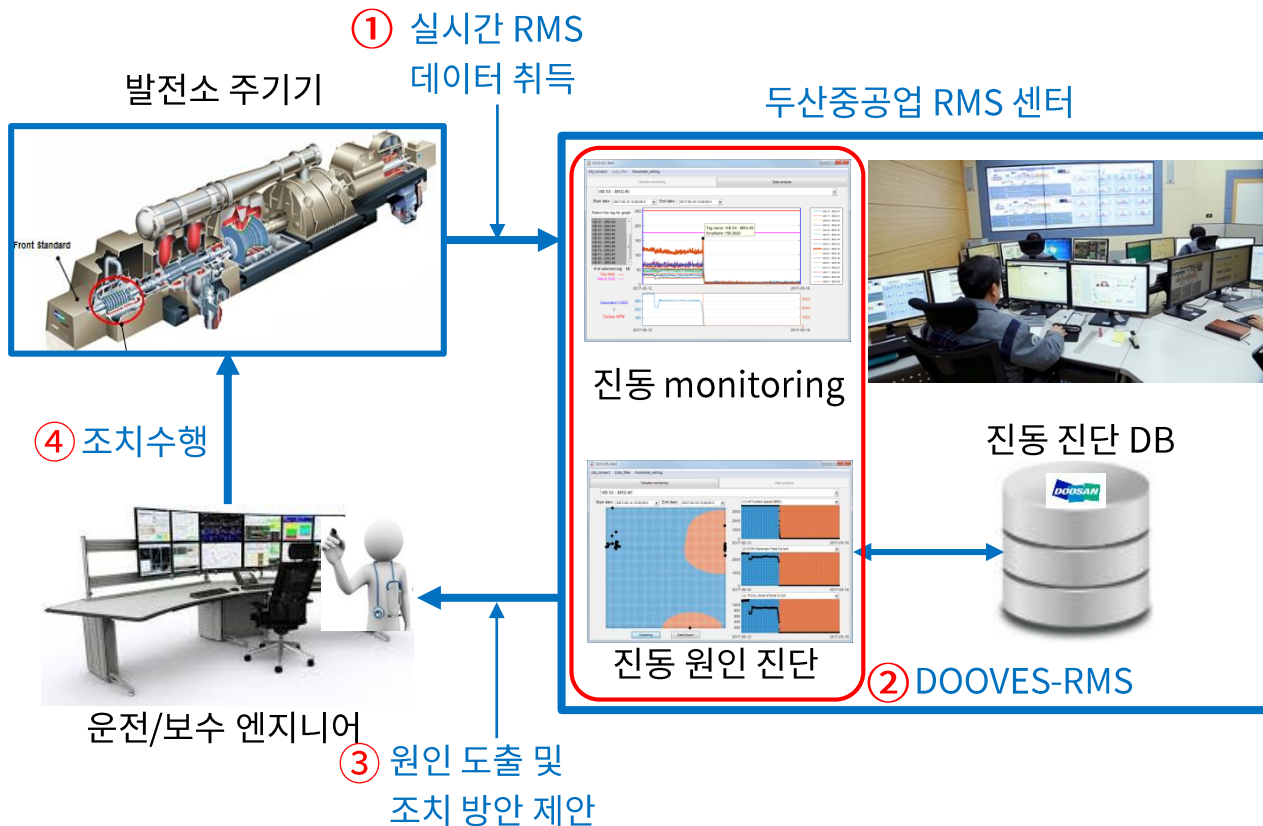
Cause	Probability
Unbalance	33.3%
Bubbling	11.1%
Thermal	11.0%
Misalignment	10.8%
Self induced vibration	10.8%
Journal bearing	10.7%
Bent Shaft	10.7%
Looseness	10.7%

진단 결과별 유사 사례 및 진동 이론 조회



Doosan Heavy Industries & Construction

2. DOOVES-RMS – 현장 적용 및 활용 절차



- ✓ 진동 신호 원격 감시 및 이상 징후의 선제 대응
- ✓ 전문가 개입 최소화를 통한 신속 지원
- ✓ 진동 근본 원인 규명 및 조치 방안 제시
- ✓ 진동 진단 DB 축적을 통한 진단 정확도 향상

2. DOOVES-RMS – 진동 진단 활용 사례 소개

H plant ST 진동 진단

- 시운전시 발생한 진동/운전 데이터를 개발 중인 DOOVES-RMS에 적용 (blind test)
- 진단 결과 Thermal에 의한 로터 Bending으로 진단
 - ✓ 시운전 당시 진동 전문가 분석 결과와 일치

D plant CID- fan 진동 분석

- 정상 운전 중 1개월 기간 동안 지속적으로 진동이 상승하여 이를 고객 요청으로 분석
- 분석 결과 베어링 유입 oil 온도 변화와 진동간의 상관성 도출
 - ✓ 확인 결과, 동절기 저온으로 외부의 냉각 oil tank 온도의 급락이 원인

S plant GEN 진동 진단

- 약 5년에 걸쳐 지속적으로 진동이 상승했던 발전기의 진동 분석 의뢰 입수
- 진단 결과, 발전기의 thermal sensitivity로 진단
 - ✓ RMS service 계약 / 진동 저감을 위한 sensitivity test 등의 이슈 논의

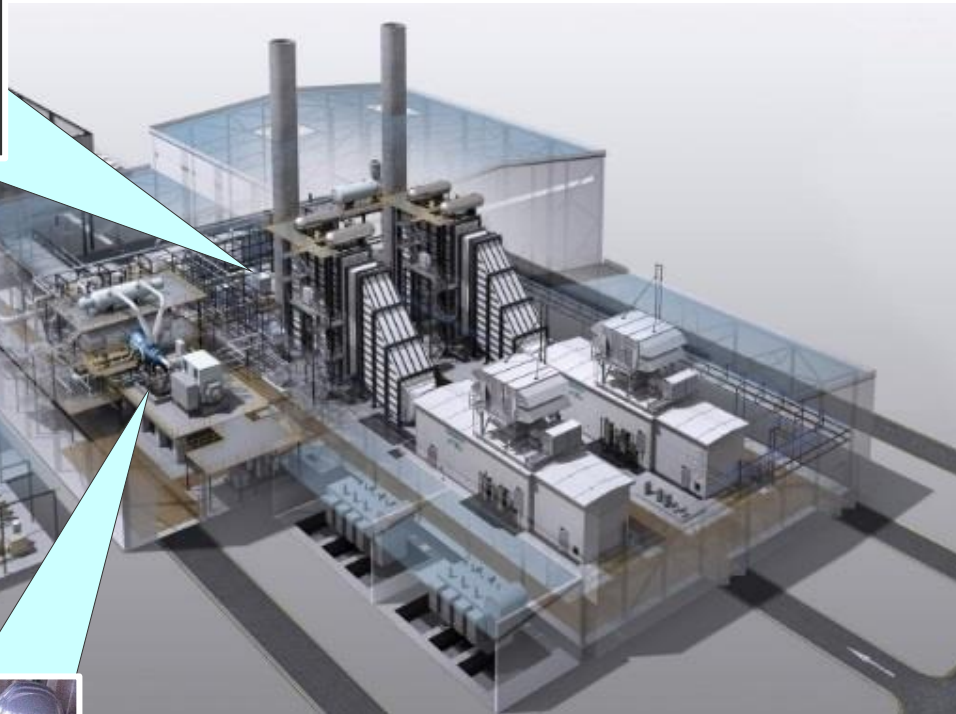
H plant GT 진동 분석

- 약 4개월에 걸쳐 GT의 진동이 지속적으로 상승하여 이를 고객 요청으로 분석
- 분석 결과, 연소 gas의 온도 변화와 진동간의 상관성 도출
 - ✓ 확인 결과, 하절기 고온으로 인한 흡기 유량의 불안정이 주 원인

3. BUSINESS APPLICATIONS



- Local on-line 적용 (개발 중)
 - 발전소 운전원 사용
 - 증기터빈, 가스터빈 등의 주기기 진단



- Remote on-line 적용
 - RMS 센터 사용
 - 발전소에서 데이터를 제공하는 회전기기 진단



- Local off-line 적용
 - 현장 작업자 사용
 - 펌프, 모터, 팬 등의 BOP 회전기기 진단

설비 가용률
향상 및 정비
비용 절감

4. SUMMARY

- 두산중공업은 터빈/발전기 대상 진동발생 원인 조기 분석과 조치 방안 제시하는 진동 진단 전문가 시스템, DOOVES-RMS를 개발함
- 개발한 DOOVES-RMS를 시운전 현장 진동사례와 운용 중인 두산중공업 RMS센터 적용, 고객 대응용으로 사용함으로써 진동 진단 시스템의 정확성 및 활용성을 실증함
- 향후 발전소에서 운용 중인 다양한 회전기기의 진동진단에 확대 적용으로 진동 이슈를 선제적이고 근본적으로 대응하여 설비 가용률 및 정비 비용 절감에 기여 가능함

E.O.D



Doosan Heavy Industries & Construction