



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0166977
(43) 공개일자 2022년12월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05B 23/02 (2006.01) G01H 1/08 (2006.01)
G06K 9/62 (2022.01) G06N 20/00 (2019.01)
(52) CPC특허분류
G05B 23/0221 (2013.01)
G01H 1/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0075933
(22) 출원일자 2021년06월11일
심사청구일자 2021년06월11일

(71) 출원인
한국수력원자력 주식회사
경상북도 경주시 문무대왕면 불국로 1655
주식회사 에이티지
경기도 성남시 분당구 정자일로 100, 이동 506
호,507호,508호,509호,510호(정자동, 미켈란쉐르
빌)
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
김민호
세종특별자치시 대평로 80, 607동 1101호(대평동,
해들마을 6단지)
김대웅
세종특별자치시 노을3로 14, 109동 202호 (한
솔동, 첫마을아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
인비전 특허법인

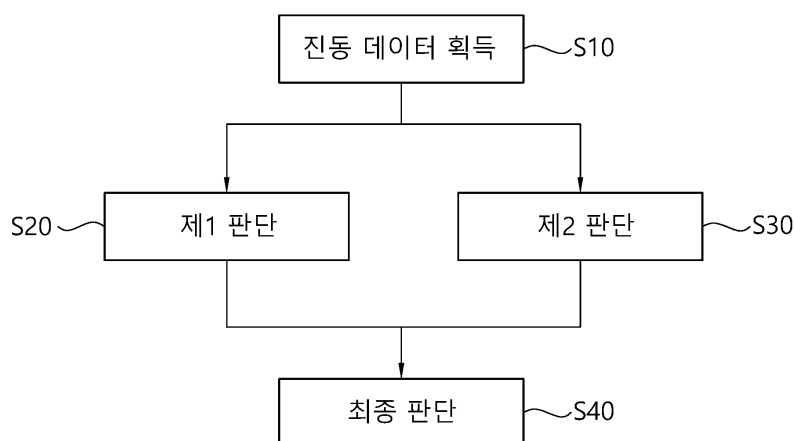
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 진동 측정 오류 판단 방법 및 이를 이용하는 진동 오류 판별 시스템

(57) 요약

본 발명의 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법은, 구조물에서 발생하는 진동을 측정하여 진동 데이터를 획득하는 진동 데이터 획득 단계, 미리 설정된 오류 데이터 선정 규칙에 기초하여 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제1 판단 단계, 기계 학습 알고리즘을 이용해 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제2 판단 단계 및 상기 제1 판단 단계와 상기 제2 판단 단계에서 판단된 결과를 기반으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 최종 판단 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G05B 23/0235 (2013.01)

G06K 9/6218 (2022.01)

G06K 9/6247 (2022.01)

G06N 20/00 (2021.08)

(72) 발명자

예송해

대전광역시 유성구 지족동로 124, 107동 1001호(지족동, 노은리슈빌3)

이원규

세종특별자치시 시청대로 500, 413동 2301호(반곡동, 수루배마을 4단지)

김주식

대전광역시 유성구 엑스포로 501, 104동 602호(전민동, 청구나래아파트)

문병석

대전광역시 유성구 배울1로 35, 407동 1702호(관평동, 대덕테크노밸리4단지아파트)

강신규

서울특별시 서초구 서초대로33길 95, 601호(방배동, 예미지)

최병근

경상남도 진주시 초장로14번길 27

유현탁

부산광역시 동래구 명안로17번길 12(안락동)

명세서

청구범위

청구항 1

구조물에서 발생하는 진동을 측정하여 진동 데이터를 획득하는 진동 데이터 획득 단계;

미리 설정된 오류 데이터 선정 규칙에 기초하여 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제1 판단 단계;

기계 학습 알고리즘을 이용해 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제2 판단 단계; 및
상기 제1 판단 단계와 상기 제2 판단 단계에서 판단된 결과를 기반으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 최종 판단 단계;를 포함하는, 진동 측정 오류 판단 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 오류 데이터 선정 규칙은,

상기 진동 데이터에서 추출한 저주파 영역의 진폭값과 임계값의 차이를 기준으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는, 진동 측정 오류 판단 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 저주파 영역은 3Hz 이하의 영역을 포함하는, 진동 측정 오류 판단 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 임계값은 0.6 mm/s인, 진동 측정 오류 판단 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 기계 학습 알고리즘은,

상기 진동 데이터로부터 복수의 샘플 데이터를 추출하고, 추출된 복수의 상기 샘플 데이터로부터 측정 오류 판별을 위한 특징 정보를 추출하고, 추출된 특징 정보를 기초로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는, 진동 측정 오류 판단 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 특징 정보는 복수의 상기 샘플 데이터로부터 추출된 후보 특징 정보들로부터 주성분 분석(principal component analysis)을 통해 추출되는, 진동 측정 오류 판단 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 기계 학습 알고리즘은,

상기 특징 정보는 상기 샘플 데이터마다 추출되며, 상기 특징 정보를 기반으로 하여 샘플 데이터들을 클러스터링하고, 클러스터링 결과를 기초로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는, 진동 측정

오류 판단 방법.

청구항 8

구조물에서 발생하는 진동을 측정하여 진동 데이터를 획득하는 데이터 획득부;

미리 설정된 오류 데이터 선정 규칙에 기초하여 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제1 판단부;

기계 학습 알고리즘을 이용해 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제2 판단부; 및

상기 제1 판단 단계와 상기 제2 판단 단계에서 판단된 결과를 기반으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 최종 판단부;를 포함하는, 진동 오류 판별 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 오류 데이터 선정 규칙은,

상기 진동 데이터에서 추출한 저주파 영역의 진폭값과 임계값의 차이를 기준으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는, 진동 측정 오류 판별 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 저주파 영역은 3Hz 이하의 영역을 포함하는, 진동 측정 오류 판별 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 임계값은 0.6 mm/s인, 진동 측정 오류 판별 시스템.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 기계 학습 알고리즘은,

상기 진동 데이터로부터 복수의 샘플 데이터를 추출하고, 추출된 복수의 상기 샘플 데이터로부터 측정 오류 판별을 위한 특징 정보를 추출하고, 추출된 특징 정보를 기초로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는, 진동 측정 오류 판별 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 특징 정보는 복수의 상기 샘플 데이터로부터 추출된 후보 특징 정보들로부터 주성분 분석(principal component analysis)을 통해 추출되는, 진동 측정 오류 판별 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 기계 학습 알고리즘은,

상기 특징 정보는 상기 샘플 데이터마다 추출되며, 상기 특징 정보를 기반으로 하여 샘플 데이터들을 클러스터링하고, 클러스터링 결과를 기초로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는, 진동 측정 오류 판별 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 진동 측정 오류 판단 방법 및 이를 이용하는 진동 오류 판별 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 진동 데이터로부터 측정 오류에 대한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 검출하는 진동 측정 오류 판단 방법 및 이를 이용하는 진동 오류 판별 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 진동이 필연적으로 발생하는 구조물은 구조물에서 발생하는 진동을 측정하여 현재의 구조물의 상태 및 가까운 장래의 구조물의 상태를 예측할 수 있다. 특히, 원자력 발전소에서는 설비관리를 위해서 이동식 진동측정기를 사용하여 설비들의 진동을 측정한다.

[0003] 최근, 머신러닝을 이용해 구조물로부터 발생한 진동 데이터를 분석하여 구조물의 상태를 파악하는 기술이 개발되고 있다.

[0004] 그러나 구조물의 진동을 측정하는 과정에서 발생하는 문제들로 인해 측정 오류가 포함된 진동 데이터가 수집되기도 한다. 이는 결과적으로 구조물에 대한 잘못된 분석 결과의 도출을 초래하고, 예측 진단의 신뢰성을 하락시킨다.

[0005] 예를 들어, 진동 측정 과정에서 측정자의 장비 사용 미숙, 측정 장비의 관리 소홀, 외부 신호 간섭 등으로 잘못된 진동 측정 데이터가 수집될 수 있다.

[0006] 도 10을 참조하면, (a) 및 (b)는 진동을 감지하는 센서에 충격이 발생한 후 잔류 응력에 의한 노이즈가 포함된 측정 데이터이고, (c)는 센서 부착 등의 문제로 충격 파형의 노이즈가 포함된 측정 데이터이며, (d)는 센서 및/또는 케이블 불량으로 인한 노이즈가 포함된 측정 데이터이다.

[0007] 이렇게 진동 측정 과정에서 발생한 측정 오류 데이터가 포함된 진동 데이터는 진동 구조물의 상태 분석을 위해 특화된 머신 러닝을 이용하더라도, 진단의 신뢰성이 떨어지게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 진동 데이터로부터 측정 오류에 대한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 검출하는 진동 측정 오류 판단 방법 및 이를 이용하는 진동 오류 판별 시스템을 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법은, 구조물에서 발생하는 진동을 측정하여 진동 데이터를 획득하는 진동 데이터 획득 단계, 미리 설정된 오류 데이터 선정 규칙에 기초하여 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제1 판단 단계, 기계 학습 알고리즘을 이용해 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제2 판단 단계 및 상기 제1 판단 단계와 상기 제2 판단 단계에서 판단된 결과를 기반으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 최종 판단 단계를 포함한다.

[0011] 상기 오류 데이터 선정 규칙은, 상기 진동 데이터에서 추출한 저주파 영역의 진폭값과 임계값의 차이를 기준으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단할 수 있다.

[0012] 상기 저주파 영역은 3Hz 이하의 영역을 포함할 수 있다.

[0013] 상기 임계값은 0.6 mm/s 일 수 있다.

[0014] 상기 기계 학습 알고리즘은, 상기 진동 데이터로부터 복수의 샘플 데이터를 추출하고, 추출된 복수의 상기 샘플 데이터로부터 측정 오류 판별을 위한 특징 정보를 추출하고, 추출된 특징 정보를 기초로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단할 수 있다.

[0015] 상기 특징 정보는 복수의 상기 샘플 데이터로부터 추출된 후보 특징 정보들로부터 주성분 분석(principal

component analysis)을 통해 추출될 수 있다.

- [0016] 상기 기계 학습 알고리즘은, 상기 특징 정보는 상기 샘플 데이터마다 추출되며, 상기 특징 정보를 기반으로 하여 샘플 데이터들을 클러스터링하고, 클러스터링 결과를 기초로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단할 수 있다.
- [0017] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 진동 오류 판별 시스템은, 구조물에서 발생하는 진동을 측정하여 진동 데이터를 획득하는 데이터 획득부, 미리 설정된 오류 데이터 선정 규칙에 기초하여 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제1 판단부, 기계 학습 알고리즘을 이용해 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 제2 판단부 및 상기 제1 판단 단계와 상기 제2 판단 단계에서 판단된 결과를 기반으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단하는 최종 판단부를 포함한다.
- [0018] 상기 오류 데이터 선정 규칙은, 상기 진동 데이터에서 추출한 저주파 영역의 진폭값과 임계값의 차이를 기준으로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단할 수 있다.
- [0019] 상기 저주파 영역은 3Hz 이하의 영역을 포함할 수 있다.
- [0020] 상기 임계값은 0.6 mm/s일 수 있다.
- [0021] 상기 기계 학습 알고리즘은, 상기 진동 데이터로부터 복수의 샘플 데이터를 추출하고, 추출된 복수의 상기 샘플 데이터로부터 측정 오류 판별을 위한 특징 정보를 추출하고, 추출된 특징 정보를 기초로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단할 수 있다.
- [0022] 상기 특징 정보는 복수의 상기 샘플 데이터로부터 추출된 후보 특징 정보들로부터 주성분 분석(principal component analysis)을 통해 추출될 수 있다.
- [0023] 상기 기계 학습 알고리즘은, 상기 특징 정보는 상기 샘플 데이터마다 추출되며, 상기 특징 정보를 기반으로 하여 샘플 데이터들을 클러스터링하고, 클러스터링 결과를 기초로 상기 진동 데이터가 측정 오류에 의한 것인지 여부를 판단할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

- [0025] 본 발명의 실시예들에 의하면 적어도 다음과 같은 효과가 있다.
- [0026] 측정된 진동 데이터에 측정 오류에 대한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단할 수 있다.
- [0027] 또한, 잘못 측정된 진동 데이터를 선별하여 예측 진단의 기초 데이터인 진동 데이터의 건전성을 향상시킬 수 있다.
- [0028] 본 발명에 따른 효과는 이상에서 예시된 내용에 의해 제한되지 않으며, 더욱 다양한 효과들이 본 명세서 내에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 2는 도 1의 제1 판단 단계를 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 3은 정상적인 진동 데이터의 일 예를 도시한 그래프이다.
- 도 4는 측정 오류가 포함된 진동 데이터의 일 예를 도시한 그래프이다.
- 도 5는 샘플 진동 데이터에 대한 전문가 판정 결과를 도시한 그래프이다.
- 도 6은 도 1의 제2 판단 단계를 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 7 및 도 8은 샘플 진동 데이터를 제2 판단 단계에 따라 판단한 클러스터링 결과를 도시한 그래프이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판별 시스템을 도시한 블록도이다.
- 도 10은 측정 오류가 포함된 진동 데이터들의 예들을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [0031] 또한, 본 명세서에서 기술하는 실시예들은 본 발명의 이상적인 예시도인 단면도 및/또는 개략도들을 참고하여 설명될 것이다. 따라서, 제조 기술 및/또는 허용 오차 등에 의해 예시도의 형태가 변형될 수 있다. 또한, 본 발명에 도시된 각 도면에 있어서 각 구성 요소들은 설명의 편의를 고려하여 다소 확대 또는 축소되어 도시된 것일 수 있다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [0032] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법 및 이를 이용한 진동 측정 오류 판별 시스템을 설명하기 위한 도면들을 참고하여 본 발명에 대하여 설명하도록 한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0034] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법은, 진동 데이터 획득 단계(S10), 제1 판단 단계(S20), 제2 판단 단계(S30) 및 최종 판단 단계(S40)를 포함한다.
- [0035] 진동 데이터 획득 단계(S10)에서는 구조물에서 발생하는 진동을 측정하여 진동 데이터를 획득한다. 진동 데이터는 이동식 진동 측정기를 이용해 획득되거나, 진동 데이터가 저장된 데이터베이스(DB)로부터 획득될 수 있다.
- [0036] 구조물은 회전하며 동작하는 회전 기기를 포함하는 구조물일 수 있다. 회전 기기가 동작함에 따라 구조물에서는 진동이 발생하는데, 진동을 측정하여 구조물 및 회전 기기의 현재 상태를 진단할 수 있고, 이를 기초로 구조물 및 회전 기기에 대한 예측 진단, 즉 가까운 장래 상태를 예측하여 진단할 수 있다. 특히, 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법은 원자력 발전소에서 이용되는 다양한 설비들을 대상으로 진동 데이터를 획득하여 원자력 발전소의 설비 관리에 사용될 수 있다.
- [0037] 제1 판단 단계(S20)에서는 미리 설정된 오류 데이터 선정 규칙에 기초하여 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류에 의한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단할 수 있다. 이에 대한 보다 구체적인 설명은 후술한다.
- [0038] 제2 판단 단계(S30)에서는 제1 판단 단계(S20)의 판단 기준과는 다른 판단 기준으로 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류에 의한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단한다. 예를 들어, 제2 판단 단계(S30)에서는 기계 학습 알고리즘을 이용해 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류에 의한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단할 수 있다. 이에 대한 보다 구체적인 설명은 후술한다.
- [0039] 최종 판단 단계(S40)에서는 제1 판단 단계(S20)에서 판단된 결과와 제2 판단 단계(S30)에서 판단된 결과를 기초로 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류에 의한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 최종적으로 판단한다.
- [0040] 예를 들어, 최종 판단 단계(S40)에서는 제1 판단 단계(S20) 및 제2 판단 단계(S30)에서 모두 측정 오류가 없는 것으로 판단된 진동 데이터에 한하여 측정 오류가 없는 것으로 판단할 수 있다.
- [0041] 또는, 최종 판단 단계(S40)에서는 제1 판단 단계(S20) 및 제2 판단 단계(S30) 중 어느 하나의 단계에서라도 측정 오류가 없는 것으로 판단된 진동 데이터는 측정 오류가 없는 것으로 판단할 수 있다.
- [0042] 도 2는 도 1의 제1 판단 단계를 설명하기 위한 순서도이다.
- [0043] 도 2를 참조하면, 제1 판단 단계(S20)는 시간 파형 데이터 추출 단계(S21), 고속 푸리에 변환 단계(S22), 저주파 영역의 진동값 추출 단계(S23), 진동값을 임계값과 비교하는 단계(S24) 및 측정 오류 판단 단계(S25)를 포함할 수 있다.
- [0044] 시간 파형 데이터 추출 단계(S21)에서는, 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터로부터 시간 파형(Time Wave Form)의 진동 데이터를 추출한다. 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터가 시간 파형(Time Wave Form)의 데이터인 경우에는 시간 파형 데이터 추출 단계(S21)가 생략될 수 있다.
- [0045] 고속 푸리에 변환 단계(S22)에서는 시간 파형의 진동 데이터를 주파수 영역으로 변환한다. 고속 푸리에 변환 단

계(S22)에서는 시간 파형의 진동 데이터를 샘플링 한 후 주파수 영역으로 변환시킬 수 있다. 시간 파형의 진동 데이터를 주파수 영역으로 변환하는 과정에는 윈도우 함수를 사용하지 않는 Rectangular Window를 사용하여 FFT(고속 푸리에 변환, Fast Fourier transform)가 사용될 수 있다.

- [0046] 저주파 영역의 진동값 추출 단계(S23)에서는 주파수 영역으로 변환된 진동 데이터에서 저주파 영역에 대한 진동값(진폭값)을 연산하여 추출한다.
- [0047] 도 3은 정상적인 진동 데이터의 일 예를 도시한 그래프이고, 도 4는 측정 오류가 포함된 진동 데이터의 일 예를 도시한 그래프이다.
- [0048] 도 3 및 도 4를 비교하여 참조하면, 정상적인 진동 데이터에 비해 측정 오류가 포함된 진동 데이터는 3Hz 이하의 저주파 영역에서 큰 진폭을 갖는 것을 확인할 수 있고, 저주파 대역에서 Ski-Slope 현상이 관측됨을 확인할 수 있다. 따라서, 저주파 영역의 진동값 추출 단계(S23)에서는 저주파 영역을 3Hz 이하의 주파수 영역으로 설정할 수 있다.
- [0049] 진동값을 임계값과 비교하는 단계(S24)에서는 저주파 영역의 진동값 추출 단계(S23)에서 추출된 저주파 영역의 진동값을 임계값과 비교한다.
- [0050] 본 출원인은 측정 오류를 판단하기 위한 임계값을 찾기 위해, 한빛 3발전소 5, 6 호기의 248개 설비를 대상으로 1,811 포인트에서 진동 데이터를 측정하였으며, 총 10,634개의 샘플 진동 데이터를 대상으로 전문가에 의한 측정 오류를 포함하는 진동 데이터에 대한 판별을 수행하였다.
- [0051] 그 결과, 전문가는 10,634개의 샘플 진동 데이터 중에서, 10,175개는 정상적인 진동 데이터로 판단하고, 231개는 측정 오류를 포함하는 진동 데이터로 판별하였으며, 228개에 대해서는 판정을 보류하였다.
- [0052] 도 5는 샘플 진동 데이터에 대한 전문가 판정 결과를 도시한 그래프이다.
- [0053] 도 5를 참조하면, 저주파 영역의 진폭이 낮은 영역(0.006 in/s 이하 영역)에 정상적인 진동 데이터가 다수 존재하고, 저주파 영역의 진폭이 0.007 ~ 0.026 in/s인 영역에서는 정상적인 진동 데이터와 측정 오류를 포함하는 진동 데이터가 중첩되고, 측정 오류를 포함하는 진동 데이터는 저주파 영역의 진폭이 0.013 in/s 이상인 영역에서 출현하는 것을 확인할 수 있다.
- [0054] 도 5를 기초로, 진폭의 임계값을 설정하기 위해, 임계값이 각각 0.4 mm/s(= 0.0157 in/s), 0.5 mm/s(= 0.0197 in/s), 0.6 mm/s(= 0.2362 in/s), 0.7 mm/s(= 0.0276 in/s), 0.8 mm/s(= 0.0315 in/s)로 설정되는 경우, 측정 오류를 포함하는 진동 데이터를 정상적인 진동 데이터로 판단한 건수와, 반대로 정상적인 진동 데이터를 측정 오류를 포함하는 진동 데이터로 판단한 건수를 비교하였다.

표 1

기준 진폭	측정 오류 → 정상 판정		정상 → 측정 오류 판정		합계
	건수	비율	건수	비율	
0.8 mm/s	103	44.40%	0	0.00%	103
0.7 mm/s	82	35.34%	1	0.01%	83
0.6 mm/s	48	20.69%	10	0.10%	58
0.5 mm/s	24	10.34%	29	0.29%	53
0.4 mm/s	7	3.02%	113	1.11%	120

- [0056] 임계값을 0.8 mm/s로 설정하는 경우, 정상적인 진동 데이터를 측정 오류를 포함하는 데이터로 판단되지는 않았지만, 측정 오류를 포함하는 데이터를 정상적인 진동 데이터로 판단한 경우가 많았다.
- [0057] 반대로 임계값을 0.4 mm/s로 설정하는 경우, 측정 오류를 포함하는 데이터를 정상적인 진동 데이터로 판단하는 비율은 줄어들지만, 정상적인 진동 데이터를 측정 오류를 포함하는 데이터로 판단하는 비율이 늘어났다.
- [0058] 임계값에 따라 측정 오류를 포함하는 데이터를 정상적인 진동 데이터로 판단하는 비율과 정상적인 진동 데이터를 측정 오류를 포함하는 데이터로 판단하는 비율은 트레이드오프 관계에 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0059] 본 실시예에서는 정상적인 진동 데이터를 측정 오류를 포함하는 데이터로 판단하는 것을 최소화하면서도 전체적인 오판정 역시 최소화하기 위해 임계값(T, 도 5 참고)을 0.6 mm/s로 설정하였다.

- [0060] 다만, 측정 오류 판별의 정밀성 등의 요구에 따라 측정 오류를 포함하는 진동 데이터를 선별하기 위한 저주파 진폭의 임계값은 0.4 ~ 0.8 mm/s 내에서 다르게 선택될 수 있으며, 필요에 따라 임계값은 0.4 mm/s 이하의 값으로 설정되거나, 0.8 mm/s 이상의 값으로 설정될 수 있다.
- [0061] 진동값을 임계값과 비교하는 단계(S24)에서는 저주파 영역의 진동값 추출 단계(S23)에서 추출된 저주파 영역의 진동값을 설정된 임계값과 비교하여, 진동값이 임계값 이하(또는 미만)인지 초과(또는 이상)인지 여부를 판단할 수 있다.
- [0062] 측정 오류 판단 단계(S25)에서는, 진동값을 임계값과 비교하는 단계(S24)에서 판단된 진동값과 임계값과의 차이를 기초로 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류로 인한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단한다.
- [0063] 즉, 진동값이 임계값 이하(또는 미만)인 경우에는 정상적인 진동 데이터로 판단하고, 진동값이 임계값 초과(또는 이상)인 경우에는 측정 오류로 인한 데이터가 포함된 진동 데이터로 판단할 수 있다.
- [0064] 상술한 바와 같이, 제1 판단 단계(S20)에서, 오류 데이터 선정 규칙, 즉, 저주파 영역의 진동값과 임계값의 차이를 기반으로 진동 데이터에 측정 오류로 인한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단하는 경우, 임계값에 따라 정상적인 진동 데이터를 측정 오류를 포함하는 데이터로 판단하거나 측정 오류를 포함하는 데이터를 정상적인 진동 데이터로 판단하는 경우가 존재한다.
- [0065] 이를 보완하기 위해, 본 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법은 제2 판단 단계(S30)를 거치게 된다.
- [0066] 도 6은 도 1의 제2 판단 단계를 설명하기 위한 순서도이다.
- [0067] 제2 판단 단계(S30)에서는 기계 학습 알고리즘을 이용해 진동 데이터에 측정 오류로 인한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단할 수 있다.
- [0068] 이를 위해, 도 6을 참조하면, 제2 판단 단계(S30)는 시간 파형 데이터 추출 단계(S31), 샘플 데이터 추출 단계(S32), 후보 특징 정보 추출 단계(S33), 주성분 분석 단계(S34), 클러스터링 분석 단계(S35), 측정 오류 판단 단계(S36)을 포함할 수 있다.
- [0069] 시간 파형 데이터 추출 단계(S31)에서는, 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터로부터 시간 파형(Time Wave Form)의 진동 데이터를 추출한다. 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터가 시간 파형(Time Wave Form)의 데이터인 경우에는 시간 파형 데이터 추출 단계(S31)가 생략될 수 있다.
- [0070] 샘플 데이터 추출 단계(S32)에서는 시간 파형의 진동 데이터로부터 적어도 하나의 샘플 데이터를 추출할 수 있다. 추출되는 샘플 데이터의 수는 실시예에 따라 다양하게 선택될 수 있지만, 진동 데이터에서 측정 오류를 판별하는 기계 학습 알고리즘의 강건성을 확보하기 위해서는 진동 데이터로부터 다수의 샘플 데이터를 추출하는 것이 바람직하다. 다만, 샘플 데이터의 수가 많아짐에 따라 기계 학습 알고리즘의 특징 정보 추출을 위한 연산에 상당한 자원이 소요되므로, 적절한 샘플 데이터 수의 선택이 요구된다. 이러한 점을 고려할 때, 샘플 데이터의 수는 수십 개, 보다 바람직하게는 20개 정도가 적절하다. 샘플 데이터의 추출 기준은 실시예에 따라 다양하게 설정될 수 있다.
- [0071] 후보 특징 정보 추출 단계(S33)에서는 샘플 데이터 추출 단계(S32)에서 추출된 샘플 데이터로부터 후보 특징 정보를 추출한다.
- [0072] 후보 특징 정보는, 샘플 데이터 추출 단계(S32)에서 추출된 샘플 데이터로부터 연산된 제1 통계 정보 및/또는 시간 파형 데이터 추출 단계(S31)에서 추출되거나 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 시간 파형의 진동 데이터로부터 연산된 제2 통계 정보로부터 추출될 수 있다.
- [0073] 제1 통계 정보는 샘플 데이터의 RMS(Root mean square), 평균, 분산, 표준 편차를 포함할 수 있다. 샘플 데이터 추출 단계(S12)에서 추출된 샘플 데이터가 복수 개인 경우, 제1 통계 정보는 각 샘플 데이터마다의 RMS, 평균, 분산, 표준 편차를 포함할 수 있다.
- [0074] 제2 통계 정보는 시간 파형의 진동 데이터의 RMS, 평균, 분산, 표준 편차를 포함할 수 있다.
- [0075] 정상적인 진동 데이터는 주기적으로 +, -로 변화하는 양태를 보인다. 그러나 측정 오류를 포함하는 진동 데이터는 정상적인 진동 데이터와 달리 주기성이 낮은 양태를 보인다.
- [0076] 따라서, 데이터의 통계 정보 중 평균값은 정상적인 진동 데이터와 측정 오류를 포함하는 진동 데이터를 구분할

수 있는 하나의 지표가 될 수 있다.

[0077] 또한, 데이터의 통계 정보 중 RMS 값은 데이터의 진폭과 연관된 정보를 나타내는 지표가 될 수 있다.

[0078] 한편, 데이터의 분산 및 표준편차는 주기성을 갖는 정상적인 진동 데이터와 비주기성을 갖는 측정 오류를 포함하는 진동 데이터를 구별할 수 있는 지표가 될 수 있다. 특히, 하나의 진동 데이터로부터 추출된 복수의 샘플 데이터에서 측정 오류가 포함된 샘플 데이터는 다른 샘플 데이터 대비 분산 및/또는 표준 편차가 높게 나타난다. 따라서, 샘플 데이터들 사이의 분산, 표준 편차는 진동 데이터 내에 포함된 측정 오류와 관련된 데이터를 구별할 수 있는 지표가 될 수 있다. 또한, 진동 데이터와 샘플 데이터 사이의 분산 및/또는 표준 편차의 차이 역시 진동 데이터 내에 포함된 측정 오류와 관련된 데이터를 구별할 수 있는 지표가 될 수 있다.

[0079] 후보 특징 정보는 측정 오류를 포함하는 진동 데이터에서 상대적으로 높게 나타나는 신호 형태의 이상 특징, 분산에 대한 반응도가 높은 특징, 결합에 의해 발생하는 신호나 주기적 성분에 대해 반응성이 낮은 특징 등을 포함할 수 있다.

[0080] 이하에서는 설명의 편의를 위해, 제1 통계 정보인, 샘플 데이터의 RMS를 s_rms 이라 하고, 샘플 데이터의 평균을 s_mean 이라 하고, 샘플 데이터의 분산을 s_var 라 하고, 샘플 데이터의 표준 편차를 s_std 라 한다.

[0081] 또한, 제2 통계 정보인, 진동 데이터의 RMS를 d_rms 이라 하고, 진동 데이터의 평균을 d_mean 이라 하고, 진동 데이터의 분산을 d_var 라 하고, 진동 데이터의 표준 편차를 d_std 라 한다.

[0082] 본 명세서에서 제안하는 후보 특징 정보는 아래의 [표 2]와 같다.

표 2

No.	Feature	No.	Feature
1	s_mean/s_rms	7	d_mean/s_rms
2	s_std/d_rms	8	s_std/s_rms
3	s_std/d_std	9	s_var/d_var
4	s_mean/d_var	10	s_std/s_var
5	s_mean/d_std	11	s_var/s_std
6	s_mean/d_rms	12	s_var/s_rms

[0084] [표 2]를 참조하면,

[0085] 제1 후보 특징 정보는 샘플 데이터의 RMS(s_rms)에 대한 샘플 데이터의 평균(s_mean)의 비율(s_mean/s_rms)이 될 수 있다.

[0086] 제2 후보 특징 정보는 진동 데이터의 RMS(d_rms)에 대한 샘플 데이터의 표준편차(s_std)의 비율(s_std/d_rms)이 될 수 있다.

[0087] 제3 후보 특징 정보는 진동 데이터의 표준 편차(d_std)에 대한 샘플 데이터의 표준편차(s_std)의 비율(s_std/d_std)이 될 수 있다.

[0088] 제4 후보 특징 정보는 진동 데이터의 분산(d_var)에 대한 샘플 데이터의 평균(s_mean)의 비율(s_mean/d_var)이 될 수 있다.

[0089] 제5 후보 특징 정보는 진동 데이터의 표준 편차(d_std)에 대한 샘플 데이터의 평균(s_mean)의 비율(s_mean/d_std)이 될 수 있다.

[0090] 제6 후보 특징 정보는 진동 데이터의 RMS(d_rms)에 대한 샘플 데이터의 평균(s_mean)의 비율(s_mean/d_rms)이 될 수 있다.

[0091] 제7 후보 특징 정보는 샘플 데이터의 RMS(s_rms)에 대한 진동 데이터의 평균(d_mean)의 비율(d_mean/s_rms)이 될 수 있다.

[0092] 제8 후보 특징 정보는 샘플 데이터의 RMS(s_rms)에 대한 샘플 데이터의 표준편차(s_std)의 비율(s_std/s_rms)이 될 수 있다.

[0093] 제9 후보 특징 정보는 진동 데이터의 분산(d_var)에 대한 샘플 데이터의 분산(s_var)의 비율(s_var/d_var)이 될

수 있다.

- [0094] 제10 후보 특징 정보는 샘플 데이터의 분산(s_{var})에 대한 샘플 데이터의 표준편차(s_{std})의 비율(s_{std}/s_{var})이 될 수 있다.
- [0095] 제11 후보 특징 정보는 샘플 데이터의 표준편차(s_{std})에 대한 샘플 데이터의 분산(s_{var})의 비율(s_{var}/s_{std})이 될 수 있다.
- [0096] 제12 후보 특징 정보는 샘플 데이터의 RMS(s_{rms})에 대한 샘플 데이터의 분산(s_{var})의 비율(s_{var}/s_{rms})이 될 수 있다.
- [0097] 4가지의 제1 통계 정보(s_{rms} , s_{mean} , s_{var} , s_{std})와 4가지의 제2 통계 정보(d_{rms} , d_{mean} , d_{var} , d_{std}) 중 2가지의 정보에 대한 비율 정보는 56가지가 도출될 수 있지만, 이 중 상술한 12가지의 후보 특징 정보가 진동 데이터 내의 측정 오류에 민감하게 반응하는 특정 정보임을 확인하였다.
- [0098] 주성분 분석 단계(S34)에서는 12가지의 후보 특징들에 대해 주성분 분석(PCA, principal component analysis)를 통해 차원을 축소하여 특징 정보들을 추출할 수 있다. 이는 기계 학습을 이용한 효율적인 분석을 위한 것이다. 다만, 주성분 분석 단계(S34)는 실시예에 따라 생략될 수도 있다.
- [0099] 클러스터링 분석 단계(S35)에서는 특징 정보들을 기반으로 샘플링 데이터들을 클러스터링한다. 클러스터링은 비지도 학습의 일종으로, 레이블(label)이 없는 데이터들 사이의 유사도를 근거로 군집성을 평가한다.
- [0100] 본 실시예에 따른 방법이 정상적인 진동 데이터와 측정 오류를 포함하는 진동 데이터를 구분하는 것을 목적으로 하므로, 클러스터링을 통해 판단해야 할 구조적 조건이 단순하고, 많은 데이터 내에서 소수의 측정 오류 데이터를 찾아야 하므로 정상적인 진동 데이터와 측정 오류를 포함하는 진동 데이터를 구분하는 기계 학습 방법으로는 클러스터링 기법이 적합하다.
- [0101] 클러스터링 기법들 중 계층적 군집(Hierarchical Clustering)은 Bottom-up 방식인 응집형(병합 계층 군집)과 Top-down 방식인 분리형(분할 계층 군집)으로 구분될 수 있다. 응집형은 각각의 데이터로부터 시작하여 유사한 데이터끼리 순차적으로 순집화하는 방식이다.
- [0102] 응집형 클러스터링을 본 실시예에 적용하는 경우, 각각 하나의 샘플 데이터를 갖는 N개의 군집으로 시작하여 이들에 대한 유사성 행렬을 산출하고, 이를 기초로 가장 유사한 군집의 쌍을 찾아 하나의 군집으로 병합하고 다시 유사성 행렬을 갱신하는 과정을 반복하여, 모든 샘플 데이터가 하나의 군집이 되도록 하는 방식으로 진행될 수 있다.
- [0103] 또한, 응집형 클러스터링의 알고리즘에는 Single linkage, Complete linkage, Centroid linkage, Average linkage, Ward's linkage 등이 존재한다.
- [0104] 이 중, 다른 알고리즘들이 군집 간의 거리를 근거로 군집의 병합을 수행함에 반해, Ward's linkage는 군집 내 편차를 최소화하는 방식으로 군집의 병합을 수행한다. 특히, Ward's linkage는 Single linkage에 비해 노이즈와 이상치에 대해 덜 민감한 특성을 보이며, 다른 알고리즘에 비슷한 크기의 군집끼리 클러스터링하는 경향이 존재하므로, 정상적인 진동 데이터와 측정 오류를 포함하는 진동 데이터를 구분하는 본 실시예에 보다 적합하다고 판단된다.
- [0105] 도 7 및 도 8은 기존의 진동 데이터를 제2 판단 단계에 따라 판단한 클러스터링 결과를 도시한 그래프이다.
- [0106] 도 7 및 도 8을 참조하면, 정상적인 진동 데이터(C1)와 측정 오류를 포함하는 진동 데이터(C2)가 서로 다른 군집으로 클러스터링되었음을 확인할 수 있다. 제2 판단 단계에 의해 10,634개의 샘플 진동 데이터 중에서 1,188개의 데이터가 측정 오류를 포함하는 진동 데이터(C2)로 판별되었다.
- [0107] 측정 오류 판단 단계(S36)에서는 클러스터링 분석 단계(S35)에서 도출된 분석 결과를 기반으로 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류로 인한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단할 수 있다.
- [0108] 제2 판단 단계(S30)에 따른 진동 데이터에 대한 측정 오류 판단은 도 5에 도시된 바와 같이, 전문가도 정확하게 판단하기 어려운 영역이나, 제1 판단 단계(S20)에서 정확하게 판단하지 못한 정상적인 진동데이터와 측정 오류를 포함하는 진동 데이터가 혼재하는 영역에서 정확한 판단 근거를 제시하여 제1 판단 단계(S20)의 판단 오류를 보완할 수 있다.
- [0109] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판단 방법은 서로 다른 2가지의 판단 방법을 이

용해 진동 데이터에 측정 오류로 인한 데이터가 포함되었는지 여부를 판단하고, 각 판단 방법에 따른 판단 결과를 취합하여 최종적으로 진동 데이터에 측정 오류로 인한 데이터가 포함되었는지 여부를 판단하므로, 판단의 정확성을 향상시킬 수 있다.

- [0110] 또한, 잘못 측정된 진동 데이터를 선별하여 예측 진단의 기초 데이터인 진동 데이터의 건전성을 향상시킬 수 있다.
- [0111] 이하에서는 상술한 진동 측정 오류 판단 방법을 이용하는 진동 측정 오류 판별 시스템에 대해 설명한다.
- [0112] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판별 시스템을 도시한 블록도이다.
- [0113] 도 9를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판별 시스템은, 데이터 획득부(10), 제1 판단부(20), 제2 판단부(30), 최종 판단부(40) 및 머신 러닝 분석 데이터 베이스(50)를 포함할 수 있다.
- [0114] 데이터 획득부(10)는 상술한 진동 데이터 획득 단계(S10)를 수행한다. 즉, 데이터 획득부(10)는 이동식 진동 측정기로부터 진동 데이터를 획득하거나, 진동 데이터가 저장된 데이터베이스(DB)로부터 진동 데이터를 획득할 수 있다.
- [0115] 제1 판단부(20)는 상술한 제1 판단 단계(S20)를 수행한다. 즉, 제1 판단부(20)는 미리 설정된 오류 데이터 선정 규칙에 기초하여 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류에 의한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단할 수 있다.
- [0116] 제2 판단부(30)는 상술한 제2 판단 단계(S30)를 수행한다. 즉, 제2 판단부(30)는 제1 판단 단계(S20)의 판단 기준과는 다른 판단 기준으로 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류에 의한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단할 수 있다. 예를 들어, 제2 판단부(30)는 기계 학습 알고리즘을 이용해 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류에 의한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 판단할 수 있다.
- [0117] 최종 판단부(40)는 상술한 최종 판단 단계(S40)를 수행한다. 즉, 최종 판단부(40)는 제1 판단부(20)의 판단 결과와 제2 판단부(30)의 판단 결과를 취합하여 진동 데이터 획득 단계(S10)에서 획득된 진동 데이터에 측정 오류에 의한 데이터가 포함되어 있는지 여부를 최종적으로 판단한다.
- [0118] 최종 판단부(40)는 제1 판단부(20)와 제2 판단부(30)가 모두 측정 오류가 없는 것으로 판단한 진동 데이터에 한하여 측정 오류가 없는 것으로 판단할 수 있다. 또는 최종 판단부(40)는 제1 판단부(20)와 제2 판단부(30) 중 어느 하나가 모두 측정 오류가 없는 것으로 판단한 진동 데이터에 한하여 측정 오류가 없는 것으로 판단할 수 있다.
- [0119] 최종 판단부(40)는 측정 오류가 있는 것으로 판단된 진동 데이터에 대해서는 측정 오류가 존재한다는 알림을 사용자에게 제공할 수 있다.
- [0120] 본 실시예에서는 제1 판단부(20), 제2 판단부(30) 및 최종 판단부(40)를 각각 별도의 구성으로 설명하였지만, 이는 제1 판단부(20), 제2 판단부(30) 및 최종 판단부(40)를 기능적으로 구분하여 설명하기 위한 것이고, 제1 판단부(20), 제2 판단부(30) 및 최종 판단부(40)는 물리적으로 하나 또는 복수의 연산 유닛으로 구성될 수 있다.
- [0121] 머신 러닝 분석 데이터 베이스(50)는 진동 데이터에 대한 분석을 수행하는 머신 러닝 알고리즘을 포함할 수 있다.
- [0122] 최종 판단부(40)는 측정 오류가 없는 것으로 판단된 진동 데이터를 머신 러닝 분석 데이터 베이스(50)로 제공할 수 있고, 머신 러닝 분석 데이터 베이스(50)는 최종 판단부(40)로부터 수신한 진동 데이터를 업데이트할 수 있다.
- [0123] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 진동 측정 오류 판별 시스템은 서로 다른 2가지의 판단 방법을 이용해 진동 데이터에 측정 오류로 인한 데이터가 포함되었는지 여부를 판단하고, 각 판단 방법에 따른 판단 결과를 취합하여 최종적으로 진동 데이터에 측정 오류로 인한 데이터가 포함되었는지 여부를 판단하므로, 판단의 정확성을 향상시킬 수 있다.
- [0124] 또한, 잘못 측정된 진동 데이터를 선별하여 예측 진단의 기초 데이터인 진동 데이터의 건전성을 향상시킬 수 있다.

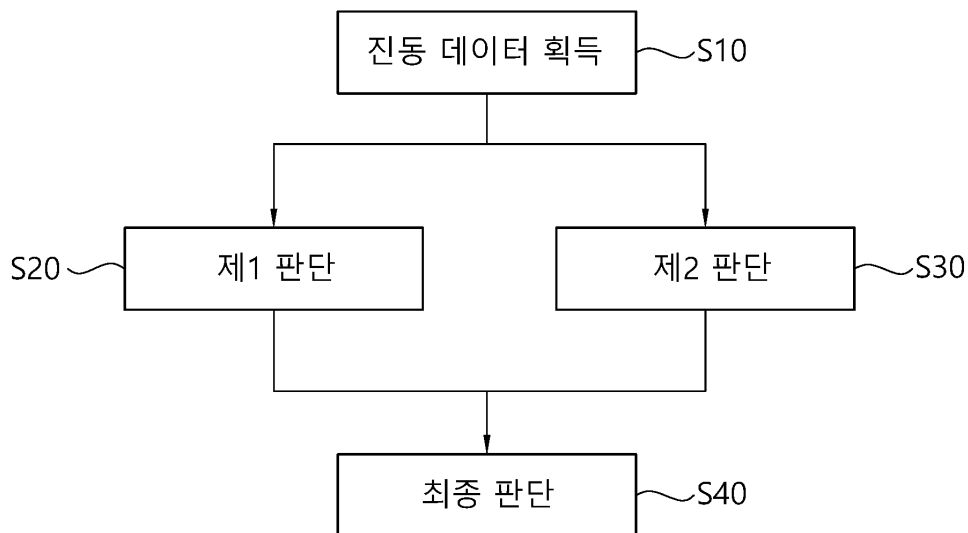
[0125] 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

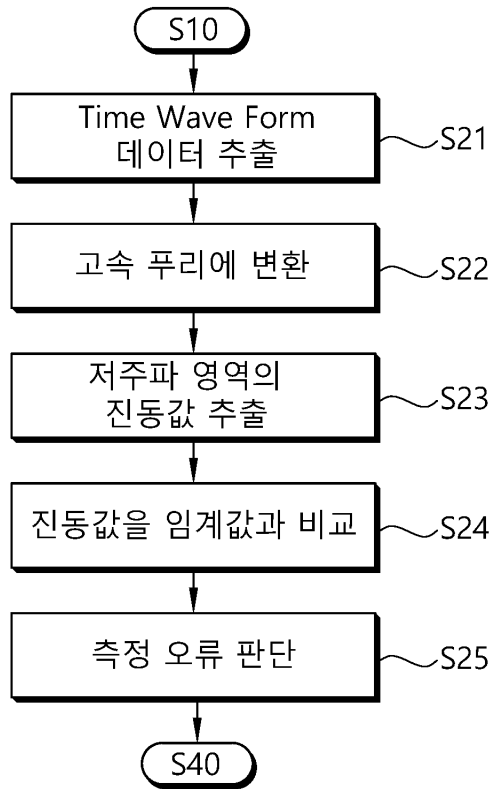
[0126] 10: 데이터 획득부
20: 제1 판단부
30: 제2 판단부
40: 최종 판단부
50: 머신 러닝 분석 데이터 베이스

도면

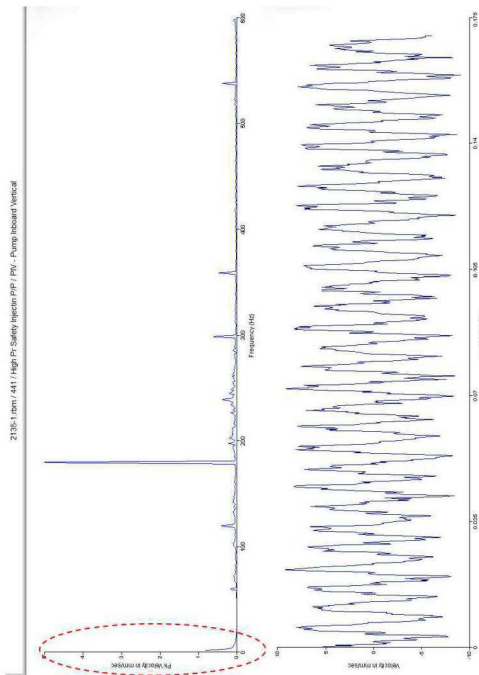
도면1



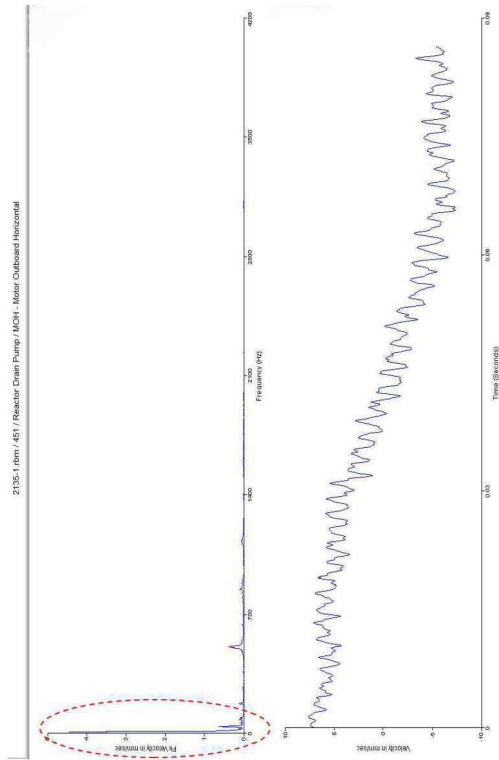
도면2



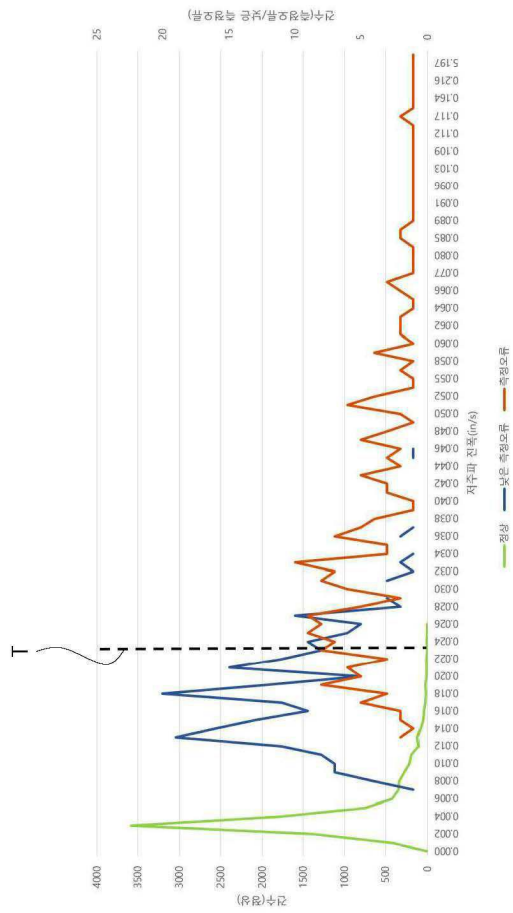
도면3



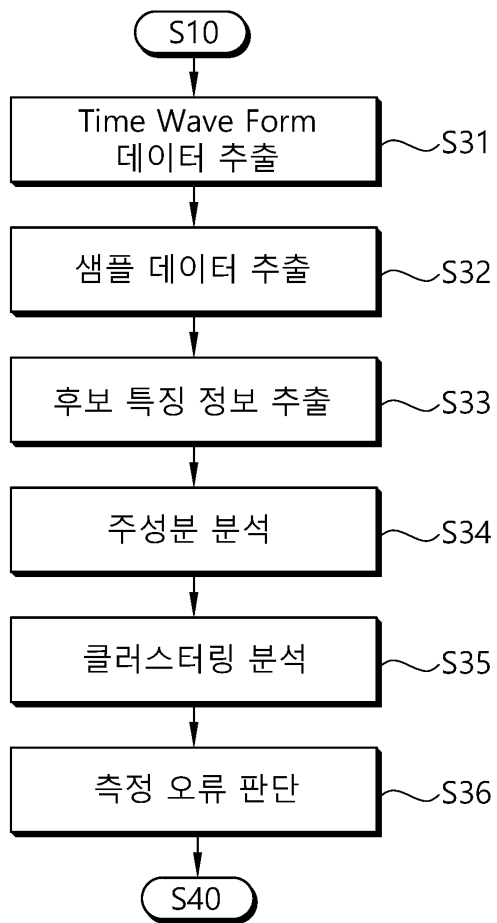
도면4



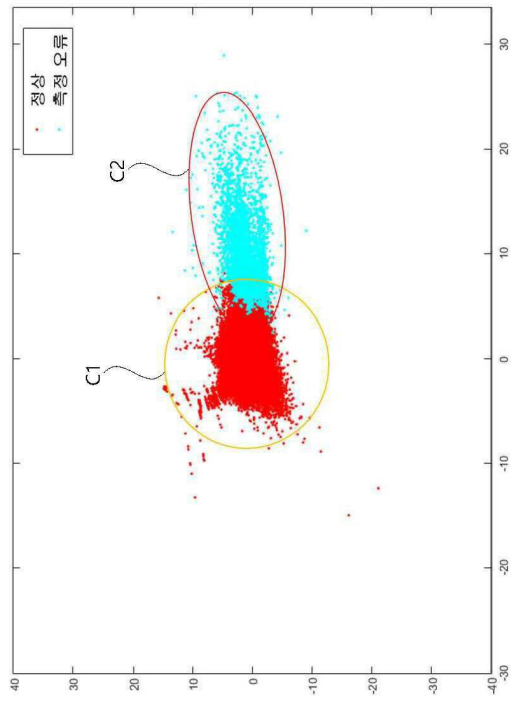
도면5



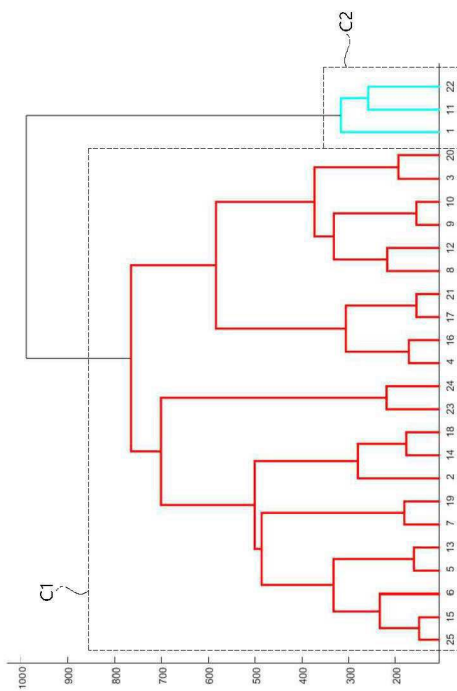
도면6



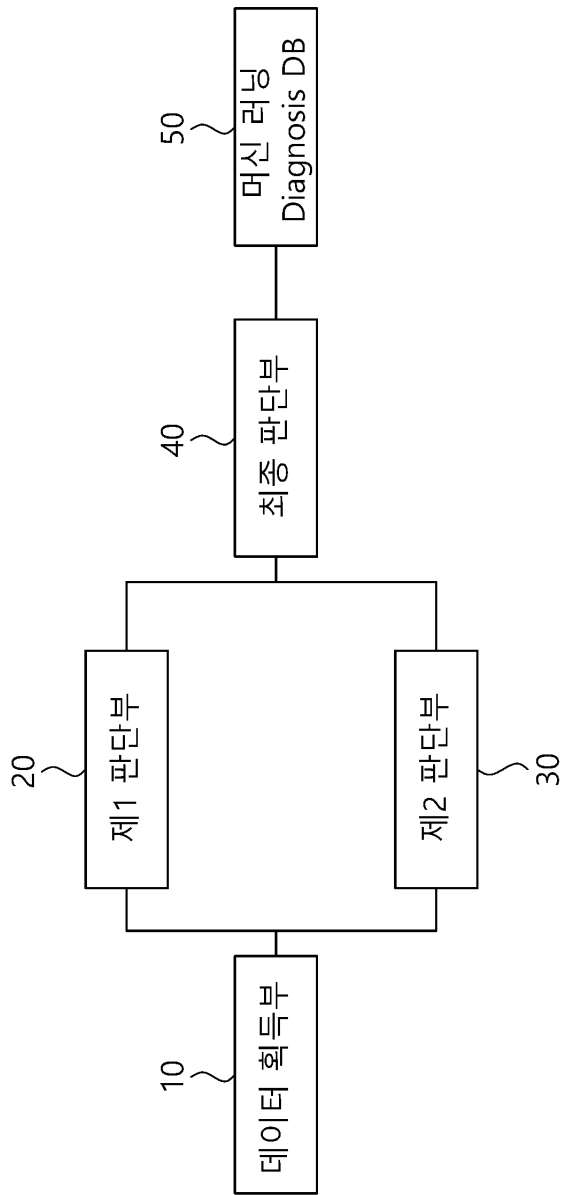
도면7



도면8



도면9



도면10

