



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0037643  
(43) 공개일자 2019년04월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01M 7/02 (2006.01) F04D 29/54 (2006.01)  
 G01H 11/06 (2006.01) G01M 15/12 (2006.01)  
 G06F 17/10 (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
 G01M 7/02 (2013.01)  
 F04D 29/54 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2017-0127198  
 (22) 출원일자 2017년09월29일  
 심사청구일자 없음

(71) 출원인  
 한국전력공사  
 전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)  
 (72) 발명자  
 김동환  
 대전광역시 유성구 문지로 105 전력연구원  
 김연환  
 대전광역시 유성구 문지로 105 전력연구원  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 특허법인아주

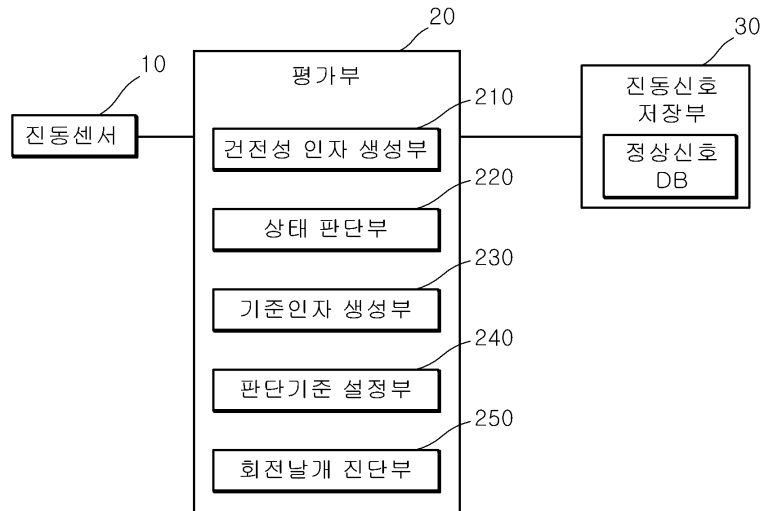
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 회전날개의 상태 평가장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 회전날개의 상태 평가장치 및 그 방법이 개시된다. 본 발명의 회전날개의 상태 평가장치는, 회전날개가 회전할 때 발생하는 진동을 감지하는 진동센서; 진동센서로부터 감지되는 진동신호를 저장하는 진동신호 저장부; 및 진동신호 저장부에 저장된 진동신호를 기반으로 회전날개의 건전성 인자를 생성하여 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자를 토대로 회전날개의 상태를 판단하고 진단하는 평가부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*G01H 11/06* (2013.01)

*G01M 15/12* (2013.01)

*G01M 15/14* (2019.01)

*G06F 17/10* (2013.01)

(72) 발명자

**김완재**

대전광역시 유성구 문지로 105 전력연구원

**배용채**

대전광역시 유성구 문지로 105 전력연구원

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

회전날개가 회전할 때 발생하는 진동을 감지하는 진동센서;

상기 진동센서로부터 감지되는 상기 진동신호를 저장하는 진동신호 저장부; 및

상기 진동신호 저장부에 저장된 상기 진동신호를 기반으로 상기 회전날개의 건전성 인자를 생성하여 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자를 토대로 상기 회전날개의 상태를 판단하고 진단하는 평가부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가장치.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 진동신호 저장부는, 상기 진동센서로부터 감지되는 상기 진동신호 중 정상시점에서 감지되는 상기 진동신호를 분리하여 저장하는 정상신호 DB를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가장치.

#### 청구항 3

제 2항에 있어서, 상기 정상시점은, 상기 회전날개의 회전 운전환경이 정상인 시점인 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가장치.

#### 청구항 4

제 2항에 있어서, 상기 평가부는, 상기 정상신호 DB로부터 상기 진동신호를 읽어와 정상신호 기반의 상기 건전성 기준 인자를 생성하고, 상기 회전날개의 상태를 판단하기 위한 판단기준을 설정하는 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가장치.

#### 청구항 5

제 2항에 있어서, 상기 평가부는, 상기 진동신호 저장부에 저장된 상기 진동신호 중 정상시점에서 감지된 상기 진동신호를 상기 정상신호 DB에 저장하고, 정상신호 기반의 상기 건전성 기준 인자를 생성하는 기준 인자 생성부; 및

상기 건전성 기준 인자를 토대로 상기 회전날개의 상태를 판단하기 위한 판단기준을 설정하는 판단기준 설정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가장치.

#### 청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 평가부는, 상기 진동신호 저장부에 저장된 상기 진동신호를 기반으로 상기 회전날개의 상기 건전성 인자를 생성하는 건전성 인자 생성부;

상기 건전성 기준 인자를 기반으로 설정된 판단기준과 상기 건전성 인자를 비교하여 상기 회전날개의 상태를 판단하는 상태 판단부; 및

상기 상태 판단부의 상태 판단 결과에 따라 상기 회전날개를 진단하는 회전날개 진단부를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가장치.

**청구항 7**

평가부가 진동센서로부터 회전날개의 진동신호를 입력받아 진동신호 저장부에 저장하는 단계;

상기 평가부가 상기 진동신호 저장부에 저장된 상기 진동신호를 기반으로 상기 회전날개의 건전성 인자를 생성하는 단계; 및

상기 평가부가 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자와 상기 건전성 인자를 비교하여 상기 회전날개의 상태를 판단하고 진단하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가방법.

**청구항 8**

제 7항에 있어서, 상기 진동신호 저장부에 저장하는 단계는, 상기 평가부가 정상시점에서 감지된 상기 진동신호를 정상신호 DB에 저장하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가방법.

**청구항 9**

제 8항에 있어서, 상기 정상시점은, 상기 회전날개의 회전 운전환경이 정상인 시점인 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가방법.

**청구항 10**

제 7항에 있어서, 상기 건전성 인자를 생성하는 단계는, 상기 평가부가 진동신호를 주파수 영역으로 신호 처리하는 단계;

상기 평가부가 주파수 영역의 진동신호를 주파수 성분별 크기로 벡터화하는 단계;

상기 평가부가 벡터화한 주파수 벡터에 대해 각 주파수별 가중치를 계산하는 단계; 및

상기 평가부가 주파수 벡터와 각 주파수별 가중치를 토대로 상기 건전성 인자를 생성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전날개의 상태 평가방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 회전날개의 상태 평가장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 터빈 내 설치된 비접촉식 진동센서를 통해 취득한 회전날개의 진동신호로부터 생성한 건전성 인자와 정상시점에서 생성한 건전성 인자를 비교하여 운전 중 실시간으로 회전날개의 상태를 평가할 수 있도록 한 회전날개의 상태 평가장치 및 그 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 일반적으로, 발전소 등에서 발전기를 회전시키기 위한 동력원 중의 하나로 가스터빈이 많이 사용되고 있다.

[0003] 이러한 가스터빈은 압축기, 연소기, 및 터빈을 구비하며, 가스터빈은 축으로 연결되어 터빈에 의해 구동되는 압축기를 구비한다.

[0004] 공기유입구로부터 유입된 공기가 압축기 내부에서 압축된다.

[0005] 이후 압축기에서 압축되는 압축공기가 연소시스템으로 유입되는데, 이러한 연소시스템은 1개 또는 다수의 연소기와 연소기 내부에 연료를 분사하는 연료노즐을 구비한다.

- [0006] 연소기에서 연료노즐을 통해 유입되는 연료와 압축공기가 함께 연소되고, 이에 따라 고온의 압축가스가 생성된다.
- [0007] 이와 같이 연소기에서 만들어지는 고온의 압축가스는 터빈으로 유입되고, 터빈으로 유입된 고온의 압축가스가 팽창하면서 터빈과 연결된 로터를 회전시켜 발전하게 되며, 터빈에서 생성되는 팽창가스는 외부로 방출되거나 열병합 발전시설을 거쳐 외부로 배출된다.
- [0008] 가스터빈은 연소실에서 압축공기와 연료가 연소될 때 발생하는 고온 고압의 연소가스를 이용하여 터빈을 회전시킴으로써 발전기의 구동에 필요한 회전력을 발생시킨다.
- [0009] 이러한 가스터빈 압축기는 압축기의 구동 중에 회전날개의 반경방향 외측단부와 압축기의 내주면 사이의 간극인 팁 간극이 존재한다.
- [0010] 이러한 팁 간극(tip clearance)을 통해 회전날개의 정압면에서 부압면 방향으로 작동유체의 주류적인 흐름과 다른 흐름인 클리어런스 플로우(cleance flow)가 발생하고, 이러한 작동유체의 주류적인 흐름이 음속에 도달하는 천음속 구간에서 충격파(Shock wave)가 발생한다.
- [0011] 이처럼, 가스터빈 압축기는 팁 간극 사이의 클리어런스 플로우에 따른 팁 누설 와류(Vortex)와 충격파(Shock wave)의 상호작용으로 인해 실속(stall) 또는 서지(surge)가 발생하여 압축기의 구동 중에 진동이 유발된다.
- [0012] 이러한 진동은 유체흐름 특성에 따라 패턴을 형성하며, 해당 패턴은 FFT (Fast Fourier transform, 이하 FFT) 분포에 의해 특징지어질 수 있다. 또한, 유체흐름 변동에 따라 회전날개에 발생된 진동들은 그 특성별로 독특한 주파수를 가진다.
- [0013] 이때 유체유발에 의한 비정상적인 회전날개의 비동기 진동응답은 심각한 시스템의 손상을 초래하기 때문에 사전에 이를 막기 위한 감시 장비의 수요가 많이 증가하고 있다.
- [0014] 이를 통해 실시간으로 회전날개의 진동신호에 대한 계측 결과를 확인할 수 있으나 운전 중 회전날개의 상태를 확인하기 위해서는 전문가의 상세한 분석 및 많은 시간이 필요한 문제점이 있다. 또한, 좀 더 신뢰도 높은 정비를 위해 일정 주기로 회전날개에 대한 비파괴 검사를 시행하고 있으나 정상운전 조건에서 발생하는 문제를 사전에 대응하기는 어렵다는 문제점이 있다.
- [0015] 본 발명의 배경기술은 대한민국 공개특허공보 제2017-0017062호(2017.02.15. 공개, 가스터빈 압축기)에 개시되어 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0016] 본 발명은 상기와 같은 문제점들을 개선하기 위하여 안출된 것으로, 일 측면에 따른 본 발명의 목적은 터빈 내 설치된 비접촉식 진동센서를 통해 취득한 회전날개의 진동신호로부터 생성한 건전성 인자와 정상시점에서 생성한 건전성 인자를 비교하여 운전 중 실시간으로 회전날개의 상태를 평가할 수 있도록 한 회전날개의 상태 평가장치 및 그 방법을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0017] 본 발명의 일 측면에 따른 회전날개의 상태 평가장치는, 회전날개가 회전할 때 발생하는 진동을 감지하는 진동센서; 진동센서로부터 감지되는 진동신호를 저장하는 진동신호 저장부; 및 진동신호 저장부에 저장된 진동신호를 기반으로 회전날개의 건전성 인자를 생성하여 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자를 토대로 회전날개의 상태를 판단하고 진단하는 평가부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 본 발명에서 진동신호 저장부는, 진동센서로부터 감지되는 진동신호 중 정상시점에서 감지되는 진동신호를 분리하여 저장하는 정상신호 DB를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 본 발명에서 정상시점은, 회전날개의 회전 운전환경이 정상인 시점인 것을 특징으로 한다.
- [0020] 본 발명에서 평가부는, 정상신호 DB로부터 진동신호를 읽어와 정상신호 기반의 건전성 기준 인자를 생성하고, 회전날개의 상태를 판단하기 위한 판단기준을 설정하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 본 발명에서 평가부는, 진동신호 저장부에 저장된 진동신호 중 정상시점에서 감지된 진동신호를 정상신호 DB에

저장하고, 정상신호 기반의 건전성 기준 인자를 생성하는 기준 인자 생성부; 및 건전성 기준 인자를 토대로 회전날개의 상태를 판단하기 위한 판단기준을 설정하는 판단기준 설정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 본 발명에서 평가부는, 진동신호 저장부에 저장된 진동신호를 기반으로 회전날개의 건전성 인자를 생성하는 건전성 인자 생성부; 건전성 기준 인자를 기반으로 설정된 판단기준과 건전성 인자를 비교하여 회전날개의 상태를 판단하는 상태 판단부; 및 상태 판단부의 상태 판단 결과에 따라 회전날개를 진단하는 회전날개 진단부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 본 발명의 일 측면에 따른 회전날개의 상태 평가방법은, 평가부가 진동센서로부터 회전날개의 진동신호를 입력받아 진동신호 저장부에 저장하는 단계; 평가부가 진동신호 저장부에 저장된 진동신호를 기반으로 회전날개의 건전성 인자를 생성하는 단계; 및 평가부가 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자와 건전성 인자를 비교하여 회전날개의 상태를 판단하고 진단하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 본 발명에서 진동신호 저장부에 저장하는 단계는, 평가부가 정상시점에서 감지된 진동신호를 정상신호 DB에 저장하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 본 발명에서 정상시점은, 회전날개의 회전 운전환경이 정상인 시점인 것을 특징으로 한다.

[0026] 본 발명에서 건전성 인자를 생성하는 단계는, 평가부가 진동신호를 주파수 영역으로 신호 처리하는 단계; 평가부가 주파수 영역의 진동신호를 주파수 성분별 크기로 벡터화하는 단계; 평가부가 벡터화한 주파수 벡터에 대해 각 주파수별 가중치를 계산하는 단계; 및 평가부가 주파수 벡터와 각 주파수별 가중치를 토대로 건전성 인자를 생성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

[0027] 본 발명의 일 측면에 따른 회전날개의 상태 평가장치 및 그 방법은 터빈 내 설치된 비접촉식 진동센서를 통해 취득한 회전날개의 진동신호로부터 생성한 건전성 인자와 정상시점에서 생성한 건전성 인자를 비교하여 운전 중 실시간으로 전문가의 도움 없이 회전날개의 상태를 평가할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치를 나타낸 블록 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치에서 FFT 벡터화 과정을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치에서 정상시점 FFT 데이터군 주파수 위치별 가우시안 분포를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치에서 주파수 위치별 가중치를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치에서 건전성 인자 생성절차와 건전성 인자 분포를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가방법에서 건전성 인자를 생성하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 회전날개의 상태 평가장치 및 그 방법을 설명한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치를 나타낸 블록 구성도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치에서 FFT 벡터화 과정을 나타낸 도면이며, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치에서 정상시점 FFT 데이터군 주파수 위치별 가우시안 분포를 나타낸 도면이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치에서 주파수 위치별 가중치를 나타낸

도면이며, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치에서 건전성 인자 생성절차와 건전성 인자 분포를 나타낸 도면이다.

- [0031] 도 1에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가장치는, 진동센서(10), 진동신호 저장부(30) 및 평가부(20)를 포함할 수 있다.
- [0032] 진동센서(10)는 터빈설비(미도시)의 케이싱 내에 설치되어 비접촉식으로 회전날개(미도시)가 회전할 때 발생하는 진동을 설정시간 약 30초 이상 감지하여 평가부(20)에 제공한다.
- [0033] 진동신호 저장부(30)는 진동센서(10)로부터 감지되는 진동신호를 저장한다.
- [0034] 이때 진동신호 저장부(30)는 진동센서(10)로부터 감지되는 진동신호 중 정상시점에서 감지되는 진동신호를 선별하여 저장하는 정상신호 DB(35)를 포함할 수 있다.
- [0035] 여기서 정상시점은 회전날개의 회전 운전환경이 정상인 시점을 의미한다.
- [0036] 평가부(20)는 진동신호 저장부(30)에 저장된 진동신호를 기반으로 회전날개의 건전성 인자를 생성하여 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자를 토대로 회전날개의 상태를 판단하고 진단한다.
- [0037] 또한, 평가부(20)는 정상신호 DB(35)로부터 진동신호를 읽어와 정상신호 기반의 건전성 기준 인자를 생성하고, 회전날개의 상태를 판단하기 위한 판단기준을 설정할 수 있다.
- [0038] 따라서, 평가부(20)는 기준 인자 생성부(230) 및 판단기준 설정부(240)를 포함할 수 있다.
- [0039] 기준 인자 생성부(230)는 진동신호 저장부(30)에 저장된 진동신호 중 정상시점에서 감지된 진동신호를 선별하여 정상신호 DB(35)에 저장하고, 정상신호 기반의 건전성 기준 인자를 생성할 수 있다.
- [0040] 먼저, 기준 인자 생성부(230)는 정상신호 DB(35)에 저장된 진동신호에 대해 동일 시간 간격으로 고속 푸리에 변환(FFT ; Fast Fourier Transform)을 통해 주파수 영역으로 신호처리한다.
- [0041] 이후 기준 인자 생성부(230)는 진동신호를 주파수 영역으로 변환한 FFT 신호를 주파수 성분별 크기로 도 2에 도시된 바와 같이 벡터화 한다. 여기서 FFT 주파수 성분의 개수와 벡터의 길이는 동일하다.
- [0042] 기준 인자 생성부(230)는 FFT 벡터화 Set를 사용하여 주파수 위치별(0, 1Hz, 2Hz, ... )로 각각의 평균과 표준편차를 구하여 정규화 한다. 이때 회전날개의 회전 운전환경이 정상일 경우 FFT 신호 패턴은 동일하지만 주파수별 크기는 조건에 따라 조금씩 변화하기 때문에 상대적인 비교를 위해 정규화 과정을 거친다.
- [0043] 여기서, 정상시점의 FFT 데이터군(여러 개의 FFT 벡터화 결과값을 모은 것)은 주파수 위치별로 가우시안 분포를 형성한다고 가정할 수 있다. 따라서 각 주파수 위치별 크기의 평균(E)과 표준편차(σ)를 계산한 후 주파수 위치별 가우시안 분포를 추정한다. 예를 들어, 도 3과 도 4에 도시된 바와 같이 주파수 범위가 0에서 400Hz 일 경우 400개의 가우시안 분포가 형성될 수 있다.
- [0044] 이후 기준 인자 생성부(230)는 벡터화된 FFT 데이터군에서 한 개씩 FFT를 선택한 후, 해당 FFT 주파수 위치의 크기가 정상시점의 FFT 데이터군에서 추정되는 각 주파수 위치별 가우시안 분포 상 어느 곳에 위치하고 있는지 추정하여 그 값을 수치화 한 후 (하나의 예로, FFT 데이터군 중 한 개의 FFT에서 1 Hz의 크기를 FFT 데이터군에서 1 Hz 성분만을 가지고 만든 가우시안 분포에 대입하여 분포도의 y축 값을 추정) 수학적 1과 같이 가중치를 계산한다.

**수학식 1**

$$Frequency\ weight = 1/c \left( \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right) \right) (x-\mu \leq 2\sigma \text{면 } c=1, \text{ 그외는 } < 1)$$

- [0045]
- [0046] 수학식 1에서 x는 입력되는 FFT의 특정 주파수 위치의 크기값, μ 과 σ 는 정상시점 FFT 데이터군의 가우시안 분포들 중에서 입력 FFT 특정 주파수 위치에 해당하는 분포의 평균과 표준편차를 의미하며, c는 가우시안 분포에서 입력 FFT 특정 주파수의 위치가 평균을 많이 벗어날 경우 이를 고려하기 위해 가중치를 높이기 위한 상수 값으로 사용된다.
- [0047] 수학식 1은 결과적으로 입력되는 FFT의 주파수 개별 위치의 크기가 해당 가우시안 분포 상에서 평균 위치와 가

같이 위치할 경우 낮은 가중치가 형성되며, 그 반대일 경우 높은 가중치가 형성되어 회전날개의 작동환경이 변하여 주파수가 변경됨에 따라 데이터의 특성이 변경될 경우 정상상태 데이터군과의 거리를 넓혀주는 역할을 한다.

[0048] 기준 인자 생성부(230)는 이와 같은 과정으로 회전날개가 운전 중일 때의 FFT 데이터군에 포함된 개별 FFT에 대한 주파수 성분별 가중치 벡터를 계산한다.

**수학식 2**

[0049] 
$$w = [w_{1hz}, w_{2hz}, w_{3hz}, \dots]$$

**수학식 3**

[0050] 
$$f = [f_{1hz}, f_{2hz}, f_{3hz}, \dots]$$

[0051] 그 다음 수학식 2로 나타낸 주파수 성분별 가중치 벡터와 수학식 3으로 나타낸 주파수 벡터를 곱하여 수학식 4와 같이 주파수 성분 범위별(0-30 Hz, 31-60 Hz, 61-90 Hz ~ 회전날개의 상태분석 정도에 따라 범위를 더 세분화 할 수도 있다)로 값들을 합산하여 성분 범위별로 회전날개의 건전성 기준 인자를 생성한다.

**수학식 4**

[0052] 
$$BHI_i = \sum_{k=a}^b (w_k \cdot f_k)$$

[0053] 수학식 4에서 a, b는 i 번째 블레이드 건전성 인자를 계산할 때 사용한 주파수 성분 범위의 초기값 및 마지막 값을 의미한다.

[0054] 판단기준 설정부(240)는 진동신호를 기반으로 생성한 회전날개의 건전성 인자와 건전성 기준 인자를 토대로 비교하여 회전날개의 상태에 대해 비정상적으로 판단할 수 있는 판단기준을 설정할 수 있다.

[0055] 또한, 평가부(20)는 운전 중 회전날개의 상태를 판단하기 위해 건전성 인자 생성부(210), 상태 판단부(220) 및 회전날개 진단부(250)를 포함할 수 있다.

[0056] 건전성 인자 생성부(210)는 진동신호 저장부(30)에 저장된 진동신호를 기반으로 회전날개의 건전성 인자를 생성한다.

[0057] 건전성 인자 생성부(210)는 위에서 설명한 기준 인자 생성부(230)와 동일하게 동작되며, 다만 건전성 인자 생성부(210)는 운전 중 저장되는 진동신호를 기반으로 건전성 인자를 생성하고 기준 인자 생성부(230)는 정상시점에서 정상신호를 기반으로 건전성 기준 인자를 생성하는 것으로 그 구성은 동일하여 여기서는 그 설명을 생략한다.

[0058] 상태 판단부(220)는 건전성 기준 인자를 기반으로 설정된 판단기준과 건전성 인자를 비교하여 회전날개의 상태를 판단할 수 있다.

[0059] 예를 들어, 도 5에 도시된 바와 같이 가스터빈 운전 중 유체유발에 의한 진동이 발생하게 되면 진동센서(10)로부터 취득한 FFT의 특정 주파수 성분의 변화를 초래하여 이를 기반으로 건전성 인자를 생성하게 되면, 기준 분포도의 평균에서 벗어나기 때문에 변화가 있는 주파수 성분의 가중치 값이 커지게 되어 건전성 인자의 값이 급격히 변하게 된다.

[0060] 따라서 상태 판단부(220)에서 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자와 건전성 인자를 비교할 경우 회전날개의 이상상태를 실시간으로 판별할 수 있다.



- [0061] 이와 같이 상태 판단부(220)를 통해 회전날개의 진동을 감지하는 과정에서 비정상적인 상태가 발생할 경우 건전성 기준 인자와 건전성 인자를 비교하여 판단기준에 따라 비정상 여부를 판단할 수 있다.
- [0062] 회전날개 진단부(250)는 상태 판단부(220)의 상태 판단 결과에 따라 회전날개를 상태를 진단할 수 있다. 예를 들어 판단기준을 벗어나 크거나 빈도를 기반으로 정량적 판단을 통해 회전날개의 상태를 진단하여 전문가의 분석과정 없이 운전 중 실시간으로 진단할 수 있다.
- [0063] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 의한 회전날개의 상태 평가장치에 따르면, 터빈 내 설치된 비접촉식 진동센서를 통해 취득한 회전날개의 진동신호로부터 생성한 건전성 인자와 정상시점에서 생성한 건전성 인자를 비교하여 운전 중 실시간으로 전문가의 도움 없이 회전날개의 상태를 평가할 수 있다.
- [0064] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가방법을 설명하기 위한 흐름도이고, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가방법에서 건전성 인자를 생성하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0065] 도 6과 도 7에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 회전날개의 상태 평가방법에서는 먼저, 평가부(20)가 터빈설비의 케이싱 내에 설치된 비접촉식 진동센서(10)로부터 회전날개가 회전할 때 발생하는 진동을 설정시간 약 30초 이상 감지한 진동신호를 입력받는다(S10).
- [0066] 평가부(20)가 S10 단계에서 입력된 진동신호를 진동신호 저장부(30)에 저장한다(S20).
- [0067] S20 단계에서 평가부(20)는 정상시점에서 감지된 진동신호를 선별하여 정상신호 DB(35)에 저장할 수 있다.
- [0068] 여기서, 정상시점은 회전날개의 회전 운전환경이 정상인 시점을 의미한다.
- [0069] 이와 같이 정상신호 DB(35)에 저장된 진동신호를 기반으로 평가부(20)가 실시간으로 운전 중 회전날개의 상태를 판단하기 위해 비교하는 건전성 기준 인자를 생성한다.
- [0070] S20 단계에서 진동신호 저장부(30)에 진동신호를 저장한 후 평가부(20)는 진동신호 저장부(30)에 저장된 진동신호를 기반으로 회전날개의 건전성 인자를 생성한다(S30).
- [0071] 본 실시예에서 회전날개의 건전성 인자를 생성하는 과정과 회전날개의 상태를 판단하기 위한 기준으로 건전성 기준 인자를 생성하는 과정을 동일하여 여기서는 건전성 인자를 생성과정으로 설명한다.
- [0072] 평가부(20)가 진동신호 저장부(30)에 저장된 진동신호에 대해 동일 시간 간격으로 고속 푸리에 변환(FFT ; Fast Fourier Transform)을 통해 주파수 영역으로 신호처리한다(S310).
- [0073] 이후 평가부(20)는 진동신호를 주파수 영역으로 변환한 FFT 신호를 주파수 성분별 크기로 도 2에 도시된 바와 같이 벡터화 한다(S320). 여기서 FFT 주파수 성분의 개수와 벡터의 길이는 동일하다.
- [0074] 평가부(20)는 FFT 벡터화 Set를 사용하여 주파수 위치별(0, 1Hz, 2Hz, ... )로 각각의 평균과 표준편차를 구하여 정규화 한다. 이때 회전날개의 회전 운전환경이 정상일 경우 FFT 신호 패턴은 동일하지만 주파수별 크기는 조건에 따라 조금씩 변화하기 때문에 상대적인 비교를 위해 정규화 과정을 거친다.
- [0075] 여기서, 정상시점의 FFT 데이터군(여러 개의 FFT 벡터화 결과값을 모은 것)은 주파수 위치별로 가우시안 분포를 형성한다고 가정할 수 있다. 따라서 각 주파수 위치별 크기의 평균(E)과 표준편차(σ)를 계산한 후 주파수 위치별 가우시안 분포를 추정한다. 예를 들어, 도 3과 도 4에 도시된 바와 같이 주파수 범위가 0에서 400Hz 일 경우 400개의 가우시안 분포가 형성될 수 있다.
- [0076] 그런 다음, 평가부(20)는 벡터화된 FFT 데이터군에서 한 개씩 FFT를 선택한 후, 해당 FFT 주파수 위치의 크기가 정상시점의 FFT 데이터군에서 추정되는 각 주파수 위치별 가우시안 분포 상 어느 곳에 위치하고 있는지 추정하여 그 값을 수치화 한 후 (하나의 예로, FFT 데이터군 중 한 개의 FFT에서 1 Hz의 크기를 FFT 데이터군에서 1 Hz 성분만을 가지고 만든 가우시안 분포에 대입하여 분포도의 y축 값을 추정) 수학적 5와 같이 가중치를 계산한다(S330).

**수학적 5**

$$Frequency\ weight = 1/c \left( \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right) \right) (x-\mu \leq 2\sigma \text{면 } c=1, \text{그외는 } < 1)$$

[0077]

[0078] 수학적 식 5에서  $x$ 는 입력되는 FFT의 특정 주파수 위치의 크기값,  $\mu$  과  $\sigma$ 는 정상시점 FFT 데이터군의 가우시안 분포들 중에서 입력 FFT 특정 주파수 위치에 해당하는 분포의 평균과 표준편차를 의미하며,  $c$ 는 가우시안 분포에서 입력 FFT 특정 주파수의 위치가 평균을 많이 벗어날 경우 이를 고려하기 위해 가중치를 높이기 위한 상수 값으로 사용된다.

[0079] 여기서 수학적 식 5는 결과적으로 입력되는 FFT의 주파수 개별 위치의 크기가 해당 가우시안 분포 상에서 평균 위치와 가까이 위치할 경우 낮은 가중치가 형성되며, 그 반대일 경우 높은 가중치가 형성되어 회전날개의 작동환경이 변하여 주파수가 변경됨에 따라 데이터의 특성이 변경될 경우 정상상태 데이터군과의 거리를 넓혀주는 역할을 한다.

[0080] 평가부(20)는 이와 같은 과정으로 회전날개가 운전 중일 때의 FFT 데이터군에 포함된 개별 FFT에 대한 주파수 성분별 가중치 벡터를 계산한다.

**수학적 식 6**

[0081] 
$$w = [w_{1hz}, w_{2hz}, w_{3hz}, \dots ]$$

**수학적 식 7**

[0082] 
$$f = [f_{1hz}, f_{2hz}, f_{3hz}, \dots ]$$

[0083] 그 다음 평가부(20)는 수학적 식 6으로 나타낸 주파수 성분별 가중치 벡터와 수학적 식 7로 나타낸 주파수 벡터를 곱하여 수학적 식 8과 같이 주파수 성분 범위별(0-30 Hz, 31-60 Hz, 61-90 Hz ~ 회전날개의 상태분석 정도에 따라 범위를 더 세분화 할 수도 있다)로 값들을 합산하여 성분 범위별로 회전날개의 건전성 기준 인자를 생성한다(S340).

**수학적 식 8**

[0084] 
$$BHI_i = \sum_{k=a}^b (w_k \cdot f_k)$$

[0085] 수학적 식 8에서  $a, b$ 는  $i$  번째 블레이드 건전성 인자를 계산할 때 사용한 주파수 성분 범위의 초기값 및 마지막 값을 의미한다.

[0086] 이후 평가부(20)는 S30 단계에서 진동신호를 기반으로 생성한 건전성 인자와 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자를 비교하여 판단기준에 따라 회전날개의 상태를 판단한다(S40).

[0087] 예를 들어, 도 5에 도시된 바와 같이 가스터빈 운전 중 유체유발에 의한 진동이 발생하게 되면 진동센서(10)로부터 취득한 FFT의 특정 주파수 성분의 변화를 초래하여 이를 기반으로 건전성 인자를 생성하게 되면, 기준 분포도의 평균에서 벗어나기 때문에 변화가 있는 주파수 성분의 가중치 값이 커지게 되어 건전성 인자의 값이 급격히 변하게 된다.

[0088] 따라서 평가부(20)가 정상신호를 기반으로 생성한 건전성 기준 인자와 건전성 인자를 비교할 경우 회전날개의 이상상태를 실시간으로 판별할 수 있다.

[0089] S40 단계에서 회전날개의 상태를 판단한 후 평가부(20)는 상태 판단 결과에 따라 회전날개의 상태를 진단할 수 있다(S50). 예를 들어 판단기준을 벗어나 크기나 빈도를 기반으로 정량적 판단을 통해 회전날개의 상태를 진단하여 전문가의 분석과정 없이 운전 중 실시간으로 진단할 수 있다.

[0090] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 의한 회전날개의 상태 평가방법에 따르면, 터빈 내 설치된 비접촉식 진동센서를 통해 취득한 회전날개의 진동신호로부터 생성한 건전성 인자와 정상시점에서 생성한 건전성 인자를 비

교하여 운전 중 실시간으로 전문가의 도움 없이 회전날개의 상태를 평가할 수 있다.

[0091] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

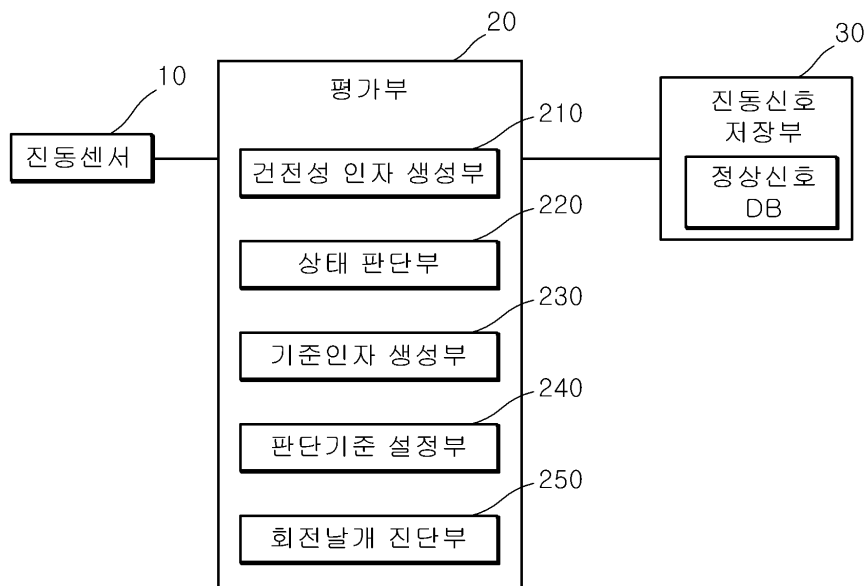
[0092] 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 청구범위에 의해서 정하여져야 할 것이다.

**부호의 설명**

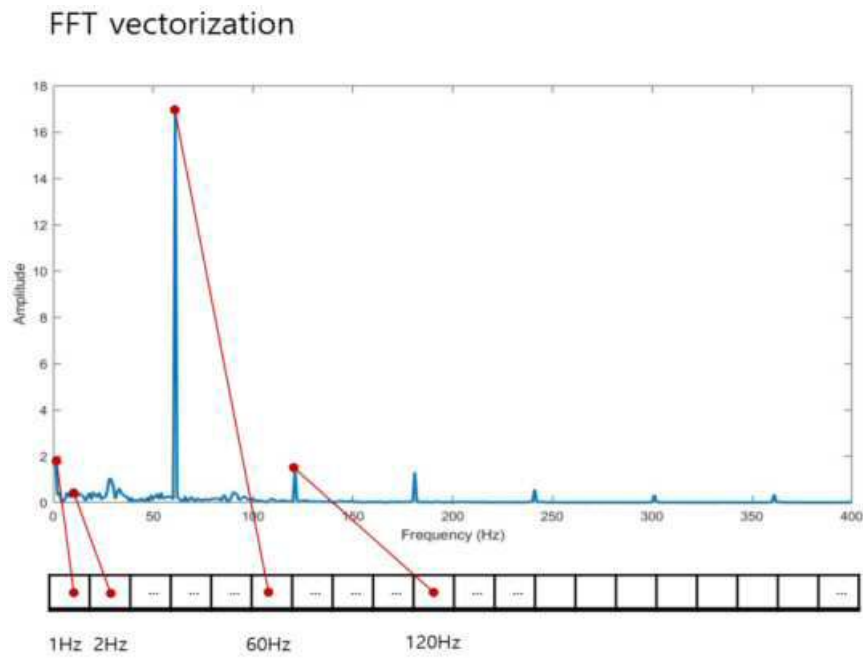
- [0093]
- |                  |                |
|------------------|----------------|
| 10 : 진동센서        | 20 : 평가부       |
| 30 : 진동신호 저장부    | 35 : 정상신호 DB   |
| 210 : 건전성 인자 생성부 | 220 : 상태 판단부   |
| 230 : 기준 인자 생성부  | 240 : 판단기준 설정부 |
| 250 : 회전날개 진단부   |                |

**도면**

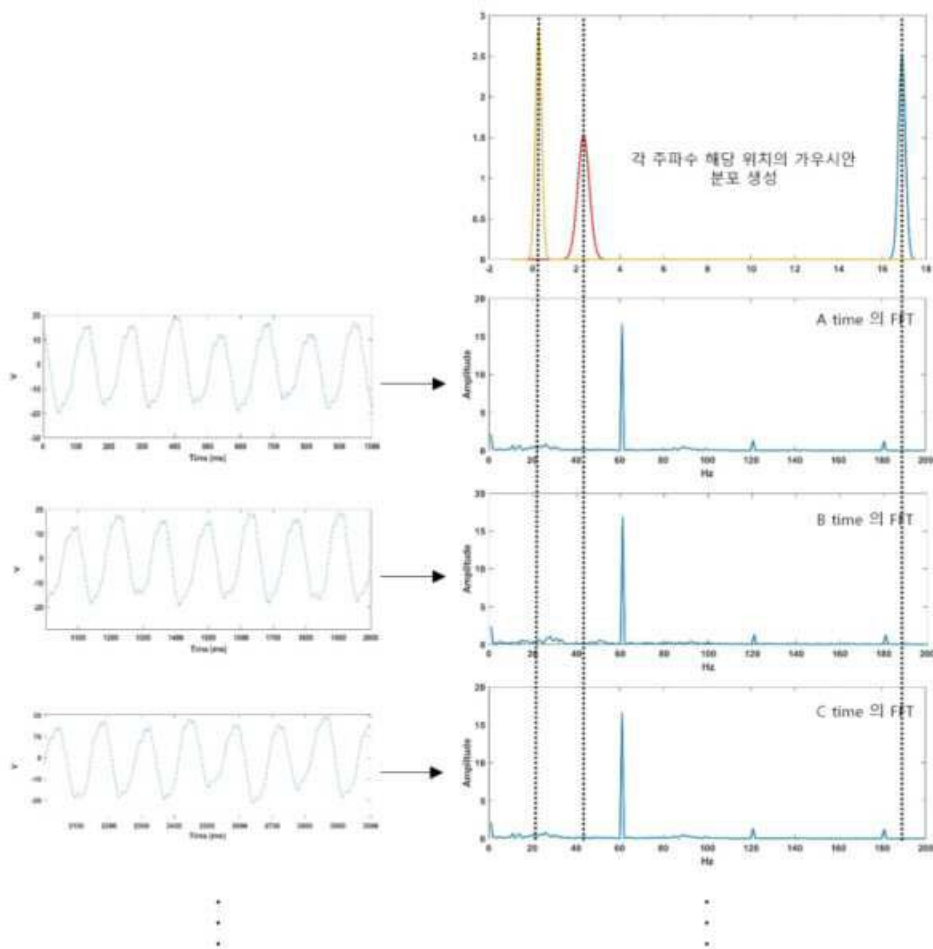
**도면1**



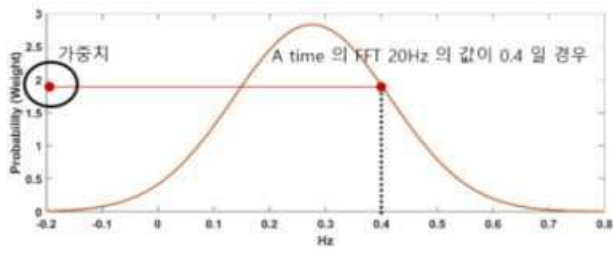
도면2



도면3



도면4

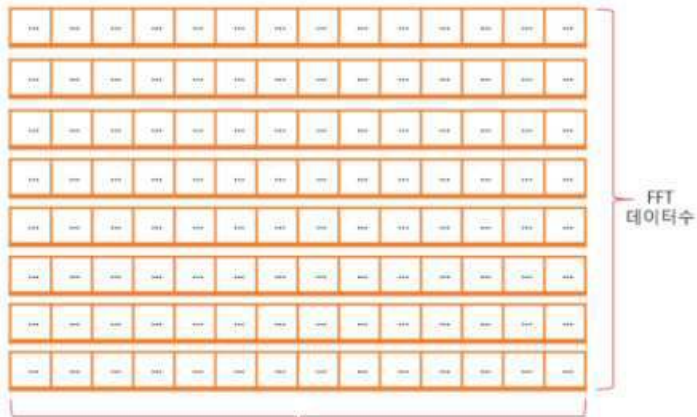


각 주파수 해당 위치 크기(amplitude)를 가우시안 분포에서 찾아 가중치를 구함



1 Hz ... 20 Hz ...

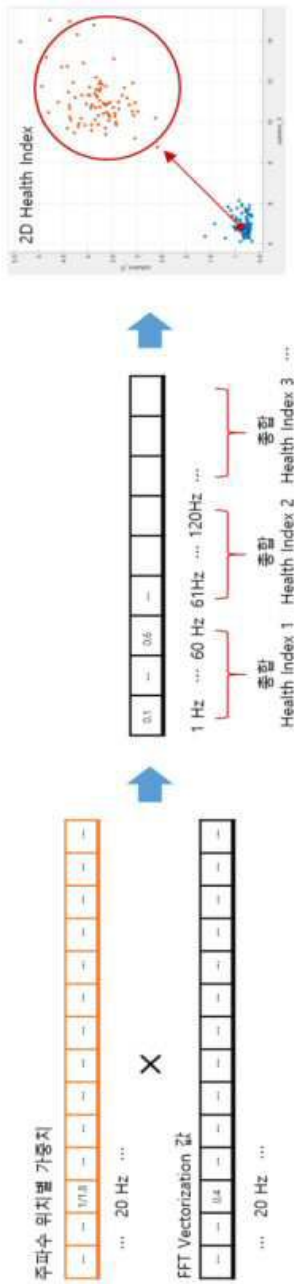
A, B, C, ... time 시점 FFT의 가중치



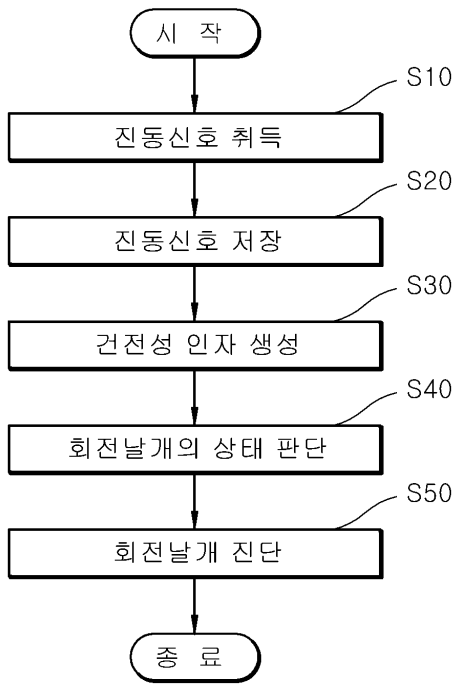
각 주파수별 해당 위치의 가중치

- 
- 
-

도면5



도면6



도면7

