(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년05월31일
(11) 등록번호 10-1850016
(24) 등록일자 2018년04월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G01M 13/04* (2006.01) *F16C 19/52* (2006.01)
*G01P 15/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*G01M 13/04* (2013.01)
*F16C 19/522* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0011866
(22) 출원일자 2017년01월25일
심사청구일자 2017년01월25일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020150026416 A*
JP2012012995 A
KR1020100113592 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
**부경대학교 산학협력단**
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
**김찬중**
부산광역시 연제구 아시아드대로28번길 9, 106동 1204호(거제동, 대우아파트)
(74) 대리인
**김정수**

전체 청구항 수 : 총 2 항 심사관 : 김명찬

(54) 발명의 명칭 **베어링 모니터링 장치 및 그 방법**

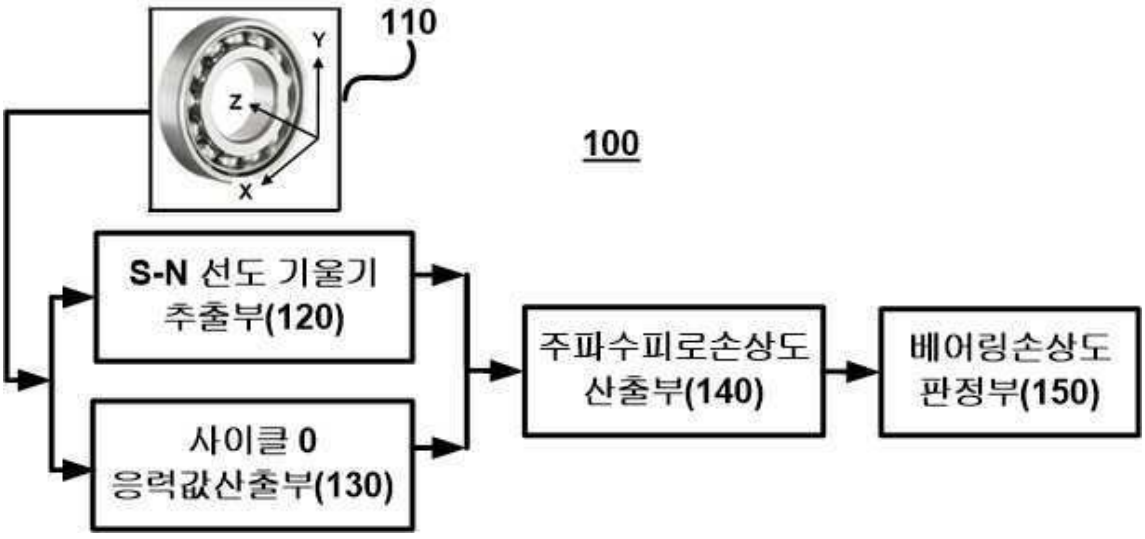
## (57) 요 약

본 발명은 베어링의 회전 가속도를 측정한 후 에너지 등고선(energy isocline) 함수 및 수명공식을 적용하여 베어링의 손상을 예측하여 불량여부를 판단할 수 있도록 하는 베어링 모니터링 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

상기 베어링 모니터링 장치(100)는, 베어링의 회전 가속도를 측정하여 가속도 에너지( $E(\omega_i)$, ωi는 응력 구간별

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



사이클 횟수(주파수))를 산출하는 가속도 측정부(110); 상기 베어링의 재료 물성치 정보를 이용하여 S-N선도 기울기(b)를 추출하고 S-N선도를 생성하는 S-N 선도 기울기 추출부(120); 상기 S-N 선도에서 사이클 0 응력값을 산출하는 사이클 0 응력값 산출부(130); 상기 S-N선도 기울기와 상기 사이클 0 응력값을 에너지 등고선 함수와 수명공식에 적용하여 베어링 구동 시간 별 주파수 피로 손상도 $D(\omega_i)$를 산출하는 주파수 피로 손상도 산출부(140); 및 상기 주파수 피로 손상도를 이용하여 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 산출한 후 기 설정된 값과 비교하여 기 설정된 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하는 베어링 손상도 판정부(150);를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류
*G01P 15/003* (2013.01)

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

에너지 등고선 함수($\kappa(\omega_i)$)및 수명공식$D(\omega_i)=\kappa(\omega_i)*E(\omega_i)^{(1/2b)}$을 적용하여 베어링의 손상을 예측하고 불량여부를 판단할 수 있는 베어링 모니터링 장치의 구성과 연산처리가 간단하며, 상기 베어링 모니터링 결과의 신뢰성 향상을 위해 베어링의 회전 가속도를 측정하여 가속도 에너지($E(\omega_i)$, ωi는 응력 구간별 사이클 횟수(주파수))를 산출하는 가속도 측정부(110);

상기 베어링의 재료 물성치 정보를 이용하여 S-N선도 기울기(b)를 추출하고 S-N선도를 생성하는 S-N 선도 기울기 추출부(120);

상기 S-N 선도에서 사이클 0 응력값을 산출하는 사이클 0 응력값 산출부(130);

상기 S-N선도 기울기와 상기 사이클 0 응력값을 에너지 등고선 함수와 수명공식에 적용하여 베어링 구동 시간별 주파수 피로 손상도 $D^{(t_i)}(\omega_i)$를 산출하는 주파수 피로 손상도 산출부(140);

상기 주파수 피로 손상도를 이용하여 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 산출한 후 기 설정된 값과 비교하여 기 설정된 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하는 베어링 손상도 판정부(150);

상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)는,

상기 S-N 선도 기울기 b가 존재하지 않는 경우, 금속에 대한 S-N 선도 기울기를 S-N 선도 기울기 b로 적용하도록 구성되고;

상기 주파수 피로 손상도 $D^{(t_i)}(\omega_i)$는,

가속도 에너지($E(\omega_i)$)의 (1/2b)승과 에너지 등고선(energy isocline) 함수( $\kappa(\omega_i)$)의 곱으로서, 수명공식 $D(\omega_i)=\kappa(\omega_i)*E(\omega_i)^{(1/2b)}$에 의해 산출되고,

상기 에너지 등고선 함수($\kappa(\omega_i)$)는,

$$\kappa(\omega_i)=\pi^{\frac{1}{2b}}\cdot\omega_i^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)}\cdot T^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)}\cdot S^{\frac{1}{b}}\cdot\left\|H_m(\omega_i)\right\|^{\frac{-1}{b}}$$ 이고,

여기서 T는 베어링 구동시간, ωi는 응력 구간별 사이클 횟수(주파수), S는 사이클 0 에서의 응력값, b는 S-N 선도 기울기, $\|H_m(\omega_i)\|$는 가속도와 취약부위 응력 사이의 주파수 응답 함수;

상기 베어링 손상도 판정부(150)는,

주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 $Iinc=D^{(t_{i+1})}(\omega_i)/D^{(t_i)}(\omega_i)$(여기서, $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$는 t+1에서의 주파수 피로 손상도, $D^{(t_i)}(\omega_i)$는 t에서의 주파수 피로 손상도)에 의해 산출하고, 상기 주파수 피로 손상도 증가분이 일정 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하도록 구성되는 베어링 모니터링 장치.

### 청구항 2

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

가속도 측정부(110), S-N 선도 기울기 추출부(120), 사이클 0 응력값 산출부(130), 주파수 피로 손상도 산출부(140) 및 베어링 손상도 판정부(150)를 포함하는 베어링 모니터링 장치(100)에 의한 베어링 모니터링 방법에 있어서,

가속도 측정부(110)가 베어링의 회전 가속도를 측정하고 가속도 에너지( $E(\omega_i)$ )를 산출하는 가속도측정과정(S100);

S-N 선도 기울기 추출부(120)가 상기 베어링의 재료 물성치 정보를 이용하여 S-N선도 기울기(b)를 추출하여 S-N 선도를 생성하고, 사이클 0 응력값 산출부(130)가 상기 S-N 선도에서 사이클 0 응력값을 산출하는 S-N 선도 생성 과정(S400);

주파수 피로 손상도 산출부(140)가 상기 S-N선도 기울기와 상기 사이클 0 응력값을 에너지 등고선 함수와 수명 공식에 적용하여 베어링 구동 시간 별 주파수 피로 손상도 $D^{(t_i)}(\omega_i)$ 를 산출하는 주파수 피로 손상도 계산 과정(S500);

상기 베어링 손상도 판정부(150)가 상기 주파수 피로 손상도를 이용하여 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 산출한 후 기 설정된 값과 비교하여 기 설정된 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하는 베어링 손상도 판정과정(S600);

상기 S-N 선도 생성 과정(S400) 이전에,

상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)가 상기 S-N 선도 기울기 b가 존재하는 지를 판단하는 S-N 선도 기울기 존재 판단과정(S200);

상기 S-N 선도 기울기 b가 존재하지 않는 경우, 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)가 금속에 대한 S-N 선도 기울기를 적용하는 S-N 선도 임의 기울기 선정과정(S300);

상기 주파수 피로 손상도 계산 과정(S500)은,

상기 주파수 피로 손상도 산출부(140)가 상기 주파수 피로 손상도 $D^{(t_i)}(\omega_i)$ 를 가속도 에너지( $E(\omega_i)$ )의 (1/2b)승과 에너지 등고선(energy isocline) 함수( $\kappa(\omega_i)$ )의 곱으로서, 수명공식 $D(\omega_i) = \kappa(\omega_i) * E(\omega_i)^{1/2b)}$ 에 의해 산출하며,

상기 에너지 등고선 함수( $\kappa(\omega_i)$ )는,

$$\kappa(\omega_i) = \pi^{\frac{1}{2b}} \cdot \omega_i^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)} \cdot T^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)} \cdot S^{\frac{1}{b}} \cdot \left\| H_m(\omega_i) \right\|^{\frac{-1}{b}}$$ 이고,

여기서 T는 베어링 구동시간, ωi는 응력 구간별 사이클 횟수(주파수), S는 사이클 0 에서의 응력값, b는 S-N 선도 기울기, $\|H_m(\omega_i)\|$ 는 가속도와 취약부위 응력 사이의 주파수 응답 함수;

상기 베어링 손상도 판단과정(S600)은,

상기 베어링 손상도 판정부(150)가 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 Iinc= $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$ $D^{(t_i)}(\omega_i)$여기서, $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$는 t+1에서의 주파수 피로 손상도, $D^{(t_i)}(\omega_i)$는 t에서의 주파수 피로 손상도)에 의해 산출하고, 상기 주파수 피로 손상도 증가분이 일정 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하도록 구성되는 베어링 모니터링 방법.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

삭제

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 베어링의 손상을 예측하기 위한 베어링 모니터링 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 베어링의 회전 가속도를 측정한 후 에너지 등고선(energy isocline) 함수 및 수명공식을 적용하여 베어링의 손상을 예측하여 불량여부를 판단할 수 있도록 하는 베어링 모니터링 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 기계문명이 발달함에 따라 기계습동면을 구성하는 핵심부품 중의 하나인 베어링은 그 역할이 복잡해지고, 중요성도 날로 증가하고 있다.

[0003] 베어링은 기계습동부의 회전축에 걸리는 하중 및 회전축 자체의 중량을 지지하는 동시에 회전축의 운동을 정확하게 유지하는 중요한 구성요소로서 마멸방지와 함께 항상 정확한 회전을 전달할 수 있는 것이어야 하며 따라서 제조된 베어링의 시험검사는 매우 중요하다.

[0004] 만약 시험검사에서 오류가 발생되면 이를 사용한 기계구동 시스템은 작동 중 예기치 못한 고장 및 파손을 일으키게 되며, 이로 인한 인명 및 재산상의 손실과 피해도 예견될 수 있다.

[0005] 따라서 베어링 제조회사 및 이를 사용하는 생산현장 등에서는 기계구동 시스템에 사용하기 전에 정확한 베어링 시험검사를 필요로 하게 된다.

[0006] 이에 따라, 한국공개특허 제10-2002-0051322호 및 한국등록특허 제10-1507929호는 가속도 센서를 이용하여 베어링의 진동을 측정하여 모니터링하는 기술을 개시하며, 한국등록특허 제10-1541884호 엔진 피스톤의 하사점 레벨을 이용하여 미래 베어링의 마모 정도를 예측하는 기술을 개시하고 있다.

[0007] 그러나 상술한 종래기술의 경우 베어링 모니터링을 위한 측정장치와 연산처리가 복잡해지는 문제점을 가진다.

[0008] 또한, 종래기술의 경우 S-N선도의 기울기 정보를 이용하여 베어링 손상도를 모니터링 하는 경우, S-N 선도의 기울기를 알지 못하는 경우 베어링 손상도를 산출할 수 없는 문제점이 있었다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2002-0051322호

(특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-1507929호

(특허문헌 0003) 한국등록특허 제10-1541884호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0010] 따라서 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 베어링의 회전 가속도를 측정한 후 에너지 등고선(energy isocline) 함수 및 수명공식을 적용하여 베어링의 손상을 예측하여 불량여부를 판단할 수 있도록 하는 것에 의해, 베어링 모니터링 장치(100)의 구성 및 연산처리가 간단하며, 베어링 모니터링 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있도록 하는 베어링 모니터링 장치 및 그 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0011] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 베어링 모니터링 장치(100)는,

[0012] 베어링의 회전 가속도를 측정하여 가속도 에너지($E(\omega_i)$, ωi는 응력 구간별 사이클 횟수(주파수))를 산출하는 가속도 측정부(110);

[0013] 상기 베어링의 재료 물성치 정보를 이용하여 S-N선도 기울기(b)를 추출하고 S-N선도를 생성하는 S-N 선도 기울기 추출부(120);

[0014] 상기 S-N 선도에서 사이클 0 응력값을 산출하는 사이클 0 응력값 산출부(130);

[0015] 상기 S-N선도 기울기와 상기 사이클 0 응력값을 에너지 등고선 함수와 수명공식에 적용하여 베어링 구동 시간별 주파수 피로 손상도 $D(\omega_i)$를 산출하는 주파수 피로 손상도 산출부(140); 및

[0016] 상기 주파수 피로 손상도를 이용하여 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 산출한 후 기 설정된 값과 비교하여 기 설정된 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하는 베어링 손상도 판정부(150);를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)는,

[0018] 상기 S-N 선도 기울기 b가 존재하지 않는 경우, 금속에 대한 S-N 선도 기울기를 S-N 선도 기울기 b로 적용하도록 구성될 수 있다.

[0019] 상기 주파수 피로 손상도($D(\omega_i)$)는,

[0020] 가속도 에너지($E(\omega_i)$)의 (1/2b)승과 에너지 등고선(energy isocline) 함수( $\kappa(\omega_i)$)의 곱으로서, $D(\omega_i)=\kappa(\omega_i)*E(\omega_i)^{(1/2b)}$에 의해 산출될 수 있다.

[0021] 상기 에너지 등고선 함수($\kappa(\omega_i)$)는,

[0022] $$\kappa(\omega_i)=\pi^{\frac{1}{2b}}\cdot\omega_i^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)}\cdot T^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)}\cdot S^{\frac{1}{b}}\cdot\left\|H_m(\omega_i)\right\|^{\frac{-1}{b}}$$ 이고,

[0023] 여기서 T는 베어링 구동시간, ωi는 응력 구간별 사이클 횟수(주파수), S는 사이클 0 에서의 응력값, b는 S-N 선도 기울기, $\|H_m(\omega_i)\|$는 가속도와 취약부위 응력 사이의 주파수 응답 함수인 것을 특징으로 한다.

[0024] 상기 베어링 손상도 판정부(150)는,

[0025] 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 $Iinc=D^{(t_{i+1})}(\omega_i)/D^{(t_i)}(\omega_i)$(여기서, $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$s는 t+1에서의 주파수 피로 손상

도, $D^{(t_i)}(\omega_i)$는 t에서의 주파수 피로 손상도)에 의해 산출하고, 상기 주파수 피로 손상도 증가분이 일정 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하도록 구성될 수 있다.

[0026] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 베어링 모니터링 방법은,

[0027] 가속도 측정부(110), S-N 선도 기울기 추출부(120), 사이클 0 응력값 산출부(130), 주파수 피로 손상도 산출부(140) 및 베어링 손상도 판정부(150)를 포함하는 베어링 모니터링 장치(100)에 의한 베어링 모니터링 방법에 있어서,

[0028] 상기 가속도 측정부(110)가 베어링의 회전 가속도를 측정하고 가속도 에너지( $E(\omega_i)$)를 산출하는 가속도측정과정(S100);

[0029] 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)가 상기 베어링의 재료 물성치 정보를 이용하여 S-N선도 기울기(b)를 추출하여 S-N 선도를 생성하고, 사이클 0 응력값 산출부(130)가 상기 S-N 선도에서 사이클 0 응력값을 산출하는 S-N 선도 생성 과정(S400);

[0030] 주파수 피로 손상도 산출부(140)가 상기 S-N선도 기울기와 상기 사이클 0 응력값을 에너지 등고선 함수와 수명 공식에 적용하여 베어링 구동 시간 별 주파수 피로 손상도 $D(\omega_i)$를 산출하는 주파수 피로 손상도 계산 과정(S500); 및

[0031] 상기 베어링 손상도 판정부(150)가 상기 주파수 피로 손상도를 이용하여 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 산출한 후, 기 설정된 값과 비교하여 기 설정된 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하는 베어링 손상도 판정과정(S600);을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0032] 상기 베어링 모니터링 방법은, 상기 S-N 선도 생성 과정(S400) 이전에,

[0033] 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)가 상기 S-N 선도 기울기 b가 존재하는 지를 판단하는 S-N 선도 기울기 존재 판단과정(S200); 및

[0034] 상기 S-N 선도 기울기 b가 존재하지 않는 경우, 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)가 금속에 대한 S-N 선도 기울기를 적용하는 S-N 선도 임의 기울기 선정과정(S300);을 더 포함하여 이루어질 수 있다.

[0035] 상기 주파수 피로 손상도 계산 과정(S500)은,

[0036] 상기 주파수 피로 손상도 산출부(140)가 상기 주파수 피로 손상도($D(\omega_i)$)를 가속도 에너지( $E(\omega_i)$)의 (1/2b)승과 에너지 등고선(energy isocline) 함수($\kappa(\omega_i)$)의 곱으로서, $D(\omega_i) = \kappa(\omega_i) * E(\omega_i)^{1/2b}$에 의해 산출하는 과정일 수 있다.

[0037] 상기 에너지 등고선 함수($\kappa(\omega_i)$)는,

[0038] $$\kappa(\omega_i) = \pi^{\frac{1}{2b}} \cdot \omega_i^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)} \cdot T^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)} \cdot S^{\frac{1}{b}} \cdot \|H_m(\omega_i)\|^{\frac{-1}{b}}$$ 이고,

[0039] 여기서 T는 베어링 구동시간, ωi는 응력 구간별 사이클 횟수(주파수), S는 사이클 0 에서의 응력값, b는 S-N 선도 기울기, $\|H_m(\omega_i)\|$는 가속도와 취약부위 응력 사이의 주파수 응답 함수일 수 있다.

[0040] 상기 베어링 손상도 판단과정(S600)은,

[0041] 상기 베어링 손상도 판정부(150)가 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 Iinc= $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$ $D^{(t_i)}(\omega_i)$여기서, $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$s는 t+1에서의 주파수 피로 손상도, $D^{(t_i)}(\omega_i)$는 t에서의 주파수 피로 손상도)에 의해 산출하고, 상기 주파수 피로 손상도 증가분이 일정 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하도록 구성될 수 있다.

## 발명의 효과

[0042] 상술한 구성을 가지는 본 발명은, 베어링의 회전 가속도를 측정한 후 에너지 등고선(energy isocline) 함수 및 수명공식을 적용하여 베어링의 손상을 예측하여 불량여부를 판단하며, S-N 선도 기울기가 존재하지 않는 경우에는 기울기를 상대적으로 선택하여 상대적인 손상도를 계산할 수 있도록 하는 것에 의해, 베어링의 모니터링 결과의 신뢰성을 향상시키고, 베어링 모니터링 장치의 구성 및 연산처리를 간소화시키는 효과를 제공한다.

## 도면의 간단한 설명

[0043] 도 1은 본 발명의 실시예에 따르는 베어링 모니터링 장치(100)의 구성도.

도 2는 본 발명의 실시예에 따르는 베어링 모니터링 방법의 처리과정을 나타내는 순서도.

도 3은 과도 압력으로 찍힌 자국이 형성되는 베어링 파손 유형을 나타내는 도면.

도 4는 피로 유발 궤도부 손상이 발생한 베어링 파손 유형을 나타내는 도면.

도 5는 씰 불량으로 이물 유입에 의한 베어링 파손 유형을 나타내는 도면.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0044] 이하, 본 발명의 실시예를 나타내는 첨부 도면을 참조하여 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.

[0045] 하기에서 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.

[0046] 본 발명의 개념에 따른 실시예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예를 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명은 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0047] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0048] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0049] 이하, 본 발명의 실시예를 나타내는 첨부 도면을 참조하여 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.

[0050] 도 1은 본 발명의 실시예에 따르는 베어링 모니터링 장치(100)의 구성도이다.

[0051] 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 베어링 모니터링 장치(100)는 가속도 측정부(110), S-N 선도 기울기 추출부(120), 사이클 0 응력값 산출부(130), 주파수 피로 손상도 산출부(140) 및 베어링 손상도 판정부(150)를 포함하여 구성된다.

[0052] 상기 가속도 측정부(110)는 베어링 구동 장치와 가속도 센서를 구비하여 베어링을 회전 구동 시키면서 베어링의 회전 가속도를 측정하여 가속도 에너지 $E(\omega_i)$를 산출하도록 구성된다. 여기서, ωi는 응력 구간별 사이클 횟수(주파수)이다.

[0053] 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)는 상기 베어링의 재료 물성치 정보를 이용하여 S-N선도 기울기(b)를 추출하고 S-N선도를 생성하도록 구성된다. 이를 위해 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)는 베어링 재료 물성치 정보별 S-N 선도 기울기 정보를 저장하는 S-N 선도 기울기 테이블을 저장한다. 이때, S-N 선도 기울기 정보가 존재하는 경우 베어링에 크랙이 발생할 때까지의 수명을 정확히 산출할 수 있으나, 그렇지 못한 경우에는 베어링의 수명을 산출할 수 없게 된다. 따라서 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)는 S-N 선도 기울기 b가 존재하지 않는

경우, 금속(metal)에 대한 S-N 선도 기울기를 적용하는 것에 의해 상대적으로 베어링의 수명을 예측하도록 구성될 수 있다. 이 경우 적용되는 금속에 대한 기울기는 5 ~7 중에서 선택되며, 바람직하게는 7을 적용한다.

[0054] 상기 사이클 0 응력값 산출부(130)는 상기 S-N 선도에서 사이클 0 응력값을 산출하도록 구성된다.

[0055] 상기 주파수 피로 손상도 산출부(140)는 S-N선도 기울기와 상기 사이클 0 응력값을 에너지 등고선 함수와 수명공식에 적용하여 베어링 구동 시간 별 주파수 피로 손상도 $D(\omega_i)$를 산출하도록 구성된다.

[0056] 상기 주파수 피로 손상도($D(\omega_i)$)는 가속도 에너지($\overline{E(\omega_i)}$)의 (1/2b)승과 에너지 등고선(energy isocline) 함수($\kappa(\omega_i)$)의 곱으로서, $D(\omega_i)=\kappa(\omega_i)*\overline{E(\omega_i)}^{(1/2b)}$(수명공식)에 의해 산출된다.

[0057] 이때, 에너지 등고선 함수

[0058] $$\kappa(\omega_i)=\pi^{\frac{1}{2b}}\cdot\omega_i^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)}\cdot T^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)}\cdot S^{\frac{1}{b}}\cdot\left\|H_m(\omega_i)\right\|^{\frac{-1}{b}}$$ 이다.

[0059] 여기서 T는 베어링 구동시간, ωi는 응력 구간별 사이클 횟수(주파수), S는 사이클 0 에서의 응력값, b는 S-N 선도 기울기, $\overline{\|H_m(\omega_i)\|}$는 가속도와 취약부위 응력 사이의 주파수 응답 함수이다.

[0060] 상기 베어링 손상도 판정부(150)는 상기 주파수 피로 손상도를 이용하여 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 산출한 후 기 설정된 값과 비교하여 기 설정된 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하도록 구성된다. 구체적으로 상기 베어링 손상도 판정부(150)는, 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 $Iinc=D^{(t_{i+1})}(\omega_i)\rangle D^{(t_i)}(\omega_i)$에 의해 산출하고, 상기 주파수 피로 손상도 증가분이 일정 값을 초과하는 경우 불량으로 판단하도록 구성된다. 여기서, $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$는 t+1에서의 주파수 피로 손상도, $D^{(t_i)}(\omega_i)$는 t에서의 주파수 피로 손상도이다.

[0061] 도 2는 본 발명의 베어링 모니터링 방법의 처리과정을 나타내는 순서도이다.

[0062] 도 2와 같이, 상기 베어링 모니터링 방법은, 가속도측정과정(S100), S-N 선도 생성 과정(S200), S-N선도 기울기 존재 판단과정(S300), S-N 선도 임의 기울기 선정과정(S400), 주파수 피로 손상도 계산 과정(S500) 및 베어링 손상도 판정과정(S600)을 포함하여 이루어진다.

[0063] 먼저, 가속도 측정부(110)가 베어링의 회전 가속도를 측정하고 가속도 에너지($E(\omega_i)$)를 산출하는 가속도측정과정(S100)을 수행한다.

[0064] 이 후, 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)는 상기 S-N 선도 기울기 b가 존재하는 지를 판단하는 S-N 선도 기울기 존재 판단과정(S200)을 수행한다.

[0065] 상기 S-N 선도 기울기 존재 판단과정(S200)의 판단 결과, 상기 S-N 선도 기울기 b가 존재하지 않는 경우, 상기 S-N 선도 기울기 추출부(120)는 금속에 대한 S-N 선도 기울기를 적용하는 S-N 선도 임의 기울기 선정과정(S300)을 수행한다.

[0066] 상술한 처리과정에 의해 S-N 선도 기울기 b가 S-N 선도 기울기 테이블에 존재하거나, 임의로 선정된 후에 S-N 선도 기울기 추출부(120)는 S-N선도 기울기(b)를 이용하여 S-N 선도를 생성하고, 사이클 0 응력값 산출부(130)가 상기 S-N 선도에서 사이클 0 응력값을 산출하는 S-N 선도 생성과정(S400)을 수행한다.

[0067] 다음으로, 주파수 피로 손상도 산출부(140)가 상기 S-N선도 기울기와 상기 사이클 0 응력값을 에너지 등고선 함수와 수명공식에 적용하여 베어링 구동 시간 별 주파수 피로 손상도 $D(\omega_i)$를 산출하는 주파수 피로 손상도 계산 과정(S500)을 수행한다. 상기 주파수 피로 손상도 계산 과정(S500)에서 상기 주파수 피로 손상도 산출부(140)에 의해 산출되는 주파수 피로 손상도($D(\omega_i)$)는 가속도 에너지($\overline{E(\omega_i)}$)의 (1/2b)승과 에너지 등고선(energy isocline) 함수($\kappa(\omega_i)$)의 곱으로서, $D(\omega_i)=\kappa(\omega_i)*\overline{E(\omega_i)}^{(1/2b)}$에 의해 산출된다. 여기서, 에너지 등고선 함수

$$\kappa(\omega_i) = \pi^{\frac{1}{2b}} \cdot \omega_i^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)} \cdot T^{\left(1+\frac{1}{2b}\right)} \cdot S^{\frac{1}{b}} \cdot \left\| H_m(\omega_i) \right\|^{\frac{-1}{b}}$$ 이다.

[0068] 이 후, 상기 베어링 손상도 판정부(150)가 주파수 피로 손상도 증가분(Iinc)을 Iinc= $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$ $D^{(t_i)}(\omega_i)$여기서, $D^{(t_{i+1})}(\omega_i)$는 t+1에서의 주파수 피로 손상도, $D^{(t_i)}(\omega_i)$는 t에서의 주파수 피로 손상도)에 의해 산출하고, 상기 주파수 피로 손상도 증가분이 일정 값(예, 100배)을 초과하는 경우 불량으로 판단하는 베어링 손상 판단과정(S600)을 수행하여, 베어링에 대한 모니터링을 수행한다.

[0069] 상기 각각의 처리과정에 의한 결과 값들은 도면에 도시되지 않은 표시부를 통해 출력된다. 또한, 상기 베어링 모니터링 장치(100)는 도면에 미도시된 입력부를 구비하여 베어링 모니터링을 위한 사용자의 필요에 따라 변수, 또는 상수 등의 값이 입력될 수도 있다.

[0070] 상술한 본원 발명의 베어링 모니터링 장치(100) 및 그 방법에 의하면, 다양한 베어링 파손 유형에 대한 예측이 가능하다.

[0071] 도 3 내지 도 5는 본 발명에 의해 예측되는 베어링 파손 유형의 예를 나타내는 도면이다.

[0072] 도 3은 과도 압력으로 찍힌 자국이 형성되는 베어링 파손 유형을 나타내는 도면이고, 도 4는 피로 유발 궤도부 손상이 발생한 베어링 파손 유형을 나타내는 도면이며, 도 5는 씰 불량으로 이물 유입에 의한 베어링 파손 유형을 나타내는 도면이다.

[0073] 본 발명은 도 3과 같은 과도 압력으로 찍힌 자국이 형성되는 베어링 파손과, 도 4와 같은 피로 유발로 인한 궤도부 손상 및 도 5와 같은 씰(seal) 불량으로 인한 이물질 유입에 의한 베어링 파손 등을 예측할 수 있도록 한다.

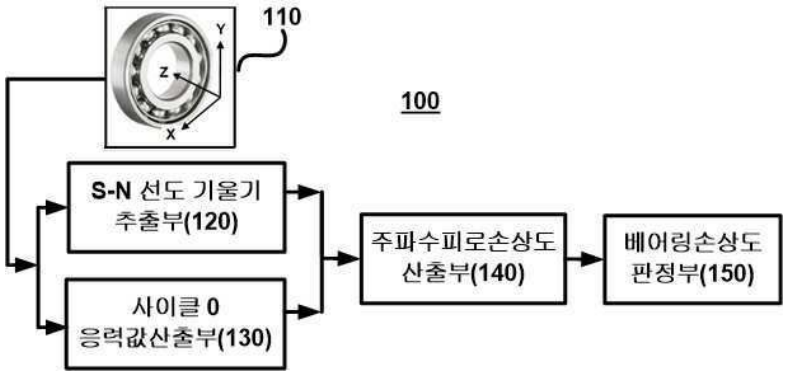
[0074] 상기에서 설명한 본 발명의 기술적 사상은 바람직한 실시예에서 구체적으로 기술되었으나, 상기한 실시예는 그 설명을 위한 것이며 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술적 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 기술적 사상의 범위 내에서 다양한 실시예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

## 부호의 설명

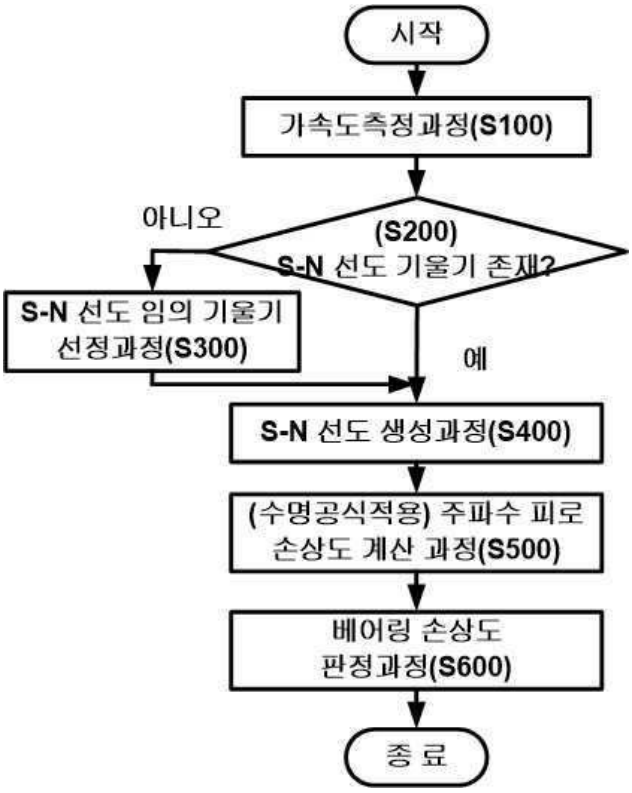
[0075] 100: 베어링 모니터링 장치 110: 가속도 측정부

## 도면

### 도면1



도면2


시작
가속도측정과정(S100)
(S200)
S-N 선도 기울기 존재?
아니오
S-N 선도 임의 기울기 선정과정(S300)
예
S-N 선도 생성과정(S400)
(수명공식적용) 주파수 피로 손상도 계산 과정(S500)
베어링 손상도 판정과정(S600)
종 료

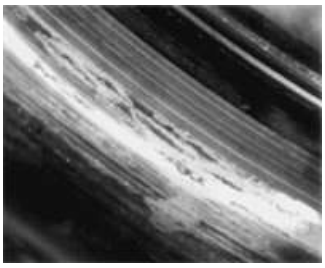
도면3



도면4



도면5



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제1항

【변경전】

...곱으로서,...

【변경후】

...곱으로서, 수명공식...