



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월29일
(11) 등록번호 10-1829134
(24) 등록일자 2018년02월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01H 1/14 (2006.01) G01H 17/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01H 1/14 (2013.01)
G01H 17/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0100060
(22) 출원일자 2016년08월05일
심사청구일자 2016년08월05일
(56) 선행기술조사문헌
JP2008014679 A*
KR1020070031941 A*
KR100758152 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국항공대학교산학협력단
경기도 고양시 덕양구 항공대로 76 (화전동, 한국항공대학교)
(72) 발명자
안다운
경상북도 영천시 양호길 57 (녹전동)
김남호
미국 플로리다주 게인즈빌 노스웨스트 120번가 923
최주호
서울특별시 종로구 통일로12길 51 무악현대아파트 107동 1203호
(74) 대리인
김윤보

전체 청구항 수 : 총 12 항

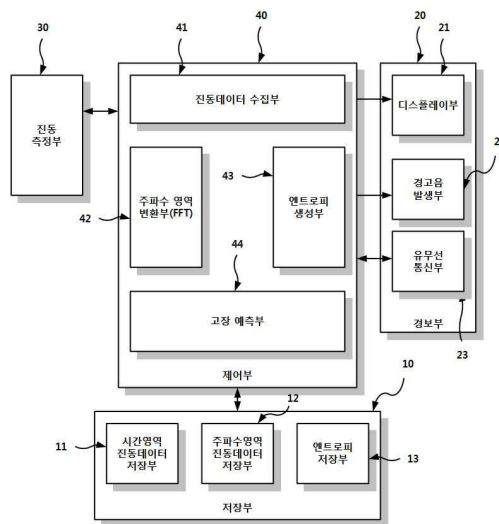
심사관 : 김기환

(54) 발명의 명칭 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 회전체의 고장 예측 시스템 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 회전체의 회전에 의해 발생하는 진동에 대한 진동데이터를 수집하고, 수집되는 진동데이터를 주파수영역으로 변환 후 정보 엔트로피를 계산하여 회전체의 무질서도를 측정하여 회전체의 고장 발생 가능성을 예측 및 진단하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템 및 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20118520020010

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 에너지국제공동연구사업

연구과제명 해상풍력 발전기의 최적성능유지를 위한 핵심 기계전자 부품의 복합과손메커니즘에 기인한 고장의 융합형 예측기술 개발

기여율 1/1

주관기관 서울대학교 산학협력단

연구기간 2011.12.01 ~ 2014.11.30

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

사이클에 따라 누적 저장된 누적 시간영역 진동데이터, 상기 사이클에 따른 누적 시간영역 데이터에 포함된 각 주파수에 대한 사이클에 따른 누적 주파수영역 진동데이터 및 상기 누적 주파수영역 진동데이터에 대한 사이클에 따른 누적 엔트로피 데이터를 저장하는 저장부;

회전체에 연결되어 상기 회전체의 회전 시 발생하는 진동을 측정하여 사이클에 따른 시간영역 진동데이터를 출력하는 진동측정부; 및

상기 진동측정부를 통해 측정되는 시간영역 진동데이터를 상기 저장부에 누적하여 저장하고, 진동측정부를 통해 측정된 상기 시간영역 진동데이터에 대한 적어도 하나 이상의 주파수별 주파수영역 진동데이터로 변환한 후, 변환된 주파수별 주파수영역 진동데이터를 누적하여 상기 저장부에 저장하며, 상기 주파수별 누적 주파수영역 진동데이터에 대한 엔트로피를 생성하여 상기 저장부의 해당 누적 엔트로피 데이터를 갱신시키고, 상기 갱신된 누적 엔트로피 데이터가 감소하는지를 판단하고 감소하는 경우 기준치 미만으로 떨어지는지의 여부에 따라 상기 회전체에 고장 발생 가능성을 판단하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 진동측정부를 통해 사이클에 따른 시간영역 진동데이터를 수집하여 상기 저장부에 누적 저장하는 진동데이터 수집부;

상기 진동데이터 수집부를 통해 수집된 사이클에 따른 시간영역 진동데이터를 고속 푸리에 변환을 수행하여 상기 시간영역 진동데이터에 포함된 적어도 하나 이상의 주파수 각각에 대한 사이클에 따른 주파수영역 진동데이터로 변환하는 주파수영역 변환부;

상기 주파수별 누적 주파수영역 진동데이터에 의해 엔트로피를 계산하고, 상기 저장부의 누적 엔트로피 데이터를 갱신하는 엔트로피 생성부; 및

상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 지속적으로 감소하는지를 판단하고, 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지의 여부에 따라 고장 가능성을 판단하는 고장 예측부를 포함하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 엔트로피 생성부는,

상기 적어도 하나 이상의 주파수에 대한 누적 엔트로피 데이터들 중 엔트로피 감소 폭이 큰 상위 일정 개수를 선택하고, 선택된 일정 개수의 누적 엔트로피 데이터들을 평균화하여 평균화 누적 엔트로피 데이터로 변환하여 상기 저장부에 저장하고,

상기 고장 예측부는,

상기 평균화 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값들이 감소하는지의 여부 및 상기 평균화 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지를 검사하여 상기 회전체의 고장 가능성을 판단하는 것을 특징으로

로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 고장 예측부는,

상기 계산된 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 이전 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값보다 떨어지고 상기 기준치 미만으로 떨어지지 않았으면 고장발생률을 계산하여 경보부를 통해 고장발생률을 통지하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 엔트로피 생성부는,

하기 수학적 식 3에 의해 엔트로피를 산출하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템.

[수학적 식 3]

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 P(x_i)$$

여기서, X는 주파수영역 진동데이터의 진폭값이고, n은 시간영역 진동데이터가 포함된 bin의 개수이며, p(x_i)는 각 bin의 확률이다. 상기 bin은 0에서 1사이를 255 등분 한 것으로, 시간영역 진동데이터는 그 크기가 속하는 bin에 포함되고, 상기 확률은 bin에 포함된 진동데이터의 개수를 총 개수로 나눈 값으로 계산된다.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 회전체의 고장 발생 가능성을 경보하는 경보부를 더 포함하고,

상기 제어부는, 상기 고장 발생 가능성 판단 시 상기 경보부를 통해 경보를 발생하는 것을 특징으로 하는 회전체 고장 예측 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 경보부는,

회전체의 고장 정보, 측정된 시간영역 진동데이터, 누적 시간영역 진동데이터, 주파수영역 진동데이터, 누적 주파수영역 진동데이터, 엔트로피 누적 데이터 중 적어도 하나 이상을 텍스트, 그래픽 중 적어도 하나 이상으로 표시하는 디스플레이부;

상기 회전체의 고장 발생 가능성을 경고음 및 경고 음성 중 하나로 출력하는 경고음 발생부; 및

상기 회전체의 고장 정보, 측정된 시간영역 진동데이터, 누적 시간영역 진동데이터, 주파수영역 진동데이터, 누적 주파수영역 진동데이터, 엔트로피 누적 데이터 중 적어도 하나 이상을 미리 설정된 관리자의 관리자 단말기로 전송하는 유무선 통신부 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템.

청구항 8

제어부가 진동측정부를 통해 회전체로부터 측정되는 시간영역 진동데이터를 저장부에 누적하여 저장하는 시간영역 진동데이터 획득 과정;

상기 제어부가 진동측정부를 통해 측정된 상기 시간영역 진동데이터에 대한 적어도 하나 이상의 주파수별 주파수영역 진동데이터로 변환한 후, 변환된 주파수영역 진동데이터를 누적하여 상기 저장부에 저장하는 주파수영역 변환 과정;

상기 제어부가 주파수별로 누적된 주파수별 누적 주파수영역 진동데이터에 대한 엔트로피를 생성하여 상기 저장부의 해당 누적 엔트로피 데이터를 갱신시키는 엔트로피 갱신 과정;

상기 제어부가 상기 갱신된 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 감소하는지를 판단하고 감소하는 경우 상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지의 여부에 따라 상기 회전체에 고장 발생 가능성을 판단하는 고장 발생 가능성 판단 과정; 및

상기 제어부가 고장 발생 가능성이 있는 것으로 판단될 때 경보부를 통해 상기 회전체의 고장 발생 가능성을 경보하는 경보 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 엔트로피 갱신 과정은,

상기 주파수별 누적 주파수영역 진동데이터에 의해 엔트로피(값)를 계산하고, 상기 저장부의 누적 엔트로피 데이터를 갱신하는 갱신 단계;

상기 적어도 하나 이상의 주파수에 대한 누적 엔트로피 데이터들 중 엔트로피 감소 폭이 큰 상위 일정 개수를 선택하는 누적 엔트로피 데이터 선택 단계; 및

선택된 일정 개수의 누적 엔트로피 데이터들을 평균화하여 평균화 누적 엔트로피 데이터로 변환하여 상기 저장부에 저장하는 평균화 단계를 포함하되,

상기 고장 발생 가능성 판단 과정에서 상기 제어부는 상기 평균화 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값들이 감소하는지의 여부 및 상기 평균화 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지를 검사하여 상기 회전체의 고장 발생 가능성을 판단하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 고장 발생 가능성 판정 과정은,

상기 제어부가 상기 갱신된 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 감소하는지를 판단하는 감소 판단 단계;

상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 감소하는 경우 상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지의 여부를 판단하는 고장 발생 가능성 모니터링 단계; 및

상기 고장 발생 가능성 모니터링 단계에서 상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지면 상기 회전체에 고장 발생 가능성이 있는 것으로 결정하고, 기준치 이상이면 정상인 것으로 결정하는 고장 발생 가능성 판단 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 고장 발생 가능성 판단 과정은,

상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 기준치 이상이면 회전체 고장발생률을 계산하는 고장발생률 계산단계를 더 포함하고,

상기 경보 과정에서 상기 고장발생률을 경보부를 통해 출력하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법.

청구항 12

제8항 또는 제9항에 있어서,

상기 엔트로피는,

상기 수학적 식 4에 의해 엔트로피를 산출하는 것을 특징으로 하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법.

[수학적 식 4]

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 P(x_i)$$

여기서, X는 주파수영역 진동데이터의 진폭값이고, n은 시간영역 진동데이터가 포함된 bin의 개수이며, p(x_i)는 각 bin의 확률이다. 상기 bin은 0에서 1사이를 255 등분 한 것으로, 시간영역 진동데이터는 그 크기가 속하는 bin에 포함되고, 상기 확률은 bin에 포함된 진동데이터의 개수를 총 개수로 나눈 값으로 계산된다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 진동을 이용한 회전체의 고장 예측 시스템 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 회전체의 회전에 의해 발생하는 진동에 대한 진동데이터를 수집하고, 수집되는 진동데이터를 주파수영역으로 변환 후 정보 엔트로피를 계산하여 회전체의 무질서도를 측정하여 회전체의 고장 가능성을 예측 및 진단하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 공장 자동화기기, 자동차, 비행기 등과 같은 다양한 분야에서 물건을 이송 및 회전시키거나, 프로펠러 및 타이어 등을 회전시키기 위한 회전 기계들이 사용된다.

[0003] 이러한 회전 기계들은 회전시킬 대상체(프로펠러, 타이어 휠, 회전 선반 등)를 원활하게 회전시키기 위한 베어링, 자동차 추진축(이하 이러한 부품들을 통칭하여 "회전체"라 함) 등을 포함한다.

[0004] 회전체에 이상이 발생하는 경우 대형사고로 이어질 가능성이 높다. 따라서 이러한 회전체가 적용되는 분야에서는 그 정비가 매우 중요하다. 특히, 비행기 등에서는 더욱더 중요할 것이다.

[0005] 종래 이와 같은 회전기계들의 회전체들을 정비를 위해서는 회전체를 직접 눈으로 확인해야 하므로 회전기계 전체를 분해하여야 한다.

[0006] 이와 같이 회전기계 전체를 분해하여야 하므로 전문 인력이 필요하고, 전문인력은 회전기계를 분해하여 회전체의 고장여부 및 고장 가능성을 확인하는 데 많은 시간과 노력을 들여야 한다. 또한, 전문인력은 눈으로 확인함으로써 회전체의 고장을 인지하지 못할 수 있는 문제점이 있었다.

[0007] 이러한 문제점으로 인해 대한민국 등록특허 10-0228023(이하 "선행특허"라 함)은 진동을 이용하여 베어링의 수명을 예측하는 베어링 수명 예측 방법을 개시하고 있다.

[0008] 선행특허는 베어링에서 발생하는 진동신호의 스파이크 에너지를 이용하여 베어링의 수명을 예측한다.

[0009] 그러나 선행특허는 단순히 시간영역에서만 진동신호의 스파이크 에너지를 이용하여 수명을 예측함으로써 회전체들을 좀 더 정밀하게 분석하는 데 한계가 발생하고, 이로 인한 정밀도가 떨어지는 문제점이 있었다.

[0010] 따라서 회전체의 수명을 보다 정밀하고 정확하게 예측 및 진단할 수 있는 방안이 요구되어지고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 등록특허 제10-0228023호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 따라서 본 발명의 목적은 회전체의 회전에 의해 발생하는 진동에 대한 진동데이터를 수집하고, 수집되는 진동데이터를 주파수영역으로 변환 후 정보 엔트로피를 계산하여 회전체의 무질서도를 측정하여 회전체의 고장 발생 가능성을 예측 및 진단하는 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템 및 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템은: 사이클에 따라 누적 저장된 누적 시간영역 진동데이터, 상기 사이클에 따른 누적 시간영역 데이터에 포함된 각 주파수에 대한 사이클에 따른 누적 주파수영역 진동데이터 및 상기 누적 주파수영역 진동데이터에 대한 사이클에 따른 누적 엔트로피 데이터를 저장하는 저장부; 회전체에 연결되어 상기 회전체의 회전 시 발생하는 진동을 측정하여 사이클에 따른 시간영역 진동데이터를 출력하는 진동측정부; 및 상기 진동측정부를 통해 측정되는 시간영역 진동데이터를 상기 저장부에 누적하여 저장하고, 진동측정부를 통해 측정된 상기 시간영역 진동데이터에 대한 적어도 하나 이상의 주파수별 주파수영역 진동데이터로 변환한 후, 변환된 주파수별 주파수영역 진동데이터를 누적하여 상기 저장부에 저장하며, 상기 주파수별 누적 주파수영역 진동데이터에 대한 엔트로피를 생성하여 상기 저장부의 해당 누적 엔트로피 데이터를 갱신시키고, 상기 갱신된 누적 엔트로피 데이터가 감소하는지를 판단하고 감소하는 경우 기준치 미만으로 떨어지는지의 여부에 따라 상기 회전체에 고장 발생 가능성을 판단하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기 제어부는, 상기 진동측정부를 통해 사이클에 따른 시간영역 진동데이터를 수집하여 상기 저장부에 누적 저장하는 진동 진동데이터 수집부; 상기 진동데이터 수집부를 통해 수집된 사이클에 따른 시간영역 진동데이터를 고속 푸리에 변환을 수행하여 상기 시간영역 진동데이터에 포함된 적어도 하나 이상의 주파수 각각에 대한 사이클에 따른 주파수영역 진동데이터로 변환하는 주파수영역 변환부; 상기 주파수별 누적 주파수영역 진동데이터에 의해 엔트로피를 계산하고, 상기 저장부의 누적 엔트로피 데이터를 갱신하는 엔트로피 생성부; 및 상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 지속적으로 감소하는지를 판단하고, 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지의 여부에 따라 고장 발생 가능성을 판단하는 고장 예측부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 엔트로피 생성부는, 상기 적어도 하나 이상의 주파수에 대한 누적 엔트로피 데이터들 중 엔트로피 감소폭이 큰 상위 일정 개수를 선택하고, 선택된 일정 개수의 누적 엔트로피 데이터들을 평균화하여 평균화 누적 엔트로피 데이터로 변환하여 상기 저장부에 저장하고, 상기 고장 예측부는, 상기 평균화 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값들이 감소하는지의 여부 및 상기 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지를 검사하여 상기 회전체의 고장 발생 가능성을 판단하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 상기 고장 예측부는, 상기 계산된 엔트로피 값이 이전 엔트로피 값보다 떨어지고 상기 기준치 미만으로 떨어지지 않았으면 고장발생률을 계산하여 경보부를 통해 결합물을 통지하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 상기 엔트로피 생성부는, 하기 수학적식에 의해 엔트로피를 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0018] [수학적식]

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 P(x_i)$$

[0019] 여기서, X는 주파수영역 진동데이터의 진폭값이고, n은 시간영역 진동데이터가 포함된 bin의 개수이며, p(x_i)는 각 bin의 확률이다. 상기 bin은 0에서 1사이를 255 등분 한 것으로, 시간영역 진동데이터는 그 크기가 속하는

bin에 포함되고, 상기 확률은 bin에 포함된 진동데이터의 개수를 총 개수로 나눈 값으로 계산된다.

[0021] 상기 경고부는, 회전체의 고장 정보, 측정된 시간영역 진동데이터, 누적 시간영역 진동데이터, 주파수영역 진동데이터, 누적 주파수영역 진동데이터, 엔트로피 누적 데이터 중 적어도 하나 이상을 텍스트, 그래픽 중 적어도 하나 이상으로 표시하는 디스플레이부; 상기 회전체의 고장 발생 가능성을 경고음 및 경고 음성 중 하나로 출력하는 경고음 발생부; 및 상기 회전체의 고장 정보, 측정된 시간영역 진동데이터, 누적 시간영역 진동데이터, 주파수영역 진동데이터, 누적 주파수영역 진동데이터, 엔트로피 누적 데이터 중 적어도 하나 이상을 미리 설정된 관리자의 관리자 단말기로 전송하는 유무선 통신부 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법은: 제어부가 진동측정부를 통해 회전체로부터 측정되는 시간영역 진동데이터를 저장부에 누적하여 저장하는 시간영역 진동데이터 획득 과정; 상기 제어부가 진동측정부를 통해 측정된 상기 시간영역 진동데이터에 대한 적어도 하나 이상의 주파수별 주파수영역 진동데이터로 변환한 후, 변환된 주파수영역 진동데이터를 누적하여 상기 저장부에 저장하는 주파수영역 변환 과정; 상기 제어부가 주파수별로 누적된 주파수별 누적 주파수영역 진동데이터에 대한 엔트로피를 생성하여 상기 저장부의 해당 누적 엔트로피 데이터를 갱신시키는 엔트로피 갱신 과정; 상기 제어부가 상기 갱신된 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 감소하는지를 판단하고 감소하는 경우 상기 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지의 여부에 따라 상기 회전체에 고장 발생 가능성을 판단하는 고장 발생 가능성 판단 과정; 및 상기 제어부가 고장 발생 가능성이 있는 것으로 판단될 때 경고부를 통해 상기 회전체의 고장 발생 가능성을 경고하는 경고 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 상기 엔트로피 갱신 과정은, 상기 주파수별 누적 주파수영역 진동데이터에 의해 엔트로피를 계산하고, 상기 저장부의 누적 엔트로피 데이터를 갱신하는 갱신 단계; 상기 적어도 하나 이상의 주파수에 대한 누적 엔트로피 데이터들 중 엔트로피 감소 폭이 큰 상위 일정 개수를 선택하는 누적 엔트로피 데이터 선택 단계; 및 선택된 일정 개수의 누적 엔트로피 데이터들을 평균화하여 평균화 누적 엔트로피 데이터로 변환하여 상기 저장부에 저장하는 평균화 단계를 포함하되, 상기 고장 발생 가능성 판단 과정에서 상기 제어부는 상기 평균화 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값들이 감소하는지의 여부 및 상기 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지를 검사하여 상기 회전체의 고장 발생 가능성을 판단하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 상기 고장 발생 가능성 판정 과정은, 상기 제어부가 상기 갱신된 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 감소하는지를 판단하는 감소 판단 단계; 상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 감소하는 경우 상기 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지는지의 여부를 판단하는 고장 발생 가능성 모니터링 단계; 및 상기 고장 발생 가능성 모니터링 단계에서 상기 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지면 상기 회전체에 고장이 발생할 가능성이 있는 것으로 결정하고, 기준치 이상이면 정상인 것으로 결정하는 고장 발생 가능성 판단 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 상기 고장 발생 가능성 판정 과정은, 기준치 상기 엔트로피 값이 기준치 이상이면 상기 회전체 고장발생률을 계산하는 고장발생률 계산단계를 더 포함하고, 상기 경고 과정에서 상기 고장발생률을 경고부를 통해 출력하는 것을 특징으로 한다.

[0026] 상기 엔트로피는, 하기 수학적식에 의해 엔트로피를 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0027] [수학적식]

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 P(x_i)$$

[0028] 여기서, X는 주파수영역 진동데이터의 진폭값이고, n은 시간영역 진동데이터가 포함된 bin의 개수이며, p(x_i)는 각 bin의 확률이다. 상기 bin은 0에서 1사이를 255 등분 한 것으로, 시간영역 진동데이터는 그 크기가 속하는 bin에 포함되고, 상기 확률은 bin에 포함된 진동데이터의 개수를 총 개수로 나눈 값으로 계산된다.

발명의 효과

[0030] 본 발명은 시간영역의 진동데이터를 주파수영역으로 변환하여 분석함으로써 더 다양하고 많은 정보를 획득하여 분석할 수 있고, 이로 인해 회전체의 고장 발생 가능성을 보다 정밀하게 예측 및 진단할 수 있는 효과를 갖는다.

[0031] 또한, 본 발명은 주파수영역으로 변환된 진동데이터에 대한 엔트로피를 계산하고, 엔트로피의 증감에 따라 회전

체의 수명 및 고장 발생 가능성을 진단하므로, 보다 간편하면서도 정확하게 회전체의 고장 발생 가능성을 예측하고 진단할 수 있는 효과를 갖는다.

[0032]

도면의 간단한 설명

[0033]

- 도 1은 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 수행된 테스트 조건에 따른 시간영역의 진동데이터에 의한 신호파형들을 나타낸 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따라 적용되는 시간에 따른 특정 주파수의 진동신호 변화 데이터를 얻는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 따라 고속푸리에변환에 의한 주파수영역 진동데이터의 진폭크기가 감소하거나 증가할 수 있는 원인을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 진동데이터의 형태에 따른 엔트로피 증감 개념을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 하나의 주파수 성분에 대한 주파수영역 진동데이터의 신호 파형 및 엔트로피 파형을 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일실시예에 따라 적용된 제1조건 및 제2조건에서 7종류의 회전체에 대한 엔트로피 파형을 나타낸 도면이다.
- 도 8은 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 9는 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법의 고장 발생 가능성 판단 방법을 나타낸 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034]

이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템의 구성 및 동작을 설명하고, 상기 시스템에서의 회전체 고장 예측 방법을 설명한다.

[0035]

도 1은 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템의 구성을 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 수행된 테스트 조건에 따른 시간영역의 진동데이터에 의한 신호파형들을 나타낸 도면이고, 도 3은 본 발명의 일실시예에 따라 적용되는 시간에 따른 특정 주파수의 진동신호 변화 데이터를 얻는 과정을 설명하기 위한 도면이고, 도 4는 본 발명의 일실시예에 따라 고속푸리에변환에 의한 주파수영역 진동데이터의 진폭크기가 감소하거나 증가할 수 있는 원인을 설명하기 위한 도면이고, 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 진동데이터의 형태에 따른 엔트로피 증감 개념을 설명하기 위한 그래프이고, 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 하나의 주파수 성분에 대한 주파수영역 진동데이터의 신호 파형 및 엔트로피 파형을 나타낸 도면이며, 도 7은 본 발명의 일실시예에 따라 적용된 제1조건 및 제2조건에서 7종류의 회전체에 대한 엔트로피 파형을 나타낸 도면이다. 이하 도 1 내지 도 7을 참조하여 설명한다.

[0036]

본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템은 저장부(10), 경보부(20), 진동측정부(30) 및 제어부(40)를 포함한다.

[0037]

저장부(10)는 시간영역의 진동데이터인 시간영역 진동데이터를 사이클에 따라 누적 저장하는(이하 사이클에 따라 누적하여 저장된 시간영역 진동데이터를 "누적 시간영역 진동데이터"라 함) 시간영역 진동데이터 저장부(11), 주파수영역의 진동데이터에서 개별 주파수의 진폭변화를 사이클에 따라 누적 저장하는(이하 사이클에 따라 누적하여 저장된 개별 주파수 진동데이터를 "누적 주파수영역 진동데이터"라 함) 주파수영역 진동데이터 저장부(12) 및 개별 주파수 진동데이터에 대한 사이클에 따른 엔트로피를 누적하여 저장하는(이하 사이클에 따라 누적하여 저장된 엔트로피를 "누적 엔트로피 데이터"라 함) 엔트로피 저장부(13)를 포함한다.

[0038]

경보부(20)는 상기 제어부(40)의 제어를 받아 고장 발생 가능성을 판단하고자 하는 회전체의 고장 발생 가능성을 경보하는 수단으로 회전체의 결함여부를 텍스트, 그래픽, 동영상 등으로 디스플레이하는 디스플레이부(21) 및 회전체의 고장 발생 가능성을 음성, 경고음 등으로 출력하는 경고음 발생부(22), 회전체의 고장 발생 가능성을 원격지의 관리자에게 통지하기 위한 메시지를 관리자의 관리자 단말기로 송신하는 유무선 통신부(23) 등이

될 수 있을 것이다. 상기 유무선 통신부(23)를 통해 전송되는 상기 메시지는 이메일, 푸시 메시지, 단문메시지 서비스(Short Message Service: SMS) 메시지 등의 이동통신메시지 등이 될 수 있을 것이다. 상기 관리자 단말기는 컴퓨터, 노트북, 스마트폰, 핸드폰 등이 될 수 있을 것이다.

[0039] 진동측정부(30)는 고장 발생 가능성을 판단하기 위해 회전체에 부착되어 회전체의 진동에 따른 진동신호를 출력하는 진동센서(미도시)를 포함하고, 상기 진동센서를 통해 사이클에 따라 출력되는 시간영역의 진동신호를 시간영역 진동데이터로 변환하여 출력한다. 상기 회전체는 베어링, 모터 등이 될 수도 있으며, 회전하는 물체이면 무엇이든 될 수 있을 것이다.

[0040] 진동측정부(30)에서 출력되는 시간영역 진동데이터는 도 2와 같이 나타날 수 있을 것이다. 도 2의 (가)는 하기 표 1의 제1조건에서 7 종류의 베어링에서 측정된 것을 나타낸 것이고, (나)는 하기 표 1의 제2조건에서 7 종류의 베어링에서 측정된 것을 나타낸 것이다. 도 2에서는 각 베어링 종류에 따른 시간영역 진동데이터, 주파수영역 진동데이터 및 누적 엔트로피 데이터를 1세트, 2세트, 3세트, 4세트, 5세트, 6세트 및 7세트로 구분하였다.

표 1

	Radial force (N)	Rotating speed (RPM)	Num. of data set
Condition 1	4000	1800	7
Condition 2	4200	1650	7

[0041]

[0042] 예를 들어, 도 1의 첫 번째 베어링(제1세트)은 제1조건에서 2800사이클에서 진동이 커지고, 제2조건에서 900사이클에서 진동이 커짐을 나타내고 있다.

[0043] 제어부(40)는 본 발명에 따른 전반적인 동작을 제어하며, 특히, 진동측정부(30)에서 출력되는 시간영역 진동데이터를 저장부(10)의 시간영역 진동데이터 저장부(11)에 누적 저장하고, 상기 시간영역 진동데이터를 사이클에 따라 주파수영역의 데이터인 주파수영역 진동데이터로 변환하여 상기 저장부(10)의 주파수영역 진동데이터 저장부(12)에 누적 저장하며, 상기 변환된 주파수영역 진동데이터에 대한 엔트로피를 사이클에 따라 생성하여 상기 엔트로피 저장부(13)에 누적하여 저장한다.

[0044] 또한, 제어부(40)는 저장부(10)의 엔트로피 저장부(13)에 누적하여 저장된 누적 엔트로피 데이터를 분석하여 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 감소하고 있는지를 판단하고, 감소하고 있는 경우 엔트로피 값이 기준치 미만인지를 판단하고, 진동 엔트로피 값이 기준치 미만이면 상기 회전체에 고장 발생 가능성이 있는 것으로 판단하여 상기 경보부(20)를 통해 상기 회전체에 고장 발생 가능성이 있음을 경고한다.

[0045] 제어부(40)의 구성을 좀 더 구체적으로 설명하면, 제어부(40)는 진동데이터 수집부(41), 주파수영역 변환부(42), 엔트로피 생성부(43) 및 고장 예측부(44)를 포함한다.

[0046] 진동데이터 수집부(41)는 진동측정부(30)를 통해 회전체의 진동에 대해 일정 주기로 일정 시간 동안 시간영역 진동데이터를 수집하여 시간영역 진동데이터 저장부(11)에 누적하여 저장한다. 일례로 상기 시간은 도 3의 (가)에서 나타낸 바와 같이 1/10초가 될 수 있고, 상기 주기는 10초가 될 수 있을 것이다. 또한, 상기 시간영역 진동데이터를 수집하기 위한 샘플링 주파수는 25.6Khz가 될 수 있을 것이다.

[0047] 주파수영역 변환부(42)는 상기 진동데이터 수집부(41)를 통해 사이클에 따른 시간영역 진동데이터를 입력받고, 상기 시간영역 진동데이터를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform: FFT)을 수행하여 주파수영역의 데이터인 주파수영역 진동데이터로 변환하여 출력한다.

[0048] 도 3의 (가)와 같은 시간영역 진동데이터에는 도 3의 (나) 및 (다)에서 보이는 바와 같이 적어도 하나 이상의 주파수를 가지는 시간영역 진동데이터들이 결합되어 있다.

[0049] 도 4를 참조하여 다시 설명하면, 진동측정부(30)로부터 출력되는 도 4의 (가)와 같은 로우데이터(Raw Data)인 시간영역 진동데이터는 주파수 A 및 주파수 B의 시간영역 진동데이터가 결합되어 있으나 시간영역에서는 이를 확인할 수 없다.

[0050] 따라서 상기 시간영역 진동데이터를 주파수영역 변환부(42)를 통해 주파수영역으로 변환하면 상기 시간영역 진동데이터는 도 4의 (다)와 같이 주파수 A 및 주파수 B의 주파수 성분의 데이터를 포함하고 있음을 알 수 있고,

도 4의 (나)와 같이 시간영역 진동데이터에 포함되어 있는 주파수 성분별로 주파수영역 진동데이터로 변환하여 출력한다.

[0051] 엔트로피 생성부(43)는 상기 주파수영역 변환부(42)로부터 상기 FFT 변환된 주파수영역 진동데이터를 각 주파수에 대해 사이클에 따라 입력받고, 주파수별 주파수영역 진동데이터를 하기 수학식 1에 적용하여 엔트로피(Entropy)(H(X))를 계산하고, 계산된 엔트로피를 엔트로피 저장부(10)에 누적 저장하여 저장부(13)의 누적 엔트로피 데이터를 갱신한다. 본 발명의 엔트로피(H(X))는 정보 엔트로피(Information Entropy)로서 시스템의 혼잡도를 나타내며, 진동데이터의 진폭보다 회전체의 상태를 보다 명확하게 나타낸다.

수학식 1

[0052]
$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 P(x_i)$$

[0053] 여기서, X는 주파수영역 진동데이터의 진폭값이고, n은 시간영역 진동데이터가 포함된 bin의 개수이며, p(x_i)는 각 bin의 확률이다. 상기 bin은 도 5에서 나타낸 바와 같이 0에서 1사이를 255 등분 한 것으로, 시간영역 진동데이터는 그 크기가 속하는 bin에 포함되고, 상기 확률은 bin에 포함된 진동데이터의 개수를 총 개수로 나눈 값으로 계산된다.

[0054] 상기 엔트로피(H(X))는 도 5의 (가)에서 나타낸 바와 같이 시간영역 진동데이터가 확산형으로 형성될 때 증가하며, 도 5의 (나)에서 나타낸 바와 같이 시간영역 진동데이터가 수렴형으로 형성될 때 감소한다.

[0055] 엔트로피 생성부(43)는 도 6의 (가)와 같은 하나의 주파수 성분을 가지는 주파수영역 진동데이터에 대해 상술한 수학식 1을 적용한 경우 도 6의 (나)와 같은 엔트로피 곡형을 얻을 수도 있을 것이다.

[0056] 또한, 엔트로피 생성부(43)는 적어도 하나 이상의 주파수 성분에 대한 누적 엔트로피 데이터들 중 감소 폭이 큰 순으로 상위 일정 개수의 누적 엔트로피 데이터들을 선택하고, 선택된 누적 엔트로피 데이터들을 평균화한 평균 누적 엔트로피 데이터를 생성하여 상기 저장부(10)의 엔트로피 저장부(13)에 저장할 수도 있을 것이다. 예를 들어, 도 7의 (가)는 상위 25개의 주파수 성분을 시간에 따라 나타낸 것으로 일정시간이 지나면 상위 25개 주파수 성분이 비슷한 크기로 수렴함을 나타내고, 도 7의 (나) 및 (다)는 상기 25개의 주파수 성분에 대한 누적 엔트로피 데이터를 평균화한 평균 누적 엔트로피 데이터를 나타낸 것으로 7종류(7세트)의 베어링에 대한 평균 누적 엔트로피 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.

[0057] 고장 예측부(44)는 일정 주기별로 갱신되어 엔트로피 저장부(13)에 저장되어 있는 누적 엔트로피 데이터를 로드하고, 로드된 누적 엔트로피 데이터를 분석하여 해당 회전체의 고장 발생 가능성을 판단하고, 고장 발생 가능성 판단 결과를 경보부(20)를 통해 관리자에게 경보한다.

[0058] 고장 예측부(44)는 평균 누적 엔트로피 데이터가 생성되는 경우, 평균 누적 엔트로피 데이터에 의해 해당 회전체의 고장 발생 가능성을 판단하도록 구성되는 것이 바람직할 것이다.

[0059] 고장 예측부(44)는 도 6의 (나)와 같이 엔트로피가 감소하는 것으로 나타나고 최소 엔트로피가 미리 설정된 기준치보다 낮아지면 해당 회전체에 고장 발생 가능성이 있는 것으로 판단하여 경보부(20)를 통해 회전체에 결함이 발생되었음을 경보한다.

[0060] 도 8은 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0061] 도 8을 참조하면, 제어부(40)는 회전체 모니터링 이벤트가 발생되면 측정 대상 회전체에 대한 진동데이터를 수집하여 누적한다(S111). 상기 진동데이터는 시간영역 진동데이터, 주파수영역 진동데이터 및 엔트로피를 포함한다. 상기 회전체 모니터링 이벤트는 해당 회전체를 포함하는 시스템의 구동 시 발생할 수 있을 것이다.

[0062] 회전체에 대한 진동데이터가 수집되어 누적되면 제어부(40)는 회전체에 대한 누적 엔트로피 데이터를 분석하고(S113), 분석된 결과에 의해 회전체가 정상인지 고장이 발생할 가능성이 있는지를 판단한다(S115).

[0063] 정상이면 제어부(40)는 회전체가 정상임을 경보부(20)를 통해 경보하고(S117), 고장이 발생할 가능성이 있으면 고장이 발생할 수 있음을 경보한다(S119). 정상인 경우에도 제어부(40)는 고장발생률을 계산하여 디스플레이부(21)를 통해 표시할 수도 있을 것이다.

- [0064] 도 9는 본 발명에 따른 진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법의 고장 발생 가능성 판단 방법을 나타낸 흐름도로 도 8의 측정 대상 회전체 진동데이터 수집 루틴(S111) 및 회전체 진동데이터 분석 루틴(S113)을 상세하게 나타낸 흐름도이다. 도 9를 참조하여 회전체 고장 발생 가능성 판단 방법을 구체적으로 설명한다.
- [0065] 우선 제어부(40)는 진동데이터 수집부(41)를 통해 일정 주기(사이클별)로 진동측정부(30)를 통해 시간영역 진동데이터를 수집한다(S211).
- [0066] 시간영역 진동데이터가 수집되면 제어부(40)는 주파수영역 변환부(42)를 통해 상기 주파수영역 진동데이터로 변환한다(S213).
- [0067] 주파수영역 진동데이터가 생성되어 저장되면 제어부(40)는 엔트로피 계산부(43)를 통해 상기 각 주파수영역 진동데이터에 대한 엔트로피를 계산하여 엔트로피 저장부(13)의 각 주파수에 대한 누적 엔트로피 데이터를 갱신한다(S215).
- [0068] 누적 엔트로피 데이터의 갱신 후 제어부(40)는 고장 예측부(44)를 통해 시간영역 진동데이터에 포함된 주파수 성분들 각각에 대한 누적 엔트로피 데이터들 중 감소하는 누적 엔트로피 데이터가 있는지를 판단한다(S217).
- [0069] 제어부(40)는 고장 예측부(44)를 통해 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 증가하는 것으로 판단되면 대상 회전체가 정상인 것으로 결정한다(S218).
- [0070] 그러나 값이 감소하는 누적 엔트로피 데이터가 존재하는 것으로 판단되면 제어부(40)는 고장 판정부(44)를 통해서 도 7의 (가)와 같은 다수의 주파수에 대한 엔트로피 세트들 중 가장 큰 폭의 감소를 보이는 상위 일정 개수(예; 25개)의 엔트로피 세트들을 선택한다(S217). 이때, 제어부(40)는 상기 하나 이상의 주파수 성분들에 대한 누적 엔트로피 데이터들을 평균화한 평균 누적 엔트로피 데이터를 생성한다.
- [0071] 상기 평균 누적 엔트로피 데이터가 생성되면 제어부(40)는 고장 예측부(44)를 통해 상기 평균 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 미리 설정된 최종 기준치 미만으로 떨어지는지를 검사한다(S221).
- [0072] 엔트로피 값이 기준치 미만으로 떨어지지 않았으면 제어부(40)는 고장 예측부(44)를 통해 고장발생률을 계산한다(S223). 상기 고장발생률은 하기 수학적 식 2에 의해 계산될 수 있을 것이다.

수학적 식 2

$$\text{고장발생률} = \frac{(H_{ds} - H_c)}{(H_{ds} - H_R)} \times 100$$

- [0073]
- [0074] 여기서 H_{ds} = 엔트로피 세트 감소 개시 부분의 엔트로피값이고, H_c 는 현재 사이클의 엔트로피 값이며, H_R 는 기준치 값이다.
- [0075] 도 7의 (나)를 예를 들어 설명하면, 도 7의 (나)에서 세트1(Red)의 1800 사이클에서 고장발생률은 $\{(3.8 - 2.6)/(3.8 - 2.5)\} * 100 = 1.2/1.3 * 100 = 92\%$ 이다.
- [0076] 그러나 감소중인 누적 엔트로피 데이터의 엔트로피 값이 기준 값 미만인 경우 제어부(40)는 대상 회전체에 고장이 발생할 가능성이 큰 상태로 정비 시점임을 결정한다(S225).
- [0077] 한편, 본 발명은 전술한 전형적인 바람직한 실시예에만 한정되는 것이 아니라 본 발명의 요지를 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지로 개량, 변경, 대체 또는 부가하여 실시할 수 있는 것임은 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 용이하게 이해할 수 있을 것이다. 이러한 개량, 변경, 대체 또는 부가에 의한 실시가 이하의 첨부된 특허청구범위의 범주에 속하는 것이라면 그 기술사상 역시 본 발명에 속하는 것으로 보아야 한다.

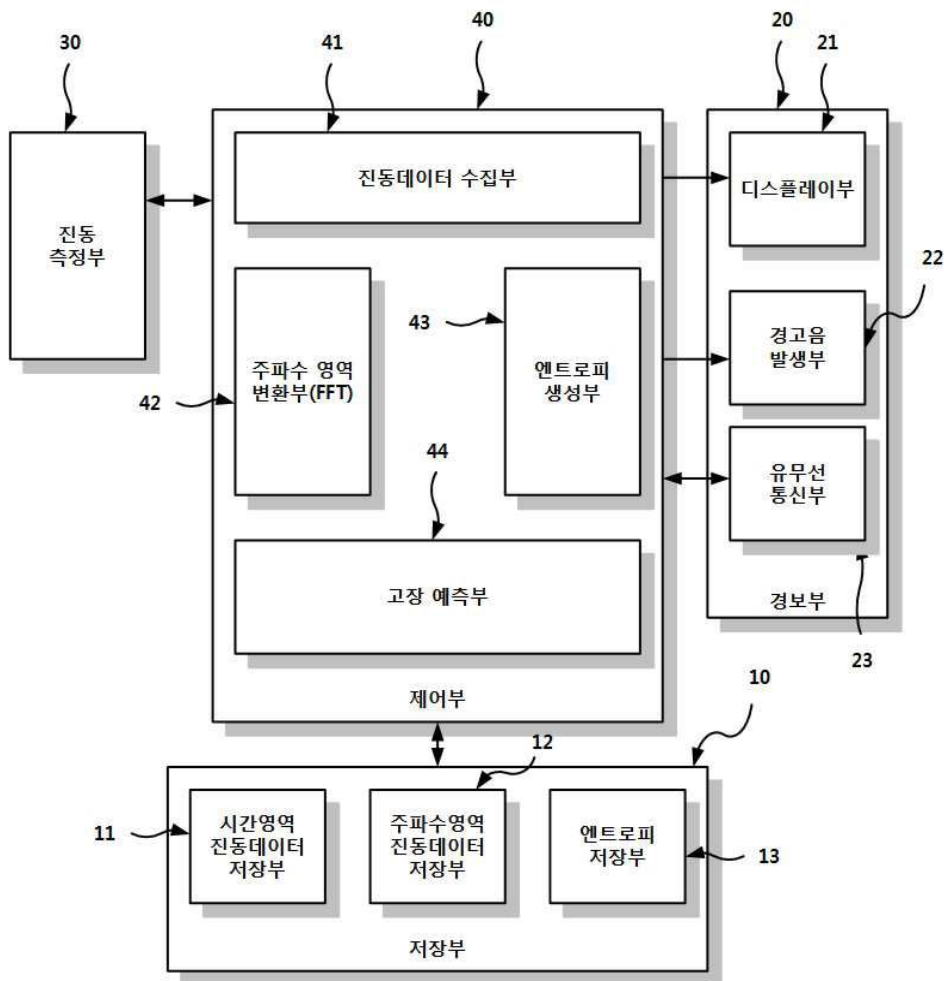
부호의 설명

- [0078] 10: 저장부
- 11: 시간영역 진동데이터 저장부
- 12: 주파수영역 진동데이터 저장부
- 13: 엔트로피 저장부

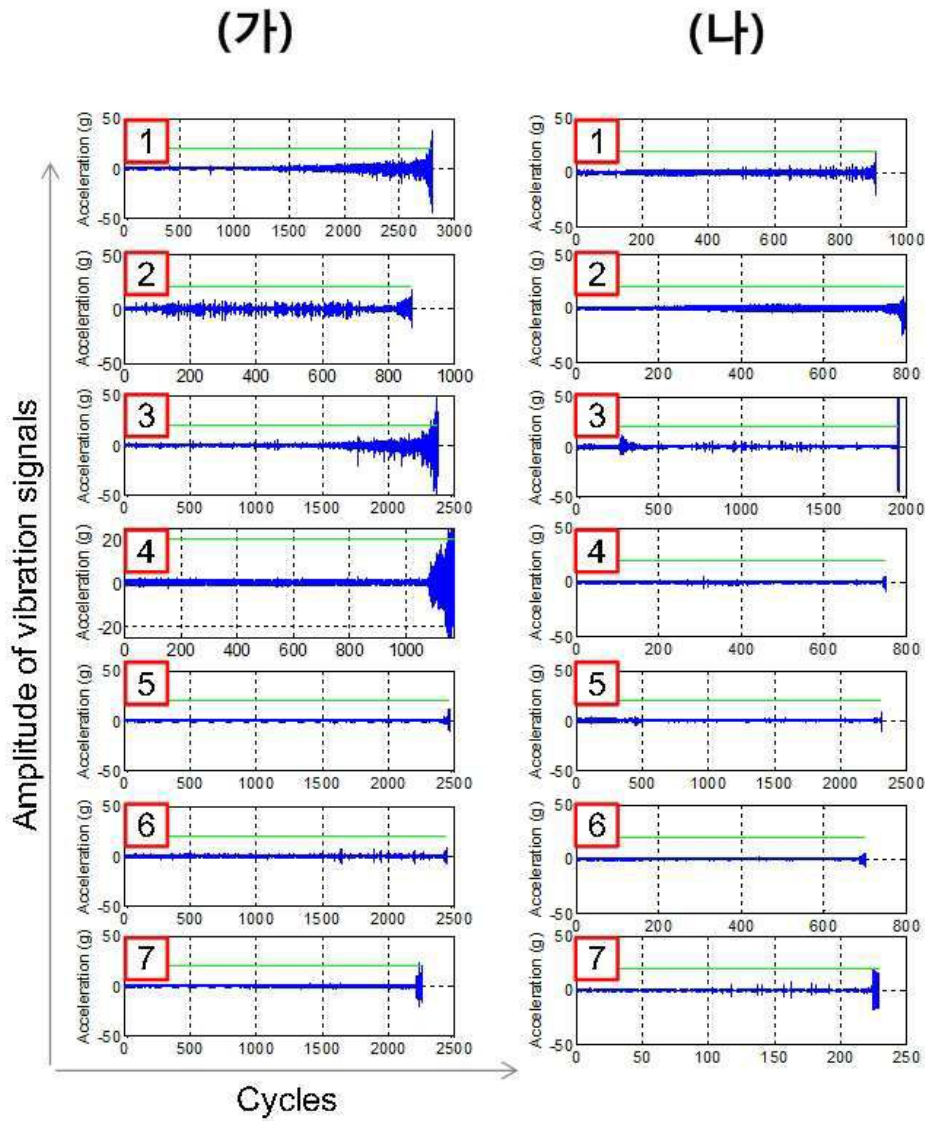
- 20: 진동부
- 21: 디스플레이부
- 22: 경고음 발생부
- 23: 유무선 통신부
- 30: 진동 측정부
- 40: 제어부
- 41: 진동데이터 수집부
- 42: 주파수 영역 변환부
- 43: 엔트로피 생성부
- 44: 고장 예측부

도면

도면1

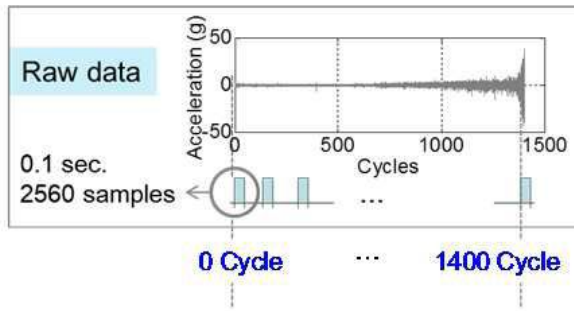


도면2

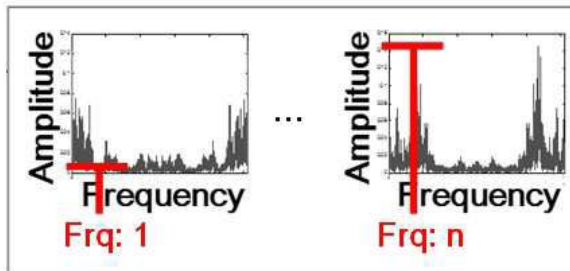


도면3

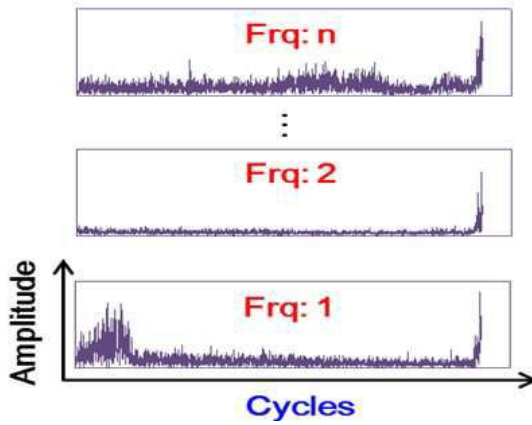
(가)



(나)

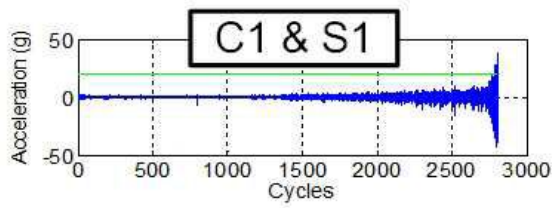


(다)

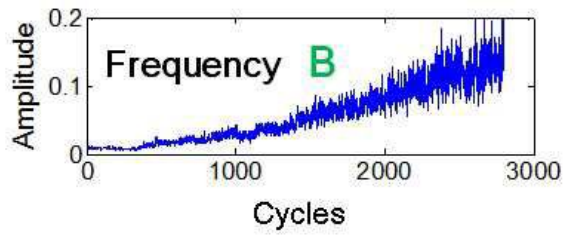


도면4

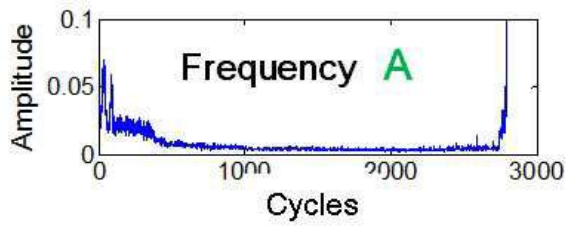
(가)



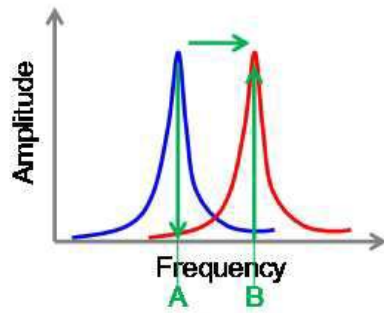
(나)



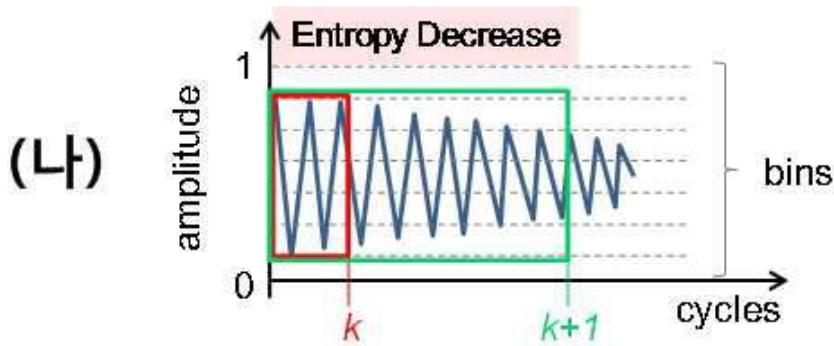
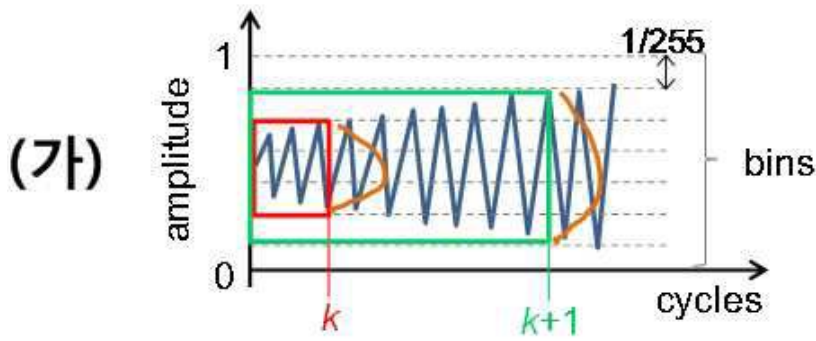
+



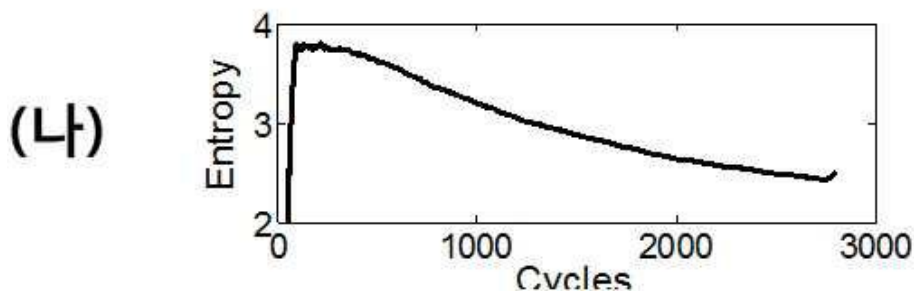
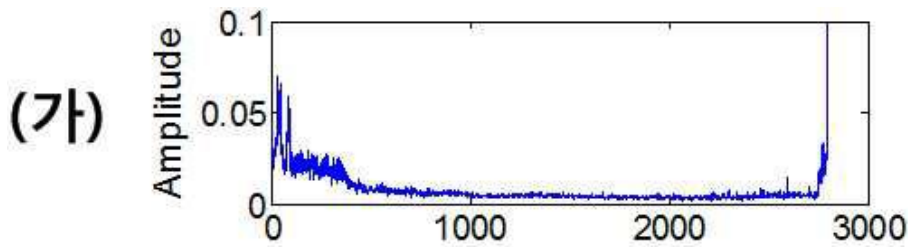
(다)



도면5

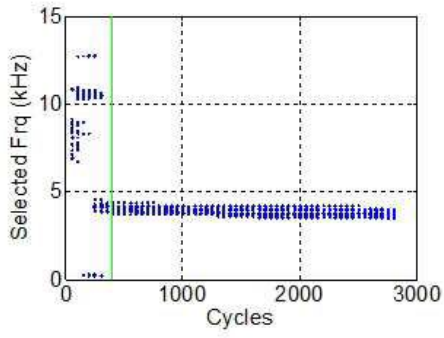


도면6

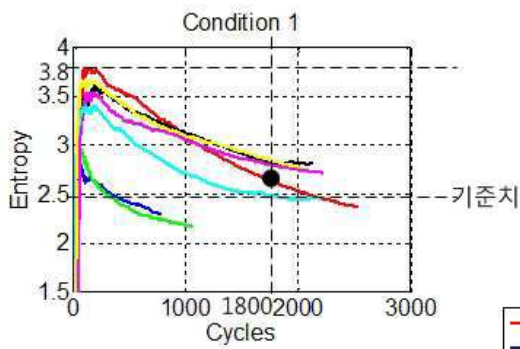


도면7

(가)

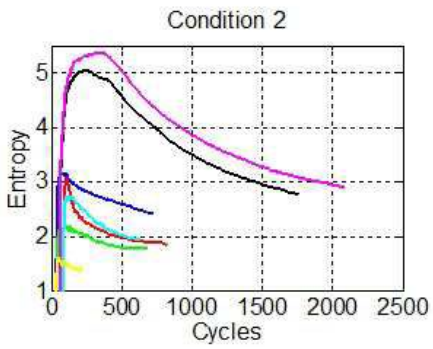


(나)

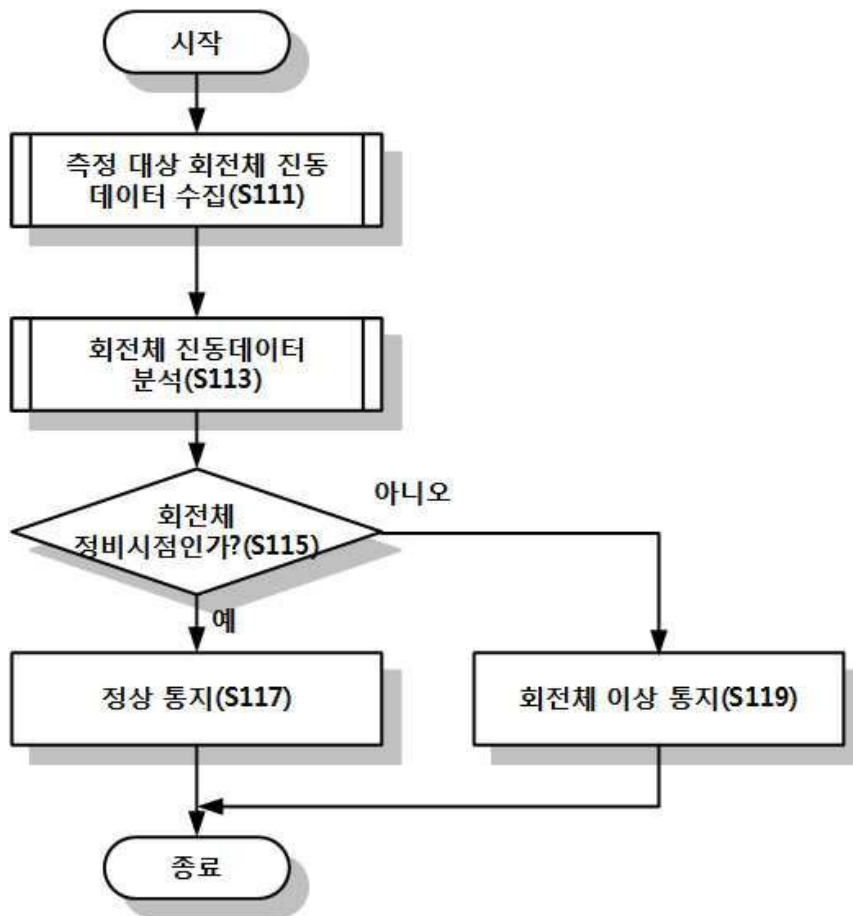


- Set 1
- Set 2
- Set 3
- Set 4
- Set 5
- Set 6
- Set 7

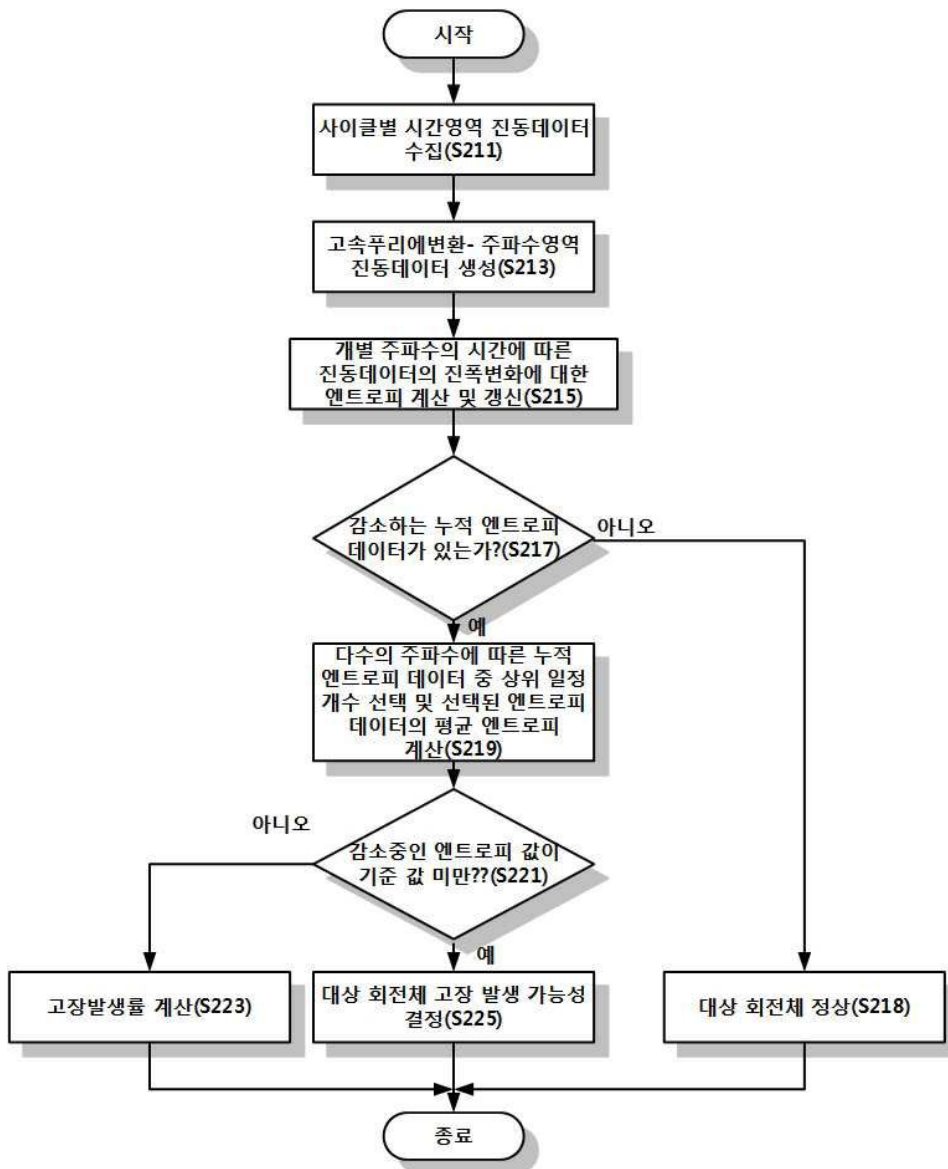
(다)



도면8



도면9



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 제12항

【변경전】

진동을 이용한 회전체 고장 예측 시스템

【변경후】

진동을 이용한 회전체 고장 예측 방법

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제11항

【변경전】

상기 회전체 고장발생률을

【변경후】

회전체 고장발생률을