



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년10월19일
(11) 등록번호 10-1787604
(24) 등록일자 2017년10월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 21/32 (2006.01) G01D 1/16 (2006.01)
G06F 17/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01B 21/32 (2013.01)
G01D 1/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0072474
(22) 출원일자 2017년06월09일
심사청구일자 2017년06월09일
(56) 선행기술조사문헌
JP2004361286 A
JP0493635 A

(73) 특허권자
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
김종면
경상남도 양산시 삼호로 74, 101동 303호 (삼호동, 웅상신도시푸르지오아파트)
김재영
부산광역시 수영구 과정로73번길 30, 2층 (망미동)
(74) 대리인
김종선, 이형석

기술이전 희망 : 기술양도

전체 청구항 수 : 총 7 항

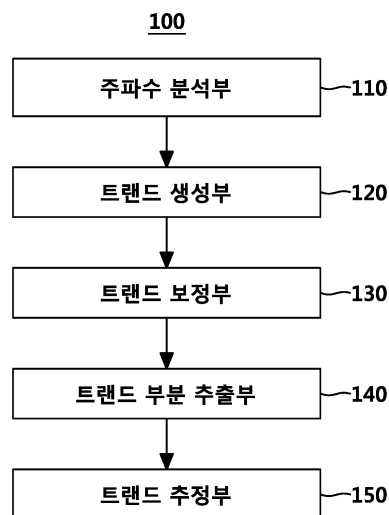
심사관 : 김윤선

(54) 발명의 명칭 기계 열화 추이 추정 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 기계 열화 추이 추정 장치 및 방법에 관한 것으로서, 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치는, 입력신호의 주파수를 분석하여 복수의 부대역 신호로 분할하는 주파수 분석부; 상기 분할된 부대역 신호로부터 건전성 지표를 추출하여 열화 트렌드를 생성하는 트렌드 생성부; 상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 건전성 지표 중 하향 트렌드를 보정하는 트렌드 보정부; 상기 보정된 하향 트렌드에 대한 기울기를 추정하고, 상기 기울기 추정 결과를 이용하여 각 부대역으로부터 열화 트렌드 부분을 추출하는 트렌드 부분 추출부; 및 상기 추출된 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하여 열화 트렌드를 추정하는 트렌드 추정부;를 포함한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G06F 17/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415151173
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지안전기술개발
연구과제명 산업설비 압력용기/탱크 음향방출 진단장비 및 모니터링 시스템 개발
기 여 율 3/10
주관기관 울산대학교 산학협력단
연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415150552
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 청정화력핵심기술개발
연구과제명 순환유동층 보일러 furnace 고장예측 진단시스템
기 여 율 2/10
주관기관 영진(주)
연구기간 2016.11.01 ~ 2017.09.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711040740
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 이공계전문기술·연구인력양성(한국연구재단)
연구과제명 인공지능기반 화학용 펌프 베어링 모니터링 및 3D프린팅 시스템 개발
기 여 율 2/10
주관기관 울산대학교 산학협력단
연구기간 2016.06.01 ~ 2017.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345256264
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 이공학개인지초연구지원
연구과제명 음향방출 및 진동 기술을 이용한 상수도관 상태 모니터링 및 결함 진단 시스템 개발
기 여 율 2/10
주관기관 울산대학교 산학협력단
연구기간 2016.11.01 ~ 2017.10.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20170136397-00
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업단지공단
연구사업명 학술연구용역사업
연구과제명 울산-온산국가산단 지하매설 배관망 안전관리방안 수립
기 여 율 1/10
주관기관 울산대학교 산학협력단
연구기간 2017.02.01 ~ 2017.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

입력신호의 주파수를 분석하여 복수의 부대역 신호로 분할하는 주파수 분석부;

상기 분할된 부대역 신호로부터 건전성 지표를 추출하여 열화 트렌드를 생성하는 트렌드 생성부;

상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 건전성 지표 중 하향 트렌드를 보정하는 트렌드 보정부;

상기 보정된 하향 트렌드에 대한 기울기를 추정하고, 상기 기울기 추정 결과를 이용하여 각 부대역으로부터 열화 트렌드 부분을 추출하는 트렌드 부분 추출부; 및

상기 추출된 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하여 열화 트렌드를 추정하는 트렌드 추정부;

를 포함하는 기계 열화 추이 추정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 주파수 분석부는,

열화 추이의 추정 대상이 되는 기계로부터 음향 신호, 진동 신호, 전류 신호, 자속 신호, 윤활 신호, 열화상 신호 및 초음파 신호 중 적어도 하나 이상의 입력 신호를 획득하는 기계 열화 추이 추정 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 트렌드 생성부는,

상기 분할된 부대역 신호의 제곱평균제곱근(RMS: root mean square), 크레스트 팩터(crest factor)정보, 비대칭도(skewness)정보, 피크 투 피크(peak-to-peak)값, 임펄스 값(impulse value) 및 평균값(mean)정보 중 어느 하나를 건전성 지표로 추출하는 기계 열화 추이 추정 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 트렌드 보정부는,

상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 현재 특징값을 추출하고, 상기 추출된 현재 특징값과 기저장된 부대역 신호의 과거 특징값과 차이를 계산하고, 상기 계산된 특징값 차이를 이용하여 상기 현재 특징값을 보정하는 기계 열화 추이 추정 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 트렌드 보정부는,

상기 계산된 특징값 차이가 음수일 경우, 상기 현재 특징값을 이전 특징값과 동일한 특징값으로 변경하고, 상기 계산된 특징값 차이가 음수가 아닐 경우, 상기 현재 특징값을 유지하는 기계 열화 추이 추정 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 트렌드 부분 추출부는,

열화 트렌드의 초기값을 기설정된 초기값으로 설정하고, 상기 보정된 하향 트렌드에서 이전 시점 및 현재 시점 간의 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 계산하고, 상기 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 이용하여 열화 트렌드 부분의 현재 값을 추출하는 기계 열화 추이 추정 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 트렌드 부분 추출부는,

상기 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기 중에서 특징값의 최대 기울기를 이전 시점에서 추출된 열화 트렌드의 이전 값에 더하여 현재 시점에서의 열화 트렌드의 현재 값을 결정하는 기계 열화 추이 추정 장치.

청구항 8

[청구항 8은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.]

입력신호의 주파수를 분석하여 복수의 부대역 신호로 분할하는 단계;

상기 분할된 부대역 신호로부터 건전성 지표를 추출하여 열화 트렌드를 생성하는 단계;

상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 건전성 지표 중 하향 트렌드를 보정하는 단계;

상기 보정된 하향 트렌드에 대한 기울기를 추정하고, 상기 기울기 추정 결과를 이용하여 각 부대역으로부터 열화 트렌드 부분을 추출하는 단계; 및

상기 추출된 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하여 열화 트렌드를 추정하는 단계;

를 포함하는 기계 열화 추이 추정 방법.

청구항 9

[청구항 9은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.]

제8항에 있어서,

상기 부대역 신호로 분할하는 단계는,

열화 추이의 추정 대상이 되는 기계로부터 음향 신호, 진동 신호, 전류 신호, 자속 신호, 윤활 신호, 열화상 신호 및 초음파 신호 중 적어도 하나 이상의 입력 신호를 획득하는 기계 열화 추이 추정 방법.

청구항 10

[청구항 10은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.]

제8항에 있어서,

상기 열화 트렌드를 생성하는 단계는,

상기 분할된 부대역 신호의 제곱평균제곱근(RMS: root mean square), 크레스트 팩터(crest factor)정보, 비대칭도(skewness)정보, 피크 투 피크(peak-to-peak)값, 임펄스 값(impulse value) 및 평균값(mean)정보 중에서 어느 하나를 건전성 지표로 추출하는 기계 열화 추이 추정 방법.

청구항 11

[청구항 11은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.]

제8항에 있어서,

상기 하향 트렌드를 보정하는 단계는,

상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 현재 특징값을 추출하는 단계;

상기 추출된 현재 특징값과 기저장된 부대역 신호의 과거 특징값과 차이를 계산하는 단계; 및

상기 계산된 특징값 차이를 이용하여 상기 현재 특징값을 보정하는 단계;

를 포함하는 기계 열화 추이 추정 방법.

청구항 12

[청구항 12은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.]

제11항에 있어서,

상기 현재 특징값을 보정하는 단계는,

상기 계산된 특징값 차이가 음수일 경우, 상기 현재 특징값을 이전 특징값과 동일한 특징값으로 변경하는 단계;
및

상기 계산된 특징값 차이가 음수가 아닐 경우, 상기 현재 특징값을 유지하는 단계;

를 포함하는 기계 열화 추이 추정 방법.

청구항 13

[청구항 13은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.]

제8항에 있어서,

상기 열화 트렌드 부분을 추출하는 단계는,

열화 트렌드의 초기값을 기설정된 초기값으로 설정하는 단계;

상기 보정된 하향 트렌드에서 이전 시점 및 현재 시점 간의 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 계산하는 단계; 및

상기 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 이용하여 열화 트렌드 부분의 현재 값을 추출하는 단계;

를 포함하는 기계 열화 추이 추정 방법.

청구항 14

[청구항 14은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.]

제13항에 있어서,

상기 열화 트렌드 부분을 추출하는 단계는,

상기 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기 중에서 가장 큰 특징값의 기울기를 이전 시점에서 추출된 열화 트렌드의 이전 값에 더하여 현재 시점에서의 열화 트렌드의 현재 값을 결정하는 기계 열화 추이 추정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시 예는 기계 열화 추이 추정 장치 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 입력신호의 각 부대역에 대해 열화 트렌드의 기울기 추정을 통해 열화 트렌드 부분을 추출하고 그 추출된 열화 트렌드 부분을 조합함으로써, 기계의 열화 상태가 최적으로 반영된 열화 트렌드를 정확하게 추정할 수 있는, 기계 열화 추이 추정 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 항공, 선박, 차량, 교량 및 고층건물 등의 구조물은 적절한 검사와 유지보수가 필요하여 완전 상태 및 건전성을 주기적으로 감지해 주어야 한다. 구조물의 결함을 감지하는 방법으로 구조물에 진류, 초음파 등의 진단신호를 인가하거나 각종 센서를 설치하여 측정되는 정상신호와 진단신호를 비교하여 구조물의 결함을 감지하는 비파괴 시험방법이 주로 사용된다.

[0003] 일반적인 진단 기술은 기계의 결함을 정확하게 진단하지 못하여 작동 중인 기계를 중단시킬 수 있다. 그뿐만 아니라 기계 근처에서 작업하는 작업자의 인명사고가 발생하는 문제점도 있다.

- [0004] 또한, 기계 시스템의 결함을 진단하기 위한 방법으로 특징 벡터 추출이 필요한데, 이 특징 벡터 추출 시 사용되는 기계 구조물의 출력 신호(가속도, 변위 값 등)에는 외부 잡음이 섞일 수 있다. 출력 신호에 외부 잡음이 섞일 경우 결함 발생 위치 및 크기에 따른 출력 신호들이 갖는 차이가 뚜렷하지 않게 되어 결함 진단에 어려움이 생긴다.
- [0005] 일반적인 진단 기술에서는 기계 구조물의 결함 진단 시 사용되는 출력 신호(진동 신호 등)에 외부 잡음의 영향을 고려하지 않거나 고려하더라도 그 크기가 아주 작았다. 하지만, 실제 기계 구조물이 작동할 때에 외부 잡음의 영향은 얼마든지 크게 작용할 수 있다. 외부 잡음의 세기가 클 경우 결함 발생 위치 및 크기에 따른 출력 신호들 간의 차이가 뚜렷하게 나타나기 어렵다. 따라서 기존의 패턴 인식 기법을 이용한 기계 구조물의 결함 진단 방법으로는 정확한 결함 진단이 어렵다.
- [0006] 따라서, 외부 잡음의 세기가 크더라도 기계 구조물의 결함 진단에 큰 영향을 미치지 않는 결함 진단 방법이 필요하다.
- [0007] 한편, 기계 설비의 급작스런 고장 또는 이상 발생은 설비의 운영 효율 및 제품의 수율을 크게 떨어뜨릴 수 있다. 따라서, 이러한 설비의 고장 발생 전에, 이상 여부를 미리 진단하고 기계의 잔여 수명을 예측할 필요가 있다.
- [0008] 일반적으로 기계의 수명을 예측하기 위해서는, 기계의 진동 상태를 모니터링하여 기계 열화의 정도를 파악하고, 모니터링 데이터를 기반으로 잔여 수명을 예측한다. 다만, 상기와 같은 방법은, 모니터링 데이터에 따라 잔여 수명의 정확한 예측이 어려운 문제가 있다.
- [0009] 도 1은 다양한 열화 상태에 대한 열화 트렌드를 나타낸 도면이다.
- [0010] 도 1을 참조하면, 각 열화 상태에 대한 열화 트렌드(Degradation trend) 또는 열화 추이는 시간(time)을 기준으로 건전성 지표(Health index)에 따라 열화 트렌드가 추정된다.
- [0011] 도 1의 (a)에는 양호한 열화 트렌드가 도시되어 있고, 도 1의 (b)에는 잘못된 열화 트렌드가 도시되어 있다.
- [0012] 도 1의 (a)에 도시된 양호한 열화 트렌드에서 하나의 시점에만 대응되는 건전성 지표값이 존재한다. 여기서, 열화 정도는 하나의 열화 상태만 대응된다.
- [0013] 반면, 도 1의 (b)에 도시된 잘못된 열화 트렌드에서 여러 개의 시점별로 각각 대응되는 건전성 지표값이 존재한다. 여기서, 열화 정도는 여러 개의 열화 상태가 대응된다.
- [0014] 도 1에 도시된 바와 같이, 기계 열화 트렌드를 추정하는데 있어서, 올바른 건전성 지표(health index)의 추출과 열화 추이를 잘 반영할 수 있는 건전성 지표의 추이는 중요한 요소이다.
- [0015] 그러나 잘못된 열화 추이는 하나의 열화 정도에 대해 여러 열화 상태가 대응되기 때문에, 정확한 열화 상태가 판단되기 어렵다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0016] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제10-2015-0104459호 (2015년09월15일 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0017] 본 발명의 실시 예들은 입력신호의 각 부대역에 대해 열화 트렌드의 기울기 추정을 통해 열화 트렌드 부분을 추출하고 그 추출된 열화 트렌드 부분을 조합함으로써, 기계의 열화 상태가 최적으로 반영된 열화 트렌드를 정확하게 추정할 수 있는, 기계 열화 추이 추정 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0018] 본 발명의 제1 측면에 따르면, 입력신호의 주파수를 분석하여 복수의 부대역 신호로 분할하는 주파수 분석부;

상기 분할된 부대역 신호로부터 건전성 지표를 추출하여 열화 트렌드를 생성하는 트렌드 생성부; 상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 건전성 지표 중 하향 트렌드를 보정하는 트렌드 보정부; 상기 보정된 하향 트렌드에 대한 기울기를 추정하고, 상기 기울기 추정 결과를 이용하여 각 부대역으로부터 열화 트렌드 부분을 추출하는 트렌드 부분 추출부; 및 상기 추출된 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하여 열화 트렌드를 추정하는 트렌드 추정부;를 포함하는 기계 열화 추이 추정 장치가 제공될 수 있다.

- [0019] 상기 주파수 분석부는, 열화 추이의 추정 대상이 되는 기계로부터 음향 신호, 진동 신호, 전류 신호, 자속 신호, 윤활 신호, 열화상 신호 및 초음파 신호 중 적어도 하나 이상의 입력 신호를 획득할 수 있다.
- [0020] 상기 트렌드 생성부는, 상기 분할된 부대역 신호의 제곱평균제곱근(RMS: root mean square), 크레스트 팩터(crest factor)정보, 비대칭도(skewness)정보, 피크 투 피크(peak-to-peak)값, 임펄스 값(impulse value) 및 평균값(mean)정보 중에서 어느 하나를 건전성 지표로 추출할 수 있다.
- [0021] 상기 트렌드 보정부는, 상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 현재 특징값을 추출하고, 상기 추출된 현재 특징값과 기저장된 부대역 신호의 과거 특징값과 차이를 계산하고, 상기 계산된 특징값 차이를 이용하여 상기 현재 특징값을 보정할 수 있다.
- [0022] 상기 트렌드 보정부는, 상기 계산된 특징값 차이가 음수일 경우, 상기 현재 특징값을 이전 특징값과 동일한 특징값으로 변경하고, 상기 계산된 특징값 차이가 음수가 아닐 경우, 상기 현재 특징값을 유지할 수 있다.
- [0023] 상기 트렌드 부분 추출부는, 열화 트렌드의 초기값을 기설정된 초기값으로 설정하고, 상기 보정된 하향 트렌드에서 이전 시점 및 현재 시점 간의 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 계산하고, 상기 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 이용하여 열화 트렌드 부분의 현재 값을 추출할 수 있다.
- [0024] 상기 트렌드 부분 추출부는, 상기 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기 중에서 특징값의 최대 기울기를 이전 시점에서 추출된 열화 트렌드의 이전 값에 더하여 현재 시점에서의 열화 트렌드의 현재 값을 결정할 수 있다.
- [0025] 한편, 본 발명의 제2 측면에 따르면, 입력신호의 주파수를 분석하여 복수의 부대역 신호로 분할하는 단계; 상기 분할된 부대역 신호로부터 건전성 지표를 추출하여 열화 트렌드를 생성하는 단계; 상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 건전성 지표 중 하향 트렌드를 보정하는 단계; 상기 보정된 하향 트렌드에 대한 기울기를 추정하고, 상기 기울기 추정 결과를 이용하여 각 부대역으로부터 열화 트렌드 부분을 추출하는 단계; 및 상기 추출된 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하여 열화 트렌드를 추정하는 단계;를 포함하는 기계 열화 추이 추정 방법이 제공될 수 있다.
- [0026] 상기 부대역 신호로 분할하는 단계는, 열화 추이의 추정 대상이 되는 기계로부터 음향 신호, 진동 신호, 전류 신호, 자속 신호, 윤활 신호, 열화상 신호 및 초음파 신호 중 적어도 하나 이상의 입력 신호를 획득할 수 있다.
- [0027] 상기 열화 트렌드를 생성하는 단계는, 상기 분할된 부대역 신호의 제곱평균제곱근(RMS: root mean square), 크레스트 팩터(crest factor)정보, 비대칭도(skewness)정보, 피크 투 피크(peak-to-peak)값, 임펄스 값(impulse value) 및 평균값(mean)정보 중에서 어느 하나를 건전성 지표로 추출할 수 있다.
- [0028] 상기 하향 트렌드를 보정하는 단계는, 상기 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 현재 특징값을 추출하는 단계; 상기 추출된 현재 특징값과 기저장된 부대역 신호의 과거 특징값과 차이를 계산하는 단계; 및 상기 계산된 특징값 차이를 이용하여 상기 현재 특징값을 보정하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0029] 상기 현재 특징값을 보정하는 단계는, 상기 계산된 특징값 차이가 음수일 경우, 상기 현재 특징값을 이전 특징값과 동일한 특징값으로 변경하는 단계; 및 상기 계산된 특징값 차이가 음수가 아닐 경우, 상기 현재 특징값을 유지하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0030] 상기 열화 트렌드 부분을 추출하는 단계는, 열화 트렌드의 초기값을 기설정된 초기값으로 설정하는 단계; 상기 보정된 하향 트렌드에서 이전 시점 및 현재 시점 간의 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 계산하는 단계; 및 상기 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 이용하여 열화 트렌드 부분의 현재 값을 추출하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0031] 상기 열화 트렌드 부분의 현재 값을 추출하는 단계는, 상기 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기 중에서 가장 큰 특징값의 기울기를 이전 시점에서 추출된 열화 트렌드의 이전 값에 더하여 현재 시점에서의 열화 트렌드의 현재 값을 결정할 수 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명의 실시 예들은 입력신호의 각 부대역에 대해 열화 트렌드의 기울기 추정을 통해 열화 트렌드 부분을 추출하고 그 추출된 열화 트렌드 부분을 조합함으로써, 기계의 열화 상태가 최적으로 반영된 열화 트렌드를 정확하게 추정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 다양한 열화 상태에 대한 열화 트렌드를 나타내는 도면이다.
 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치의 개요를 나타낸 도면이다.
 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치의 구성도이다.
 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 주파수 분석을 통해 분할된 부대역 신호를 나타낸 도면이다.
 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 방법에 대한 흐름도이다.
 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 방법에 대한 흐름도이다.
 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 방법에서의 기울기 추정 알고리즘을 나타낸 도면이다.
 도 8 및 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 기울기 추정 알고리즘이 적용되어 열화 추이를 추정하는 과정을 나타낸 도면이다.
 도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하는 과정을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 본 발명에 따른 동작 및 작용을 이해하는 데 필요한 부분을 중심으로 상세히 설명한다. 본 발명의 실시 예를 설명하면서, 본 발명이 속하는 기술 분야에 익히 알려졌고 본 발명과 직접적으로 관련이 없는 기술 내용에 대해서는 설명을 생략한다. 이는 불필요한 설명을 생략함으로써 본 발명의 요지를 흐리지 않고 더욱 명확히 전달하기 위함이다.

[0035] 또한, 본 발명의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 동일한 명칭의 구성 요소에 대하여 도면에 따라 다른 참조부호를 부여할 수도 있으며, 서로 다른 도면임에도 동일한 참조부호를 부여할 수도 있다. 그러나 이와 같은 경우라 하더라도 해당 구성 요소가 실시 예에 따라 서로 다른 기능을 갖는다는 것을 의미하거나, 서로 다른 실시 예에서 동일한 기능을 갖는다는 것을 의미하는 것은 아니며, 각각의 구성 요소의 기능은 해당 실시 예에서의 각각의 구성 요소에 대한 설명에 기초하여 판단하여야 할 것이다.

[0036] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치의 개요를 나타낸 도면이다.

[0037] 기계의 열화 상태는 과거보다 좋아질 수 없으며 열화 상태가 악화될 경우 신호의 특정 부대역은 열화의 진행 정도에 대한 정보를 포함하고 있다.

[0038] 따라서, 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치는 각 부대역 신호로부터 추출된 열화 추이에서 열화 상태가 크게 변하는 부분들을 조합하여 최적의 열화 트렌드를 추정한다. 여기서, 열화 상태가 변하는 부분들은 열화의 진행 정도에 대한 정보를 포함하는 각 부대역의 열화 정보를 나타낸다.

[0039] 이를 통해, 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치는 기계의 열화 상태를 잘 반영할 수 있는 열화 추이를 정확하게 추정할 수 있다. 이와 같은 목적을 달성하기 위해서는 열화 추이를 잘 평가할 수 있는 적합한 건전성 평가 지표의 설계가 가장 중요하다.

[0040] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치의 구성도이다.

[0041] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 주파수 분석부(110), 트렌드 생성부(120), 트렌드 보정부(130), 트렌드 부분 추출부(140) 및 트렌드 추정부(150)를 포함한다.

[0042] 이하, 도 3의 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치(100)의 각 구성요소들의 구체적인 구성 및 동작을 설명한다.

[0043] 주파수 분석부(110)는 입력신호의 주파수를 분석하여 복수의 부대역 신호로 분할한다. 여기서, 주파수 분석부

(110)는, 열화 추이의 추정 대상이 되는 기계로부터 음향 신호, 진동 신호, 전류 신호, 자속 신호, 윤활 신호, 열화상 신호 및 초음파 신호 중 적어도 하나 이상의 입력 신호를 획득한다.

- [0044] 트렌드 생성부(120)는 주파수 분석부(110)에서 분할된 부대역 신호로부터 건전성 지표를 추출하여 열화 트렌드를 생성한다. 여기서, 트렌드 생성부(120)는 분할된 부대역 신호의 제곱평균제곱근(RMS: root mean square), 크레스트 팩터(crest factor)정보, 비대칭도(skewness)정보, 피크 투 피크(peak-to-peak)값, 임펄스 값(impulse value) 및 평균값(mean)정보 중에서 어느 하나를 건전성 지표로 추출할 수 있다.
- [0045] 트렌드 보정부(130)는 트렌드 생성부(120)에서 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 건전성 지표 중 하향 트렌드를 보정한다.
- [0046] 트렌드 보정 과정을 구체적으로 살펴보면, 트렌드 보정부(130)는 트렌드 생성부(120)에서 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 현재 특징값을 추출한다. 그리고 트렌드 보정부(130)는 그 추출된 현재 특징값과 기저장된 부대역 신호의 과거 특징값과 차이를 계산한다. 이어서, 트렌드 보정부(130)는 그 계산된 특징값 차이를 이용하여 현재 특징값을 보정한다.
- [0047] 여기서, 트렌드 보정부(130)는, 계산된 특징값 차이가 음수일 경우, 현재 특징값을 이전 특징값과 동일한 특징값으로 변경할 수 있다. 반면, 트렌드 보정부(130)는, 계산된 특징값 차이가 음수가 아닐 경우, 상기 현재 특징값을 유지할 수 있다.
- [0048] 트렌드 부분 추출부(140)는 트렌드 보정부(130)에서 보정된 하향 트렌드에 대한 기울기를 추정하고, 그 기울기 추정 결과를 이용하여 각 부대역으로부터 열화 트렌드 부분을 추출한다.
- [0049] 트렌드 부분 추출 과정을 구체적으로 살펴보면, 트렌드 부분 추출부(140)는 열화 트렌드의 초기값을 기설정된 초기값으로 설정한다. 그리고 트렌드 부분 추출부(140)는 보정된 하향 트렌드에서 이전 시점 및 현재 시점 간의 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 계산한다. 트렌드 부분 추출부(140)는 그 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기를 이용하여 열화 트렌드 부분의 현재 값을 추출한다. 여기서, 트렌드 부분 추출부(140)는, 계산된 각 부대역 신호의 특징값의 기울기 중에서 가장 큰 특징값의 기울기를 이전 시점에서 추출된 열화 트렌드의 이전 값에 더하여 현재 시점에서의 열화 트렌드의 현재 값을 결정할 수 있다.
- [0050] 트렌드 추정부(150)는 트렌드 부분 추출부(140)에서 추출된 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하여 열화 트렌드를 추정한다.
- [0051] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 주파수 분석을 통해 분할된 부대역 신호를 나타낸 도면이다.
- [0052] 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 입력신호의 주파수를 분석하여 복수의 부대역 신호로 분할한다.
- [0053] 일례로, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 이산 웨이블릿 패킷 변환(Discrete wavelet packet transform, DWPT)과 같은 주파수 분석 툴을 통해 신호를 여러 주파수 부대역으로 분할한다. 여기서, 부대역 분할을 위한 주파수 분석 과정은 이산 웨이블릿 패킷 변환 이외에 다른 알고리즘에 의해서도 수행가능하다. 즉, 특정 주파수 분석 알고리즘으로 한정되지 않는다.
- [0054] 또한, 도 4에는 4단계의 이산 웨이블릿 패킷 변환(DWPT)이 적용되어 있다. 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 각 부대역 신호로부터 건전성 지표로 제곱평균제곱근(RMS: root mean square)을 추출한다. 여기서, 건전성 지표는 특정 특징값으로 한정되지 않고, 제곱평균제곱근(RMS: root mean square), 크레스트 팩터(crest factor)정보, 비대칭도(skewness)정보, 피크 투 피크(peak-to-peak)값, 임펄스 값(impulse value) 및 평균값(mean)정보 중에서 어느 하나가 건전성 지표로 추출될 수 있다.
- [0055] 그리고 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 각 부대역으로부터 열화 추이를 계산하여, 하나의 신호에 대해 서로 다른 여러 형태의 열화 추이를 얻을 수 있다.
- [0056] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 방법에 대한 흐름도이다.
- [0057] 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치(100)는, 입력 신호를 입력받는다(S101).
- [0058] 그리고 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 입력신호의 주파수를 분석한다(S102). S102 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 입력신호의 주파수를 분석하여 복수의 부대역 신호로 분할한다. 일례로, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 DWPT 등의 주파수 분해를 통해 입력신호를 여러 부대역으로 분할한다.
- [0059] 그리고 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 건전성 지표를 추출한다(S103).

S103 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 분할된 부대역 신호로부터 건전성 지표를 추출하여 열화 트렌드를 생성한다.

[0060] 이후, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 건전성 지표를 보정한다(S104). S104 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 생성된 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 건전성 지표 중 하향 트렌드를 보정한다. 여기서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 열화 트렌드에서 각 부대역 신호의 현재 특징값을 추출하고, 그 추출된 현재 특징값과 기저장된 부대역 신호의 과거 특징값과 차이를 계산하고, 그 계산된 특징값 차이를 이용하여 현재 특징값을 보정한다.

[0061] 그리고 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 기울기를 추정한다(S105). S105 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 보정된 하향 트렌드에 대한 기울기를 추정하고, 그 기울기 추정 결과를 이용하여 각 부대역으로부터 열화 트렌드 부분을 추출한다. 이어서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 기울기 추정 알고리즘을 적용하여 각 부대역으로부터 최적의 트렌드 부분을 추출한다.

[0062] 그리고 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 열화 트렌드를 추정한다(S106). S106 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 추출된 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하여 열화 트렌드를 추정한다.

[0063] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 방법에 대한 흐름도이다.

[0064] 우선, 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 방법을 설명하기 전에 열화 트렌드에 대해서 살펴보기로 한다. 기계는 항상 정상 상태에서 열화 상태로 전이하기 때문에 별도의 유지보수가 없다면, 건전성 지표는 절대 하향 트렌드를 나타낼 수 없다. 그래서 기계가 열화됨에 따라 건전성 지표는 항상 증가하여야 한다.

[0065] 도 6을 참조하면, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 신호의 특징값 추출한다(S201). S201 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 신호의 특징값(건전성 지표)를 추출한다.

[0066] 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 과거 특징값과 차이를 계산한다(S202). S202 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 바로 이전에 추출한 특징값과 현재 특징값 사이의 차를 하기의 [수학식 1]과 같이 계산한다.

수학식 1

[0067]
$$\Delta x = x(t) - x(t - 1)$$

[0068] 여기서, $x(t)$ 는 현재 특징값, $x(t-1)$ 은 이전 특징값, Δx 는 특징값 차이를 나타낸다.

[0069] 이후, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 S202 단계에서 계산된 차이가 음수인지를 확인한다(S203).

[0070] 상기 확인 결과(S203), 계산된 차이가 음수이면, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 하향 트렌드로 인식하고, 이전 특징값과 동일한 값으로 대체하여 특징값을 보정한다(S204). S204 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 트렌드가 하향일 경우 이전 특징값을 하기의 [수학식 2]와 같이 보정 트렌드에 대입한다. 즉, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 계산된 특징값 차이가 음수일 경우, 현재 특징값을 이전 특징값과 동일한 특징값으로 변경한다.

[0071] 반면, 상기 확인 결과(S203), 계산된 차이가 음수가 아니면, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 현재 특징값을 유지한다(S205). S205 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 트렌드가 상향일 경우 현재 특징값을 하기의 [수학식 2]와 같이 보정 트렌드에 대입한다. 즉, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 계산된 특징값 차이가 음수가 아닐 경우, 현재 특징값을 유지한다.

수학식 2

[0072]
$$\hat{x}(t) = \begin{cases} x(t) & \Delta x \geq 0 \\ x(t - 1) & \Delta x < 0 \end{cases}$$

[0073] 여기서, $\hat{x}(t)$ 는 보정 트렌드, $x(t)$ 는 현재 특징값, $x(t-1)$ 은 이전 특징값, Δx 는 특징값 차이를 나타낸다.

- [0074] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 기계 열화 추이 추정 장치에서 적용되는 기울기 추정 알고리즘을 나타낸 도면이다.
- [0075] 우선, 도 7에서 x 는 원 신호, t 는 시간, s 는 부대역 신호, f 는 건전성 지표, z 는 열화 추이를 나타낸다.
- [0076] 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 각 시점 $t-1$, t , $t+1$ 에 대해 입력 신호 $x(t-1)$, $x(t)$, $x(t+1)$ 를 입력받는다.
- [0077] 그리고 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 각 시점에 대해 주파수 분석을 수행하여 각 부대역 신호로 분할한다. 입력 신호 $x(t-1)$ 에 대한 각 부대역 신호는 $s_1(t-1)$, $\dots$, $s_i(t-1)$, $\dots$, $s_n(t-1)$ 이다. 입력 신호 $x(t)$ 에 대한 각 부대역 신호는 $s_1(t)$, $\dots$, $s_i(t)$, $\dots$, $s_n(t)$ 이다. 입력 신호 $x(t+1)$ 에 대한 각 부대역 신호는 $s_1(t+1)$, $\dots$, $s_i(t+1)$, $\dots$, $s_n(t+1)$ 이다. 여기서, $i=1:n$ 이며, 각 부대역 번호를 나타낸다.
- [0078] 이후, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 기울기 추정 알고리즘을 적용한다.
- [0079] 기울기 추정 알고리즘을 구체적으로 살펴보면, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 각 부대역 신호 $s_i(t-1)$, $s_i(t)$, $s_i(t+1)$ 에 대해 특징값 $f_i(t-1)$, $f_i(t)$, $f_i(t+1)$ 을 추정한다.
- [0080] 그리고 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 $t-1$ 시점 및 t 시점의 특징값 $f_i(t-1)$, $f_i(t)$ 의 특징값 차이 $\Delta f_i(t)$ 즉, 특징값의 기울기를 계산한다. 여기서, $i=1:n$ 이다.
- [0081] 이어서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 계산된 특징값 차이 $\Delta f_i(t)$ 가 가장 큰(max) 특징값 차이 $(\max_i \Delta f_i(t), \max_i \Delta f_i(t+1))$ 를 계산한다.
- [0082] 이후, 일례로 현재 시점인 t 시점의 열화 추이값을 추정하기 위해, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 이전 시점인 $t-1$ 시점의 열화 추이값 $z(t-1)$ 에 계산된 최대 특징값 차이 즉, 특징값의 최대 기울기 $(\max_i \Delta f_i(t))$ 를 더하여 현재 시점인 t 시점의 열화 추이값 $z(t)$ 을 계산한다. 이와 유사하게, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 $t+1$ 시점에서도 열화 추이값 $z(t-1)$ 에 특징값의 최대 기울기 $(\max_i \Delta f_i(t+1))$ 를 더하여 $t+1$ 시점의 열화 추이값 $z(t+1)$ 을 계산한다.
- [0083] 이와 같이, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 모든 t 에 대해 기울기 추정 알고리즘을 적용하여 열화 추이를 계산할 수 있다.
- [0084] 도 8 및 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 기울기 추정 알고리즘이 적용되어 열화 추이를 추정하는 과정을 나타낸 도면이다.
- [0085] 도 8 및 도 9에서는 4단계 DWPT 적용한 예시에 대해서 설명하기로 한다.
- [0086] 도 8에 도시된 바와 같이, S102 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 주파수 분석을 통해 입력 신호 x 를 각 부대역 신호 s_1 , s_2 , s_3 , s_4 로 분할한다.
- [0087] S103 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 각 부대역 신호 s_1 , s_2 , s_3 , s_4 로부터 건전성 지표 f_1 , f_2 , f_3 , f_4 를 추출한다.
- [0088] S105 단계에서, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 각 부대역의 건전성 지표의 기울기 Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 , Δf_4 를 계산하고, 계산된 기울기 중에서 1번째 부대역의 최대 기울기 Δf_1 를 확인한다.
- [0089] 도 9에 도시된 바와 같이, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 열화 트렌드의 초기값을 제로(0)로 설정한다.
- [0090] 그리고 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 $i=1, \dots, n$ 에 대해서 각 부대역 신호들의 특징값의 최대 기울기를 열화 트렌드의 이전 값과 더하여 열화 트렌드의 현재 값을 결정한다.
- [0091] 도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 각 부대역의 열화 트렌드 부분을 조합하는 과정을 나타낸 도면이다.
- [0092] IMS(intermediate shaft) 베어링의 예지 데이터를 이용한 실험 결과가 도 10에 나타나 있다.
- [0093] 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 트렌드 구간별로 최적의 부대역 트렌드 부분을 조합하여 최적의 열화 트렌드

를 추정한다.

[0094] 도 10에 도시된 예시를 참조하면, 기계 열화 추이 추정 장치(100)는 첫 번째 트렌드 구간에서는 5번째 부대역 트렌드 부분, 두 번째 트렌드 구간에서는 4번째 부대역 트렌드 부분, 세 번째 트렌드 구간에서는 1번째 부대역 트렌드 부분을 각각 조합하여 최적의 열화 트렌드를 추정한다.

[0095] 이상에서 설명한 실시 예들은 그 일 예로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0096] 100: 기계 열화 추이 추정 장치

110: 주파수 분석부

120: 트렌드 생성부

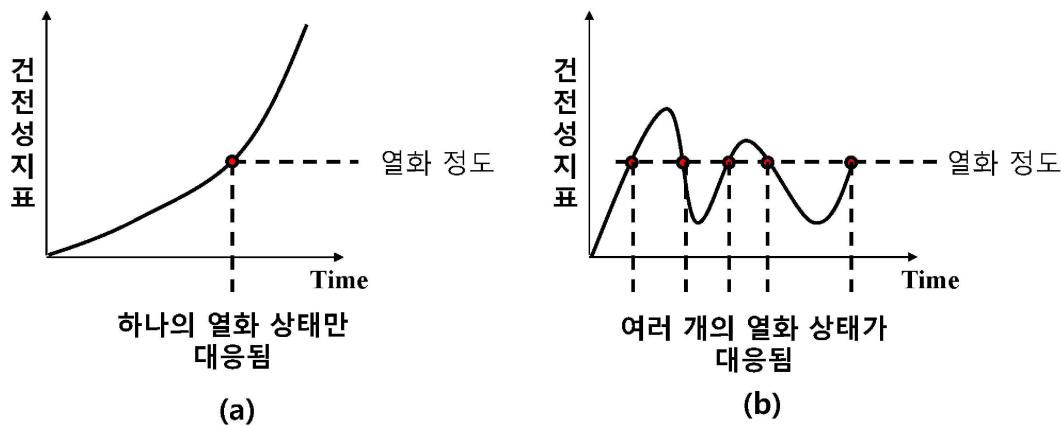
130: 트렌드 보정부

140: 트렌드 부분 추출부

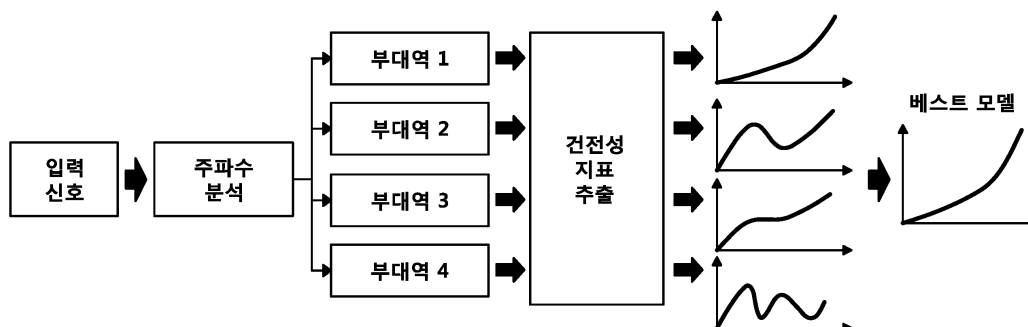
150: 트렌드 추정부

도면

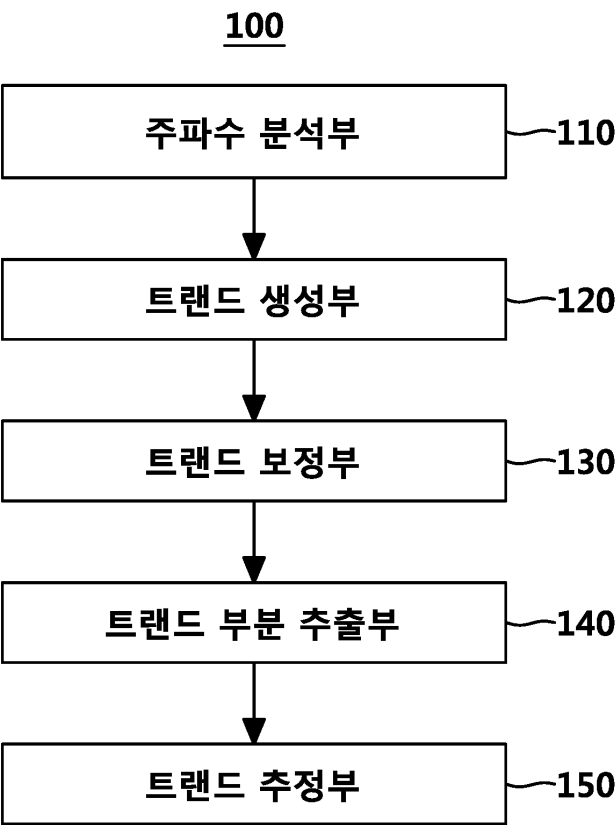
도면1



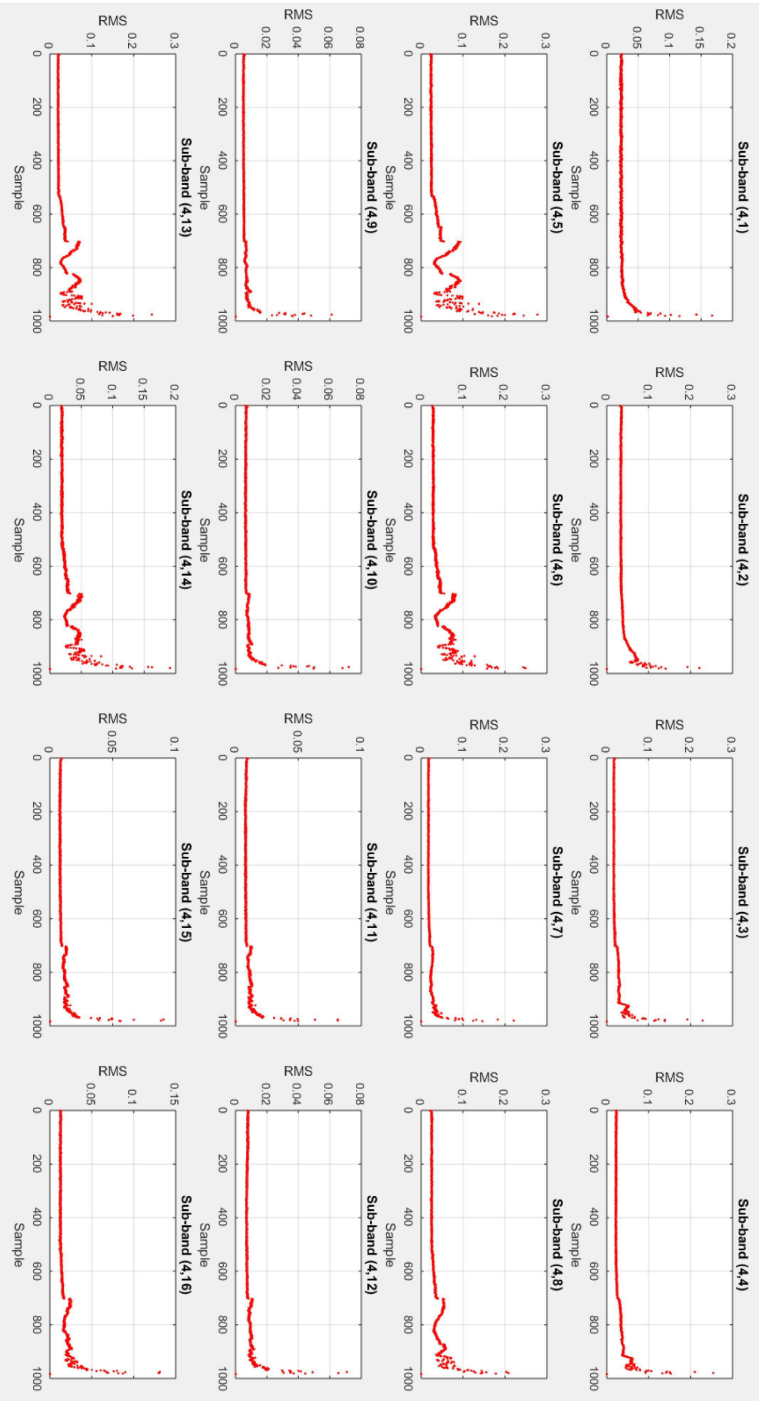
도면2



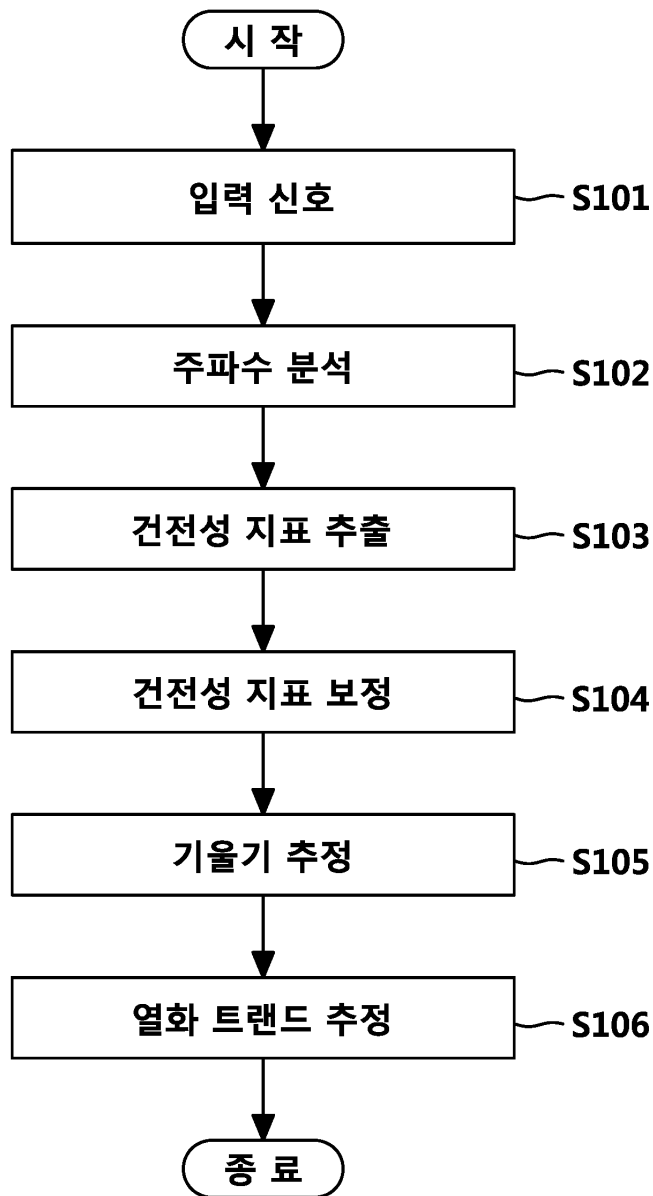
도면3



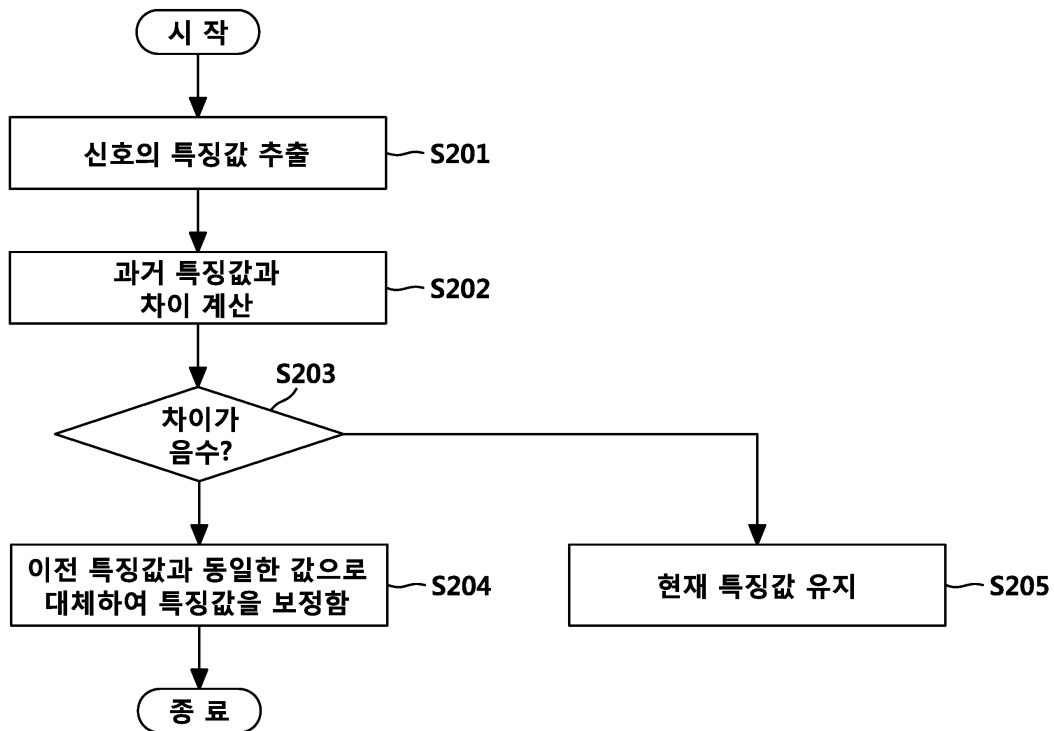
도면4



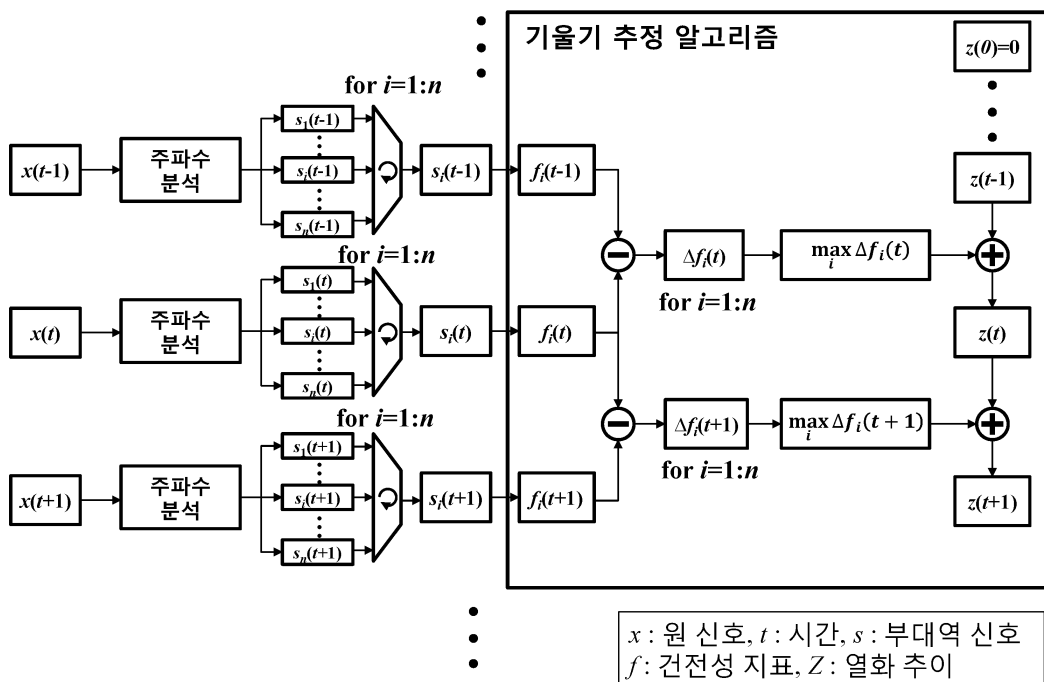
도면5



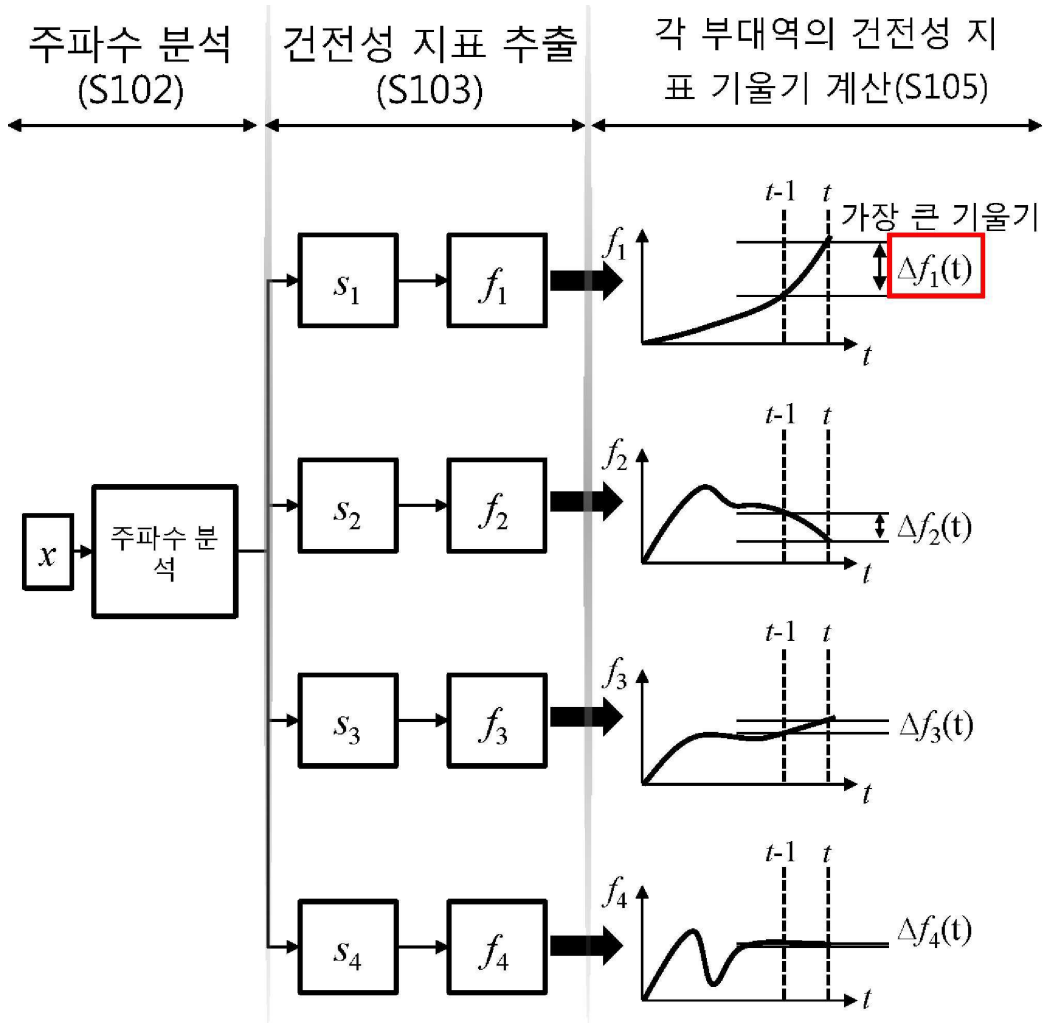
도면6



도면7



도면8

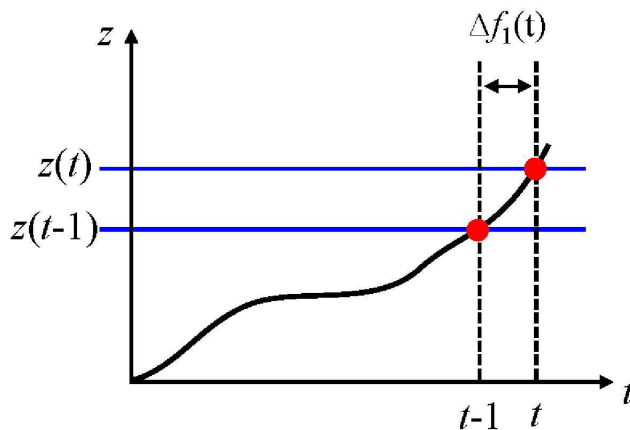


도면9

For $i = 1, \dots, n$

$$z(t) = z(t-1) + \max_i(\Delta f_i(t))$$

$$= z(t-1) + \Delta f_1(t)$$



도면10

