



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년12월12일  
(11) 등록번호 10-1808461  
(24) 등록일자 2017년12월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 3/56 (2006.01) G06F 17/18 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01N 3/56 (2013.01)  
G06F 17/18 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2016-0160758  
(22) 출원일자 2016년11월29일  
심사청구일자 2016년11월29일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020090088127 A\*  
KR1020160053023 A  
박정은, 응력 및 온도 변화시 무기력계수를 이용한  
크리프-피로수명 설계, 대한기계학회논문집A권제3  
5권제2호, 2011.02  
김용한, 6.6kV 선박용 발전기 절연시스템의 열화  
수명 및 내구성 평가 시험 동향, 대한기계학회 춘  
계학술대회논문집, 2017.02  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌  
기술이전 희망 : 기술양도

(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

전체 청구항 수 : 총 14 항

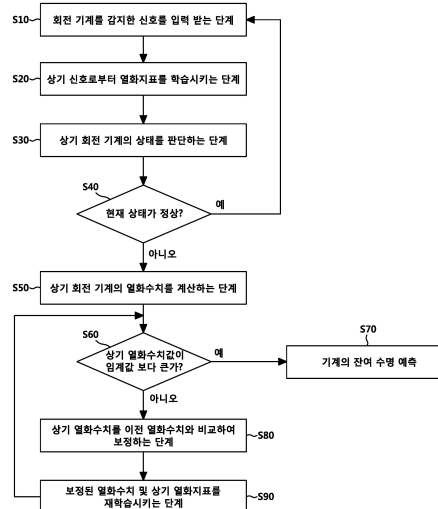
심사관 : 한별

(54) 발명의 명칭 기계의 잔여수명 예측 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 기계의 잔여 수명 예측 방법에 관한 것으로, 더욱 자세하게는 회전 기계를 감지한 신호를 입력 받는 단계, 상기 신호로부터 열화지표를 학습시켜 상기 회전 기계의 상태를 판단하는 단계, 상기 학습된 열화지표로부터 상기 회전 기계의 열화수치를 계산하는 단계, 상기 계산된 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 회전 기계의 고장을 판단하는 단계, 상기 열화수치를 이전 열화수치와 비교하여 보정하는 단계, 및 보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재학습시키는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415145673  
 부처명 산업통상자원부  
 연구관리전문기관 한국에너지기술평가원  
 연구사업명 에너지안전기술개발  
 연구과제명 산업설비 압력용기/탱크 음향방출 진단장비 및 모니터링 시스템 개발  
 기 여 율 4/10  
 주관기관 울산대학교산학협력단  
 연구기간 2016.05.01 ~ 2016.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711040740  
 부처명 미래창조과학부  
 연구관리전문기관 한국연구재단  
 연구사업명 이공계전문기술·연구인력양성  
 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 1425102946  
 부처명 중소기업청  
 연구관리전문기관 중소기업기술정보진흥원  
 연구사업명 산학연협력기술개발  
 연구과제명 배관설비 파이프 모니터링 및 진단 시스템 개발  
 기 여 율 2/10  
 주관기관 울산대학교산학협력단  
 연구기간 2016.05.01 ~ 2017.04.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1425102809  
 부처명 중소기업청  
 연구관리전문기관 중소기업기술정보진흥원  
 연구사업명 창업성장기술개발  
 연구과제명 음향방출 기술을 이용한 발전설비 모니터링 및 진단 시스템 개발  
 기 여 율 1/10  
 주관기관 주식회사 피에이치엠솔루션즈  
 연구기간 2016.07.01 ~ 2017.06.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016-0519  
 부처명 교육부  
 연구관리전문기관 한국연구재단  
 연구사업명 산학협력선도대학육성사업  
 연구과제명 음향방출 기술을 이용하여 자동차 주행 중 허브 베어링 상태 모니터링 및 진단 시스템 개발  
 기 여 율 1/10  
 주관기관 주식회사 피에이치엠솔루션즈  
 연구기간 2016.07.01 ~ 2016.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

회전 기계를 감지한 신호를 입력 받는 단계;

상기 신호로부터 열화지표를 학습시켜 상기 회전 기계의 상태를 판단하는 단계;

상기 학습된 열화지표로부터 상기 회전 기계의 열화수치를 계산하는 단계;

상기 계산된 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 회전 기계의 고장을 판단하는 단계;

상기 열화수치를 이전 열화수치와 비교하여 보정하는 단계; 및

보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재학습시키는 단계;를 포함하고,

상기 보정하는 단계는, 상기 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우 기 설정된 오차범위 이내로 상기 열화수치를 보정하거나, 상기 열화수치를 이전 열화수치와 동일한 값으로 변경하여 보정하는 기계의 잔여 수명을 예측하는 기계 잔여 수명 예측 방법.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 열화지표는,

실효값(RMS)정보, 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 하나인 것을 특징으로 하는 기계의 잔여 수명 예측 방법.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 회전 기계의 상태를 판단하는 단계는,

상기 회전 기계의 열화지표를 기반으로 미리 학습된 분류기에 상기 열화지표를 입력하여 기계의 결함 여부를 진단하는 기계의 잔여 수명 예측 방법.

#### 청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 미리 학습된 분류기는 지원 벡터 머신(SVM: support vector machine)분류기 또는 나이브 베이즈 분류기(naive Bayes classifier)인 기계의 잔여 수명 예측 방법.

#### 청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 열화수치를 계산하는 단계에서는,

상기 회전 기계의 과거 이력 데이터의 상관관계를 분석하여, 상기 열화지표 중 열화수치가 비례하여 증가하는

열화지표를 선택하여 상기 열화수치를 계산하는 는 기계의 잔여 수명 예측 방법.

#### 청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 회전 기계의 고장을 판단하는 단계는,

상기 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 열화수치가 임계값보다 큰 경우 고장으로 판단하여 기계의 잔여 수명을 예측하고, 상기 임계값보다 작은 경우 상기 열화수치를 보정하는 기계 잔여 수명 예측 방법.

#### 청구항 7

삭제

#### 청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재학습시키는 단계는,

상기 보정된 열화수치를 미리 학습된 인공신경망 기반의 회귀모델에 입력하여 다음 열화수치를 추정하는 기계 잔여 수명 예측 방법.

#### 청구항 9

회전 기계를 감지한 신호를 입력 받는 입력부;

상기 신호로부터 열화지표를 학습시켜 상기 회전 기계의 상태를 판단하는 상태 판단부;

상기 학습된 열화지표로부터 상기 회전 기계의 열화수치를 계산하는 계산부;

상기 계산된 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 회전 기계의 고장을 판단하는 고장 판단부;

상기 열화수치를 이전 열화수치와 비교하여 보정하는 보정부;

보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재학습시키는 재학습부;를 포함하고,

상기 보정부는, 상기 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우 기 설정된 오차범위 이내로 상기 열화수치를 보정하거나, 상기 열화수치를 이전 열화수치와 동일한 값으로 변경하여 보정하는 기계 잔여 수명 예측 장치.

#### 청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 열화지표는,

실효값(RMS)정보, 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 하나인 것을 특징으로 하는 기계의 잔여 수명 예측 장치.

#### 청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 상태 판단부는,

상기 회전 기계의 열화지표를 기반으로 미리 학습된 분류기에 상기 열화지표를 입력하여 기계의 결함 여부를 진단하는 기계의 잔여 수명 예측 장치.

## 청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 미리 학습된 분류기는,

지원 벡터 머신(SVM: support vector machine)분류기 또는 나이브 베이즈 분류기(naive Bayes classifier)인 기계의 잔여 수명 예측 장치.

## 청구항 13

제 9항에 있어서,

상기 계산부는,

상기 회전 기계의 과거 이력 데이터의 상관관계를 분석하여, 상기 열화지표 중 열화수치가 비례하여 증가하는 열화지표를 선택하여 상기 열화수치를 계산하는 기계의 잔여 수명 예측 장치.

## 청구항 14

제 9항에 있어서,

상기 고장 판단부는,

상기 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 열화수치가 임계값보다 큰 경우, 고장으로 판단하여 기계의 잔여 수명을 예측하고, 상기 임계값보다 작은 경우 상기 열화수치를 보정하는 기계 잔여 수명 예측 장치.

## 청구항 15

삭제

## 청구항 16

제 9항에 있어서,

상기 재학습부는,

상기 보정된 열화수치를 미리 학습된 인공신경망 기반의 회귀모델에 입력하여 다음 열화수치를 추정하는 기계 잔여 수명 예측 장치.

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명은 기계의 잔여수명 예측 방법 및 장치에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0003] 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 예측 할 필요가 있다. 일반적으로 기계의 수명을 예측하기 위해서는, 기계의 진동 상태를 모니터링하여 기계 열화의 정도를 파악하고, 상기 모니터링 데이터를 기반으로 잔여 수명을 예측한다. 다만, 상기와 같은 방법은, 모니터링 데이터에 따라 잔여수명의 정확한 예측이 어려운 문제가 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 중간수준의 결함(medium fault)에서는

열화수치의 변화가 없어 잔여 수명의 예측이 어렵다. 또한, 심각한 수준의 결함(severe fault)에서는 열화수치가 불안정하여 기계의 잔여 수명 예측이 어려운 문제가 있다

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 10-2015-0104459호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 발명은 기계의 입력신호로부터 열화지표를 추출하여 열화수치를 보정함으로써 기계의 잔여 수명을 예측하는 방법을 제공함에 목적이 있다.

[0007] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 발명은 기계의 입력신호로부터 열화지표를 추출하여 열화수치를 보정함으로써 기계의 잔여 수명을 예측하는 장치를 제공함에 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명에서 제안하는 기계의 잔여수명 예측 방법은,

[0010] 회전 기계를 감지한 신호를 입력 받는 단계, 상기 신호로부터 열화지표를 학습시켜 상기 회전 기계의 상태를 판단하는 단계, 상기 학습된 열화지표로부터 상기 회전 기계의 열화수치를 계산하는 단계, 상기 계산된 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 회전 기계의 고장을 판단하는 단계, 상기 열화수치를 이전 열화수치와 비교하여 보정하는 단계; 및 보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재학습시키는 단계;를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 열화지표는 실효값(RMS)정보, 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 하나일 수 있다.

[0012] 상기 회전 기계의 상태를 판단하는 단계는, 상기 회전 기계의 열화지표를 기반으로 미리 학습된 분류기에 상기 열화지표를 입력하여 기계의 결함 여부를 진단할 수 있다.

[0013] 상기 분류기는 지원 벡터 머신(SVM: support vector machine)분류 모델 또는 나이브 베이즈 분류기(naive Bayes classifier)를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 열화수치를 계산하는 단계에서는,

[0015] 상기 회전 기계의 과거 이력 데이터의 상관관계를 분석하여, 상기 열화지표 중 열화수치가 비례하여 증가하는 열화지표를 선택하여 상기 열화수치를 계산할 수 있다.

[0016] 상기 회전 기계의 고장을 판단하는 단계는, 상기 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 열화수치가 임계값보다 큰 경우 고장으로 판단하여 기계의 잔여 수명을 예측하고, 상기 임계값보다 작은 경우 상기 열화수치를 보정할 수 있다.

[0017] 상기 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우 기 설정된 오차범위 이내로 보정하거나, 이전 열화수치와 동일하게 보정할 수 있다.

[0018] 보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재학습시키는 단계는, 상기 보정된 열화수치를 미리 학습된 인공신경망 기반의 회귀모델에 입력하여 다음 열화수치를 추정할 수 있다.

[0020] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 기계의 잔여수명 예측 장치는, 회전 기계를 감지한 신호를 입력 받는 입력부; 상기 신호로부터 열화지표를 학습시켜 상기 회전 기계의 상태를 판단하는 상태 판단부; 상기 학습된 열화지표로부터 상기 회전 기계의 열화수치를 계산하는 계산부; 상기 계산된 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 회전 기계의 고장을 판단하는 고장 판단부; 상기 열화수치를 이전 열화수치와 비교하여 보정하는 보정부; 및 보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재학습시키는 재학습부;를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 열화지표는 실효값(RMS)정보, 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 하나일 수 있다.

- [0022] 상기 상태 판단부는, 상기 회전 기계의 열화지표를 기반으로 미리 학습된 분류기에 상기 열화지표를 입력하여 기계의 결함 여부를 진단할 수 있다.
- [0023] 상기 미리 학습된 분류기는, 지원 벡터 머신(SVM: support vector machine)분류기 또는 나이브 베이즈 분류기(naive Bayes classifier)일 수 있다.
- [0024] 상기 계산부는, 상기 회전 기계의 과거 이력 데이터의 상관관계를 분석하여, 상기 열화지표 중 열화수치가 비례하여 증가하는 열화지표를 선택하여 상기 열화수치를 계산할 수 있다.
- [0025] 상기 고장 판단부는, 상기 열화수치를 임계값과 비교하여 상기 열화수치가 임계값보다 큰 경우 고장으로 판단하여 기계의 잔여 수명을 예측하고, 상기 임계값보다 작은 경우 상기 열화수치를 보정할 수 있다.
- [0026] 상기 보정부는, 상기 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우 기 설정된 오차범위 이내로 보정하거나, 이전 열화수치와 동일하게 보정할 수 있다.
- [0027] 상기 재학습부는, 상기 보정된 열화수치를 미리 학습된 인공신경망 기반의 회귀모델에 입력하여 다음 열화수치를 추정할 수 있다.

### 발명의 효과

- [0029] 본 발명에 따른 기계의 잔여수명 예측 방법 및 장치에 의하면, 결함 정도를 정확히 예측하기 어려운 상황 또는 결함 정도가 심할 경우에도 기계의 잔여 수명을 정확히 예측할 수 있는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 기계의 잔여수명 예측 방법을 나타내는 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 결함 정도에 따른 열화수치의 변화를 나타내는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 열화지표 특징들의 예시를 나타내는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 열화의 정도가 잘 나타나는 열화지표를 선정하는 예시를 나타내는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 열화수치 보정 결과를 도시한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 기계의 잔여수명 예측 장치의 구성도이다.
- 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 잔여 수명을 추정하는 예시를 나타내는 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 이하, 본 발명의 일부 실시 예들을 예시적인 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가질 수 있다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 수 있다.
- [0033] 또한, 이상에서 기재된 "포함하다", "구성하다" 또는 "가지다" 등의 용어는, 특별히 반대되는 기재가 없는 한, 해당 구성 요소가 내재될 수 있음을 의미하는 것이므로, 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 기술적이거나 과학적인 용어를 포함한 모든 용어들은, 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어와 같이 일반적으로 사용되는 용어들은 관련 기술의 문맥 상의 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0035] 이하, 본 발명에 대하여 첨부된 도면을 참고하여 보다 상세히 설명한다.
- [0036] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 기계의 잔여수명 예측 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [0037] 도 1에 도시된 바와 같이, 기계의 잔여수명 예측 방법은 회전 기계를 감지한 신호를 입력 받는 단계(S10), 상기 신호로부터 열화지표를 학습시키는 단계(S20), 상기 회전 기계의 상태를 판단하는 단계(S30), 회전 기계의 현재

상태가 정상인지를 판단하는 단계(S40), 상기 회전 기계의 열화수치를 계산하는 단계(S50), 상기 열화수치가 임계값보다 큰 값인지의 여부를 판단하는 단계(S60), 기계의 잔여 수명을 예측하는 단계(S70), 상기 열화수치를 이전 열화수치와 비교하여 보정하는 단계(S80) 및 보정된 열화수치 및 상기 결함정보를 재 학습 시키는 단계(S90)를 포함하여 구성될 수 있다.

- [0038] 먼저, 회전 기계를 감지한 신호를 입력 받는 단계인 (S10)에서는 회전 기계의 신호를 감지하기 위해 진동센서가 제공될 수 있다. 이때, 기계 신호를 감지할 수 있는 센서는 모두 가능하며, 진동센서에 한정하지는 않는다. 상기 진동센서는 시간영역 데이터 및 주파수 영역 데이터를 모두 포함하여 감지할 수 있다.
- [0039] 시간영역 데이터는 시간의 변화에 따른 진동 데이터를 의미하고, 주파수 영역 데이터는 주파수의 변화에 따른 진동 데이터를 의미한다.
- [0040] 따라서 진동센서가 회전 기계를 감지하면, 상기 감지한 신호를 바탕으로 열화지표를 생성할 수 있다. 이때 열화지표는 예를 들어 진동량에 대한 평균값, 실효값(root mean square; RMS), 크레스트 팩터(crest factor), 비대칭도(skewness), 첨도(Kurtosis) 또는 확률밀도함수(probability density function; PDF)를 포함할 수 있다. 크레스트 팩터(crest factor)는 주어진 시간 간격 내에서 데이터의 피크값을 그 실효치로 나눈 값을 의미하고, 용기 인자로 불리기도 한다. 비대칭도(skewness)는 데이터의 도수분포에서 평균값에 관한 비대칭의 방향과 그 정도를 나타낼 수 있다. 첨도(Kurtosis)는 데이터 분포의 뾰족한 정도를 나타낼 수 있다.
- [0041] 또한 주파수영역과 관련된 열화지표로는, 피크 레벨 또는 전체 피크 레벨을 포함할 수 있다. 주파수 스펙트럼도 포함될 수 있다. 이는, 시간에 따른 진동량을 일정 시간에 대하여 고속 푸리에 변환(fast Fourier transformation)하여 구할 수 있다. 부가적으로, 주파수영역 데이터의 신뢰성을 높이기 위해서 주파수 스펙트럼은 필터링 과정을 거칠 수 있다. 밴드 패스 필터(band pass filtering)를 이용하면 특정 주파수 구간의 데이터만을 구할 수 있다.
- [0043] 상기 열화지표가 생성되면, 상기 열화지표를 분류기에 미리 학습된 분류기에 입력하여 학습시키는 단계를 수행한다.(S20) 이때, 상기 분류기는 지원 벡터 머신(SVM: support vector machine)분류 모델 또는 나이브 베이즈 분류기(naive Bayes classifier)이며, 이에 한정하지는 않는다.
- [0044] 상기 열화지표를 미리 학습된 분류기에 학습시키고, 상기 열화지표를 입력하여 기계의 현재 상태를 판단하는 단계를 수행한다.(S30) 이때 기계의 상태는 열화 상태(정상 또는 결함)을 판단하는 것을 의미한다. 이후 현재 상태가 정상인 것으로 판단되는 경우(S40)에는 회전 기계를 감지한 신호를 입력 받는 단계인 S10 단계를 다시 수행하게 된다. 하지만, 현재 상태가 정상이 아닌 것으로 판단되는 경우, 상기 회전 기계의 열화수치를 계산하는 단계(S50)을 수행한다.
- [0045] 이때 상기 열화수치를 계산하기 위하여, 상기 회전 기계의 과거 이력 데이터의 상관관계를 분석하여, 상기 열화지표 중 기계의 열화의 정도를 잘 나타낼 수 있는 열화지표를 선택하여 열화수치를 계산하게 된다.(S50)
- [0046] 이후, 계산된 열화수치가 임계값보다 큰가의 여부를 판단하게 된다(S60).
- [0047] 상기 임계값은 기계의 고장 임계값에 관한 것으로, 사용자에게 의해 미리 설정될 수 있다. 이때, 상기 열화수치가 임계값보다 큰 경우에는 기계의 잔여수명을 예측하는 단계(S70)를 수행하게 되고, 상기 열화수치가 임계값보다 작을 경우 상기 열화수치를 이전 열화수치와 비교하여 보정하는 단계를 수행하게 된다.(S80)
- [0048] 본 제안기술은 열화 현상은 악화될 수 없다는 점을 이용하여, 열화수치를 보정한다. 만약, 현재 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우, 현재 열화수치를 이전 열화수치와 동일한 값으로 변경하여 보정한다. 본 발명에 있어서 다른 실시 예로는, 현재 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우, 미리 설정된 오차 범위 내에서 현재 열화수치를 보정할 수 있다.
- [0049] 이후, 상기 보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재 학습 시키는 단계를 수행한다.(S90) 이는, 과거 이력 데이터를 통해 인공지능망 기반의 회귀모델을 학습시키고, 새롭게 보정된 열화수치, 열화지표를 재 학습시키는 것을 의미한다. 그리고 다음 회귀 값을 추정하고, 다음 열화지표를 추정하여 S60단계를 다시 수행하게 된다.
- [0050] 상기와 같이 본 제안발명은 열화수치를 보정함으로써, 기계의 잔여 수명을 정확하게 예측할 수 있는 효과가 있다.
- [0052] 도 2는 결함 정도에 따른 열화수치의 변화를 나타내는 도면이다.
- [0053] 도 2에 도시된 바와 같이, 중간수준의 결함(medium fault)에서는 열화수치의 변화가 없어 잔여 수명의 예측이

어렵다. 또한, 심각한 수준의 결함(severe fault)에서는 열화수치가 불안정하여 기계의 잔여 수명 예측이 어려운 문제가 있다. 따라서 본 제안기술에서 제안한 방법인 열화수치를 보정함으로써, 상기와 같은 경우에도 정확하게 기계의 잔여 수명을 예측할 수 있는 효과가 있다.

- [0055] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 열화지표 특징들의 예시를 나타내는 도면이다.
- [0056] 열화지표는 진동량에 대한 평균값, 실효값(root mean square; RMS), 크레스트 팩터(crest factor), 비대칭도(skewness), 첨도(Kurtosis) 또는 확률밀도함수(probability density function; PDF), 또는 임펄스 요소(impulse factor) 등이 포함될 수 있다.
- [0057] 또한, 도3에 도시된 바와 같이, 상기 열화지표들의 분포를 통해 정상 상태(healthy state), 초기 열화(incipient fault), 열화 진행(progreessing fault), 높은 수준의 열화(severe fault)로 판단이 가능하다.
- [0058] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 열화의 정도가 잘 나타나는 열화지표를 선정하는 예시를 나타내는 도면이다.
- [0059] 도 4에는, 실효값(root mean square; RMS), 크레스트 팩터(crest factor), 평균값(mean value), 비대칭도(skewness) 및 크레스트 팩터(crest factor)가 도시되어 있다. 다만, 상기 열화지표는 예시일 뿐이며, 상기 도시된 열화지표에 한정하지 않는다.
- [0060] 도 4에 도시된 바에 따르면, 상기 4가지 종류의 열화지표 중, 실효값(root mean square; RMS)의 경우 열화가 진행됨에 따라 열화지표가 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 상기 실효값(root mean square; RMS)가 기계의 열화 상태를 가장 잘 나타낼 수 있는 지표임을 알 수 있으며, S50 단계에서는 이와 같이 열화지표를 선정하게 된다.
- [0062] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 열화수치 보정 결과를 도시한 도면이다.
- [0063] 도 5의 a는 기계의 열화가 심하여 열화수치가 불안정한 경우를 나타내는 도면이다. 도 5의 b는 현재 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우, 현재 열화수치를 이전 열화수치와 동일한 값으로 변경하여 보정하거나, 또는 현재 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우, 미리 설정된 오차 범위 내에서 현재 열화지표를 보정함으로써 얻어지는 그래프이다.
- [0065] 도 6은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 기계의 잔여 수명 예측 장치의 구성도이다.
- [0066] 도 6에 도시된 바와 같이, 기계의 잔여 수명 예측 장치는 센싱부(100), 제어부(200) 및 출력부(300)를 포함할 수 있으며, 상기 제어부(200)는 상태 판단부(210), 계산부(220), 고장 판단부(230), 보정부(240) 및 재학습부(250)를 포함하여 구성된다.
- [0067] 먼저, 센싱부(100)는 회전 기계의 신호를 감지한다. 이때 사용되는 센서는 진동센서가 제공되며, 이에 한정하지는 않는다. 예를 들어 진동 센서는 변위형 센서이거나 속도계 센서일 수 있다.
- [0068] 또한, 본 제안 발명인 기계 잔여 수명 예측 장치는(1) 입력부(미도시)를 더 포함할 수 있다. 이때 입력부(미도시)는 사용자와 제어부(200) 사이에 데이터 전송을 위해서 제공될 수 있다. 예를 들어 입력부(미도시)는 회전 기계의 정보 및 진단 조건을 입력하기 위해 사용될 수 있다.
- [0069] 제어부(200)는 센싱부(100)에서 센싱한 신호를 입력 받아 적절하게 처리함으로써, 회전 기계의 잔여 수명을 예측하는 기능을 수행한다.
- [0070] 출력부(300)는 제어부(200)로부터 기계 잔여 수명 예측 결과를 제공 받아 출력하는 데 이용될 수 있다.
- [0071] 또한, 저장부(미도시)가 더 포함될 수 있다. 상기 저장부(미도시)는 상기 센서가 감지한 신호 및 누적 결함 데이터 및 진단 결과를 저장하는 데 이용될 수 있다.
- [0072] 제어부(200)가 이때, 상기 진동센서는 시간영역 데이터 및 주파수 영역 데이터를 모두 포함하여 감지할 수 있다.
- [0073] 시간영역 데이터는 시간의 변화에 따른 진동 데이터를 의미하고, 주파수 영역 데이터는 주파수의 변화에 따른 진동 데이터를 의미한다.
- [0074] 상태 판단부(210)는 상기 진동센서가 회전 기계를 감지한 신호를 입력받아 열화지표를 생성할 수 있다. 이때 열화지표는 예를 들어 진동량에 대한 평균값, 실효값(root mean square; RMS), 크레스트 팩터(crest factor), 비대칭도(skewness), 첨도(Kurtosis) 또는 확률밀도함수(probability density function; PDF)를 포함할 수

있다. 크레스트 팩터(crest factor)는 주어진 시간 간격 내에서 데이터의 피크값을 그 실효치로 나눈 값을 의미하고, 용기 인자로 불리기도 한다. 비대칭도(skewness)는 데이터의 도수분포에서 평균값에 관한 비대칭의 방향과 그 정도를 나타낼 수 있다. 첨도(Kurtosis)는 데이터 분포의 뾰족한 정도를 나타낼 수 있다.

[0075] 주파수영역 데이터는 데이터의 주기성에 관한 것들로서, 예를 들어 주파수 스펙트럼에서 1차 피크 레벨 또는 전체 피크 레벨을 포함할 수 있다. 주파수 스펙트럼은 시간에 따른 진동량을 일정 시간에 대하여 고속 푸리에 변환(fast Fourier transformation)하여 구할 수 있다. 부가적으로, 주파수영역 데이터의 신뢰성을 높이기 위해서 주파수 스펙트럼은 필터링 과정을 거칠 수 있다. 밴드 패스 필터(band pass filtering)를 이용하면 특정 주파수 구간의 데이터만을 구할 수 있다.

[0077] 제어부(200)는 상기 열화지표를 생성한 후, 상태 판단부(210)에서 상기 열화지표를 미리 학습된 분류기에 입력하여 학습시키도록 제어한다. 이때, 상기 분류기는 지원 벡터 머신(SVM: support vector machine)분류기 또는 나이브 베이즈 분류기(naive Bayes classifier)이며, 이에 한정하지는 않는다.

[0078] 제어부(200)는 상태 판단부(210)에서 학습시킨 분류기에, 상기 열화지표를 입력하여 기계의 현재 상태를 판단한다. 이때 상기 기계의 현재 상태는 열화 상태를 판단하는 것으로, 즉, 정상 또는 결함을 판단하는 것을 의미한다. 이후 제어부(200)는 현재 상태가 정상인 것으로 판단되는 경우 입력부(100)를 통해 회전 기계의 신호를 감지하도록 제어한다. 만약, 현재 상태가 정상이 아닌 것으로 판단되는 경우, 제어부(200)는 계산부(220)를 통해 상기 회전 기계의 열화수치를 계산하도록 제어한다.

[0079] 이때 제어부(200)는 상기 열화수치를 계산하기 위하여, 상기 회전 기계의 과거 이력 데이터의 상관관계를 분석하여, 상기 열화지표 중 기계의 열화의 정도를 잘 나타낼 수 있는 열화지표를 선택하여 열화수치를 계산한다.

[0080] 이후 고장 판단부(230) 계산된 열화수치가 임계값보다 큰가의 여부를 판단한다.

[0081] 상기 임계값은 기계의 고장 임계값에 관한 것으로, 사용자에게 의해 미리 설정될 수 있다. 상기 열화수치가 임계값보다 큰 경우, 제어부(200)는 기계의 잔여수명을 예측하고, 상기 열화수치가 임계값보다 작을 경우 제어부(200)는 상기 열화수치를 이전 열화수치와 비교하여 보정하도록 보정부(240)를 제어한다.

[0082] 이때 보정부(240)는 열화 현상은 악화될 수 없다는 점을 이용하여, 열화수치를 보정한다. 만약, 현재 열화수치가 이전 열화수치보다 작을 경우, 현재 열화수치를 이전 열화수치와 동일한 값으로 변경하여 보정한다. 본 발명에 있어서 다른 실시 예로는, 보정부(240)는 현재 열화지표 값이 이전 열화수치보다 작을 경우, 미리 설정된 오차 범위 내에서 현재 열화수치를 보정할 수 있다.

[0083] 이후, 제어부(200)는 상기 보정된 열화수치 및 상기 열화지표를 재 학습 시키도록 재학습부(250)를 제어한다. 이때, 재학습부(250)는 과거 이력 데이터를 통해 인공신경망 기반의 회귀모델을 학습시키고, 새롭게 보정된 열화수치, 열화지표를 재 학습시킨다. 이후, 다음 열화지표 다음 회귀 값을 추정한다.

[0084] 상기 제어부(200)는 상기 재학습부(250)에서 새롭게 보정된 열화수치 및 열화지표를 임계값과 다시 비교한다.

[0085] 상기과 같이 본 제안발명은 열화수치를 보정함으로써, 기계의 잔여 수명을 정확하게 예측할 수 있는 효과가 있다.

[0086] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 잔여 수명을 추정하는 예시를 나타내는 도면이다.

[0087] 도 7은 도시된 그래프는 기계의 열화의 정도를 나타내는 그래프이며, 그래프의 y축은 열화수치를 나타내고, x축은 시간을 나타낸다. 본 발명에서는 잔여 수명을 추정하기 위하여 시작 열화수치와 마지막 열화수치의 시간 간격을 계산하여 기계의 잔여 수명을 추정하게 된다.

[0089] 이상, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 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 실시 예들에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

[0090] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 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 발명

의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

**부호의 설명**

[0092]

100 : 센싱부

200 : 제어부

210 : 상태 판단부

220 : 계산부

230 : 고장 판단부

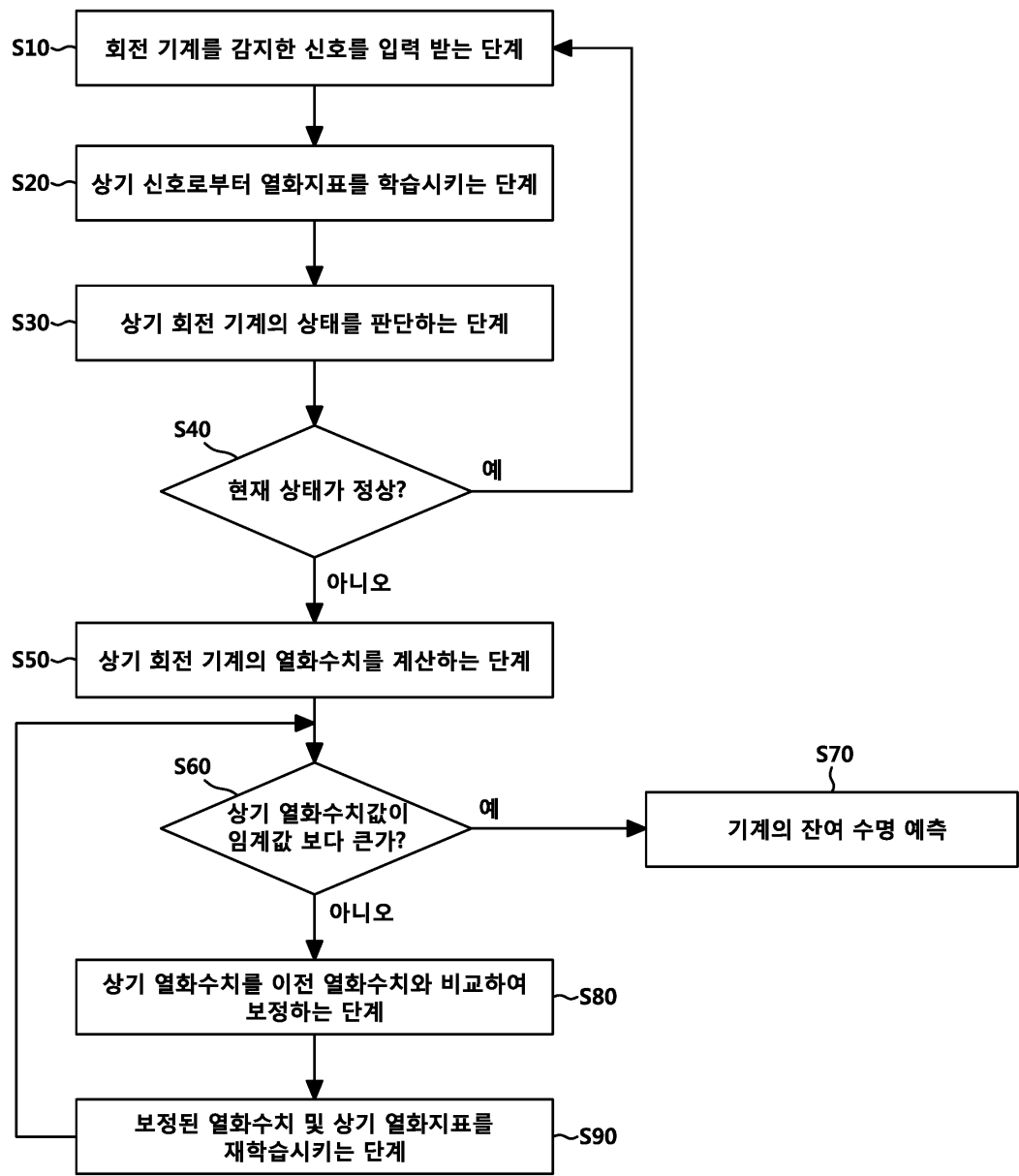
240 : 보정부

250 : 재학습부

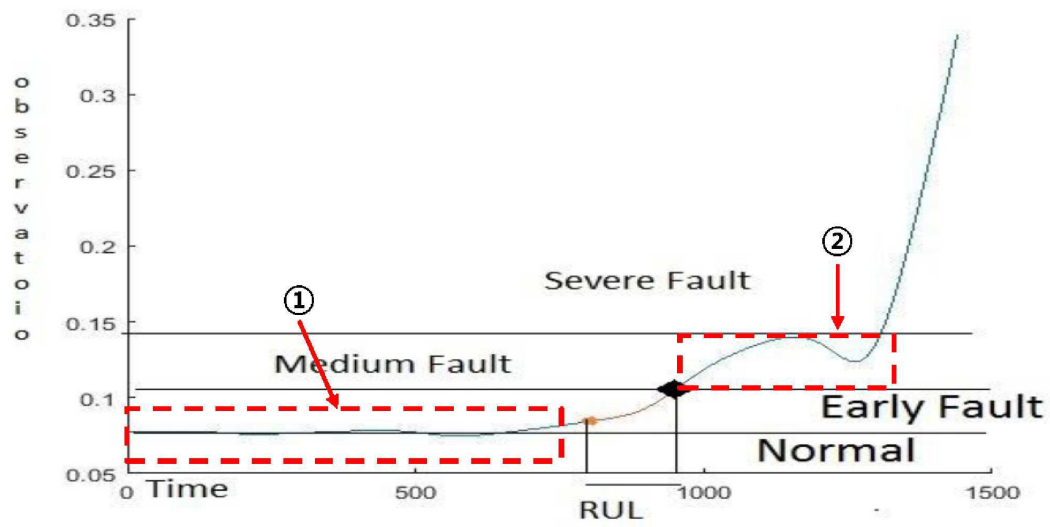
300 : 출력부

도면

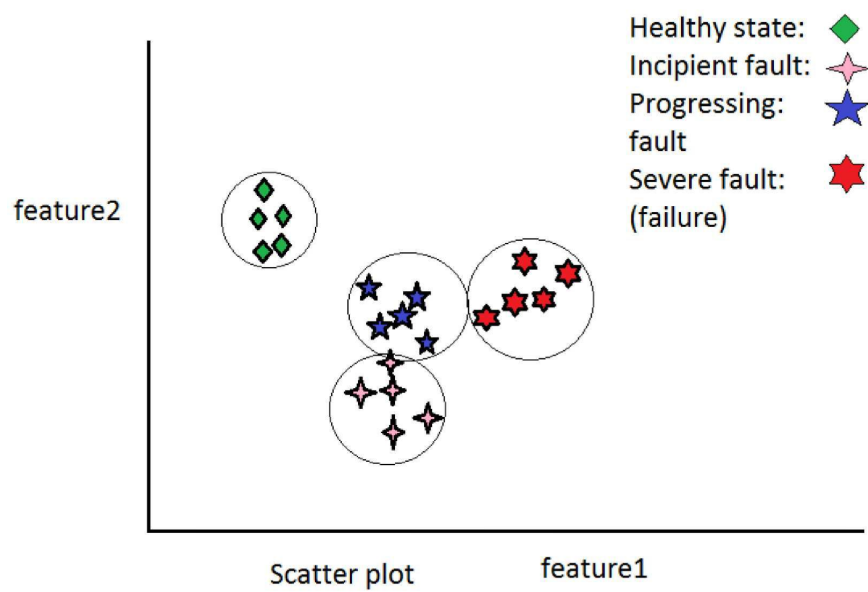
도면1



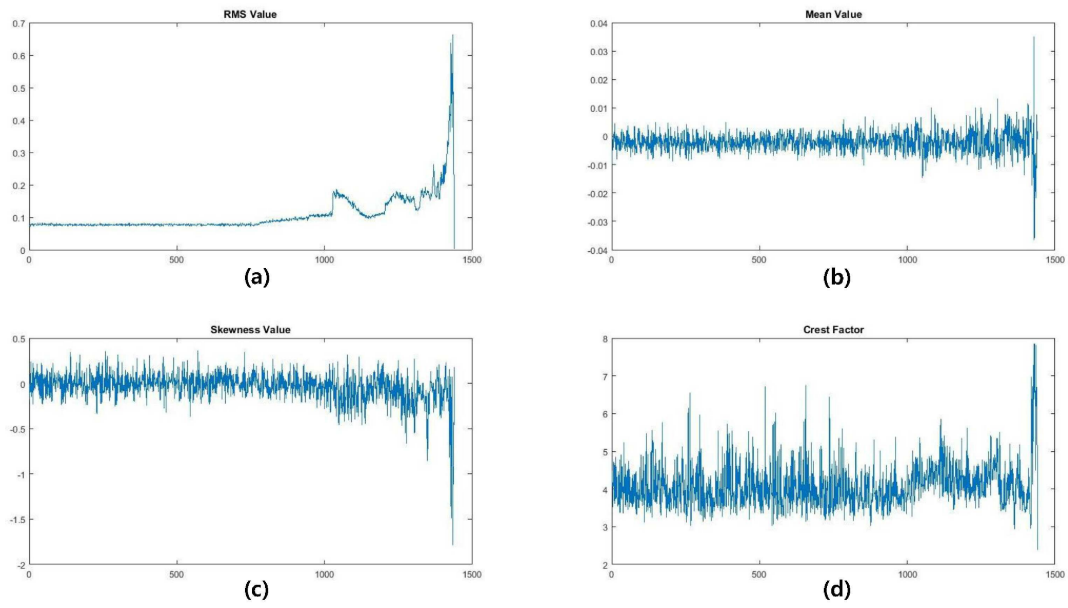
도면2



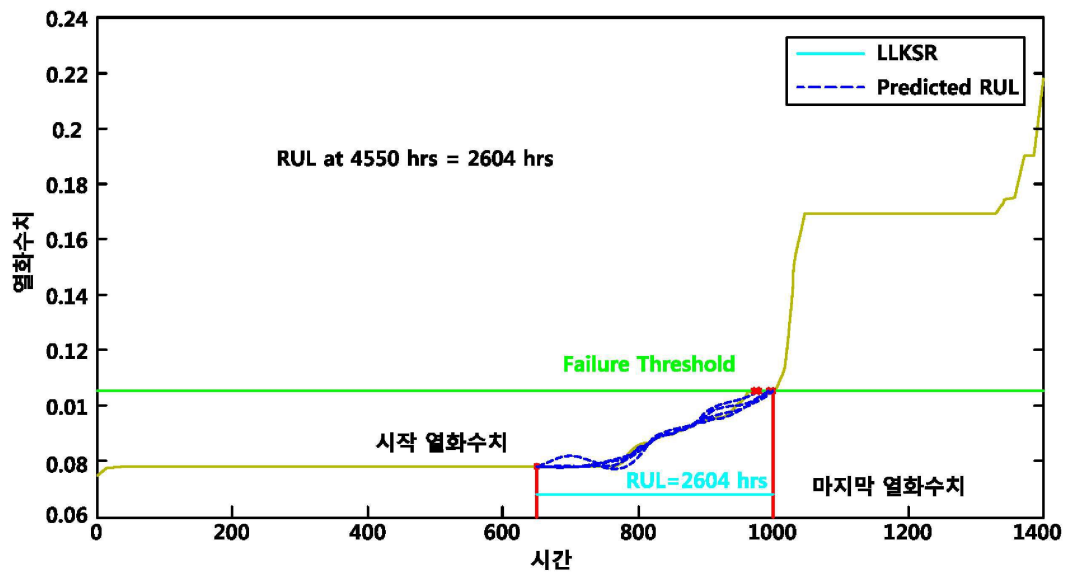
도면3



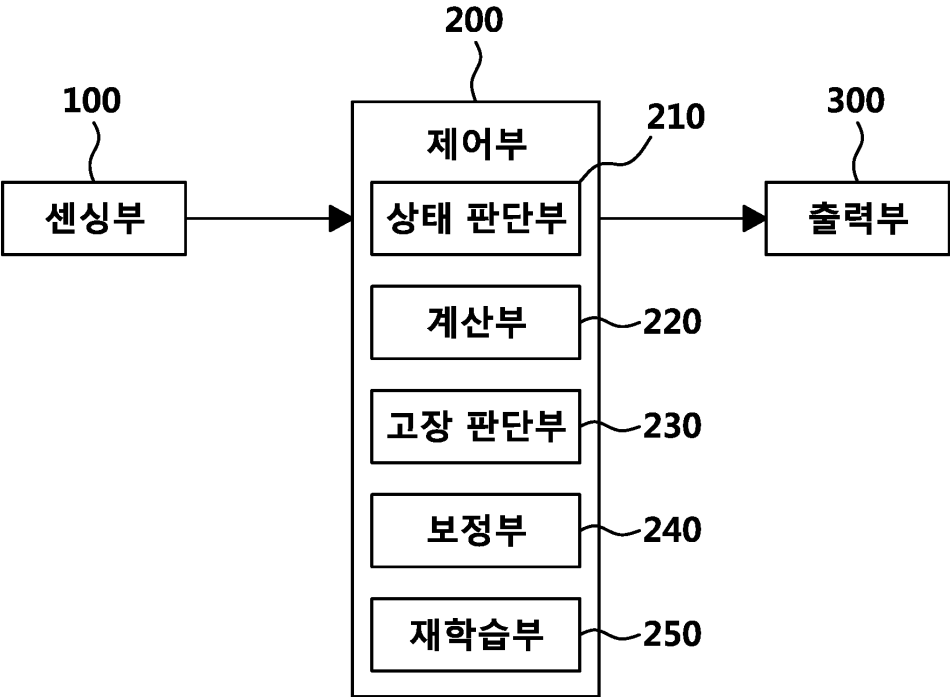
도면4



도면5



도면6



도면7

