(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0066593
(43) 공개일자 2025년05월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F03D 17/00 (2016.01) *G06N 3/08* (2023.01)
G06N 3/09 (2023.01)
(52) CPC특허분류
F03D 17/006 (2023.08)
F03D 17/014 (2023.08)
(21) 출원번호 10-2023-0152297
(22) 출원일자 2023년11월07일
심사청구일자 2023년11월07일

(71) 출원인
국립창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
박민원
경상남도 김해시 덕정로12번길 24 (관동동)
딘민차우
경상남도 김해시 관동로 138, 1401동 1201호 (관동동)
(74) 대리인
김종선, 이형석

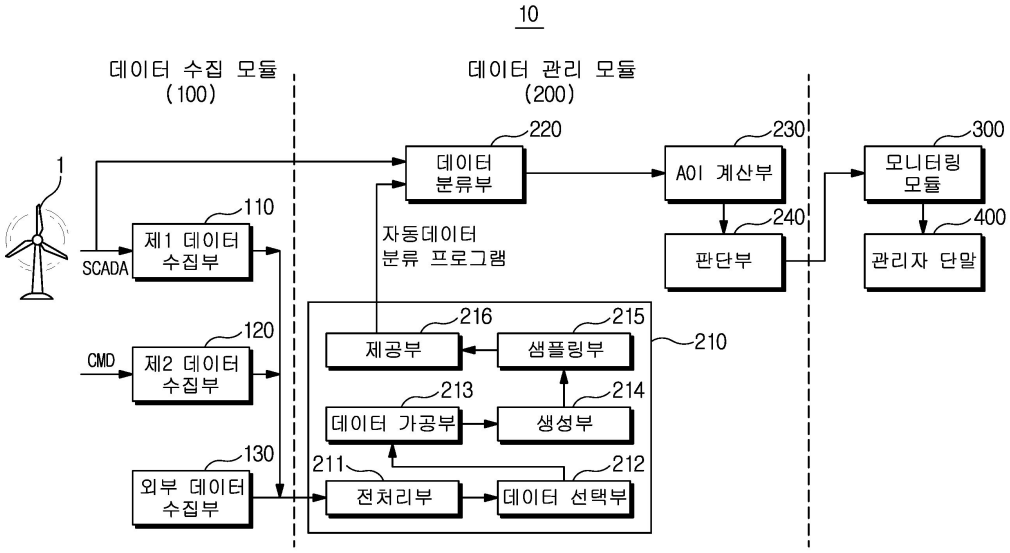
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **풍력터빈의 상태 모니터링 및 고장예측을 위한 장치, 그 방법**

(57) 요 약

본 발명은 풍력터빈의 상태 모니터링 및 고장예측을 위한 장치, 그 방법을 제안한다. 본 발명 장치는, 풍력터빈이 구동하는 동안 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 데이터를 수집하는 데이터 수집부와, 자동 데이터 분류 프로그램을 이용하여 상기 SCADA 데이터에서 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)을 분류하는 데이터 분류부, 상기 SCADA 데이터의 비정상 상태를 나타내는 지표를 계산하는 계산부, 및 상기 계산된 결과를 기반으로 상기 풍력터빈의 고장 또는 고장 예측을 판단하는 판단부를 포함하여 구성된다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G06N 3/088 (2023.01)
G06N 3/09 (2023.01)
F05B 2260/821 (2023.08)
F05B 2260/84 (2023.08)
Y02E 10/70 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415182603
과제번호	20223030020180
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	신재생에너지핵심기술개발(R&D)
연구과제명	풍력터빈 수명연장을 위한 내구성 평가 및 잔여 수명예측 기술개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	창원대학교 산학협력단
연구기간	2022.11.01 ~ 2025.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

풍력터빈이 구동하는 동안 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 데이터를 수집하는 데이터 수집부;

자동 데이터 분류 프로그램을 이용하여 상기 SCADA 데이터에서 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)을 분류하는 데이터 분류부;

상기 SCADA 데이터의 비정상 상태를 나타내는 지표를 계산하는 계산부; 및

상기 계산된 결과를 기반으로 상기 풍력터빈의 고장 또는 고장 예측을 판단하는 판단부를 포함하여 구성되는, 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 계산부는, 하기 식에 의해 계산되는 AOI(Abnormal Operation index) 값을 제공하는, 장치.

$$AOI=\frac{\text{Unhealthy instances}}{\text{All instances}}$$

상기 Unhealthy instances는 풍력터빈이 정상상태에서 작동할 때의 정상 데이터와 다른 데이터를 의미하며, 상기 Unhealthy instances는 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise), 그리고 에러(error) 상태를 포함함

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 판단부는,

상기 AOI 값과 기 설정된 임계값을 비교하고, 풍력터빈의 고장여부 또는 현 시점부터 고장 발생시까지의 사용 가능시간을 예측하는, 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 자동 데이터 분류 프로그램을 제공하는 프로그램 제공부를 더 포함하고,

상기 프로그램 제공부는,

분류 정확도가 가장 큰 프로그램 또는 분류 정확도가 미리 정해진 값 이상을 가지는 프로그램을 제공하는, 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 프로그램 제공부는,

풍력터빈의 구동과 관련되어 수집된 전체 데이터들을 전 처리하는 전처리부;

전처리 된 데이터들 중 풍력터빈의 발전기 고장예측 알고리즘과 관련된 SCADA 데이터들만 선택하는 데이터 선택부;

상기 SCADA 데이터의 차원을 더 적은 차원으로 가공하는 데이터 가공부;

상기 가공된 SCADA 데이터들을 비지도 학습모델을 이용하여 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)로 분류할 수 있는 자동 데이터 분류 프로그램을 생성하는 생성부; 및

지도 학습모델에 의하여 상기 데이터 분류부로 전달되는 SACDA 데이터를 정해진 분류 정확도를 만족하면서 분류할 수 있도록 상기 자동 데이터 분류 프로그램을 갱신하여 제공하는 제공부를 포함하는, 장치

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 프로그램 제공부는,

상기 SCADA 데이터를 SMOTE(Synthetic Minority Over-sampling Technique) 기법을 이용하여 샘플링하는 샘플링부를 더 포함하는, 장치.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 데이터 가공부는,

피어슨 상관 관계분석(PAC;Pearson Correlation Analysis)을 활용하는, 장치.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 생성부는,

밀도기반 클러스터링(DBSCAN: Density based spatial clustering of applications with noise) 알고리즘을 사용하는, 장치.

청구항 9

SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 데이터를 이용하여 풍력터빈의 고장여부 또는 고장을 예측하는 장치가,

풍력터빈이 구동하는 동안 상기 SCADA 데이터를 수집하는 단계;

기 제공되는 자동 데이터 분류 프로그램을 이용하여 상기 수집된 SCADA 데이터에서 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)을 분류하는 단계;

상기 분류된 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터, 노이즈(Noise)을 활용하여 AOI(Abnormal Operation index)를 계산하는 단계; 및

상기 계산된 AOI 값과 기 설정된 임계값을 비교하여, 상기 풍력터빈의 고장여부 또는 현 시점부터 고장 발생시까지의 사용 가능시간을 예측하는 단계를 포함하여 수행하는, 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 AOI 값은 $$\mathrm{AOI}=\frac{\text{Unhealthy instances}}{\text{All instances}}$$ 으로 계산되고,

상기 계산식에서 Unhealthy instances는 풍력터빈이 정상상태에서 작동할 때의 정상 데이터와 다른 데이터를 의미하며, 상기 Unhealthy instances는 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise), 그리고 에러(error) 상태를 포함하는, 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 자동 데이터 분류 프로그램은,

프로그램 제공부가,

풍력터빈의 구동과 관련되어 수집된 데이터들을 전처리하는 단계;

상기 전처리 된 데이터들 중 풍력터빈의 발전기 고장예측 알고리즘과 관련된 SCADA 데이터들만 선택하는 단계;

상기 SCADA 데이터들을 비지도 학습모델을 이용하여 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)로 분류할 수 있는 자동 데이터 분류 프로그램을 생성하는 단계;

지도 학습모델에 의하여 상기 SCADA 데이터를 정해진 분류 정확도를 만족하면서 분류할 수 있도록 생성된 상기 자동 데이터 분류 프로그램을 갱신하여 제공하는 단계를 수행하여 제공하는, 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 자동 데이터 분류 프로그램은,

상기 지도 학습모델에 따라 상기 SCADA 데이터의 분류 정확도가 정해진 조건 이상이면 프로그램 갱신 없이 제공되는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 데이터를 이용하여 풍력터빈의 상태 모니터링과 고장을 예측할 수 있는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 화력발전은 환경 문제를 비롯해 화석 연료 등 지하 지원의 부족으로 인하여 지열에너지, 태양광에너지 및 풍력에너지와 같은 신재생 에너지 자원으로 대체되는 추세이다. 이러한 신재생 에너지 자원 중에서 특히 풍력에너지는 산업계에서 큰 주목을 받고 있다. 해상풍력 기술은 육상풍력보다 더욱 풍부하게 바람을 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 소음이나 자연 훼손 문제로부터 자유롭고, 민원 발생률 또한 낮으며, 부지 확보에 용이한 장점 덕분에 대규모 단지 건설에 유리할 수 있다. 상술한 해상풍력 기술은 풍력 터빈 및 풍력 단지를 대형화로 구축할 수 있다는 점에서 신재생 발전원으로 떠오르고 있다.

[0003] 해상풍력 기술과 관련된 수요의 증가로 인하여 풍력 발전기의 유지보수와 관련된 수요 또한 꾸준히 증가하는 추세이다. 풍력 발전기의 유지보수 방법은 사후 유지보수(post maintenance), 예방 유지보수(preventive maintenance) 및 예측 유지보수(predictive maintenance) 등으로 분류될 수 있다. 사후 유지보수는 풍력 발전기에 고장이 발생되는 경우에 부품 수급 및 수리를 진행하는 방안이다. 예방 유지보수는 정기적인 일정이 도래하는 경우에 풍력 발전기의 부품을 교체하는 방안이다. 예측 유지보수는 풍력 발전기의 운전 상태를 실시간으로 확인하여 고장이 발생될 것으로 예상되는 부분을 수리하는 방안이다.

[0004] 상술한 풍력 발전기의 유지보수 방법들은 각기 다른 방법만큼 서로 다른 문제점들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 사후 유지보수는 풍력 발전기에 이미 고장이 발생된 이후 진행되는 방안으로써, 부품 납기 및 수리 준비에 많은 시간을 허비할 수 있고, 이에 따라 풍력 발전기의 운전 중단에 따른 경제적 손실을 초래할 수 있다. 또한, 예방 유지보수는 얼마든지 사용 가능한 부품을 불필요하게 교체할 가능성이 있으므로, 소모품 지출 비용을 증가시킬 수 있다. 반면, 예측 유지보수는 상술한 사후 유지보수 및 예방 유지보수의 문제점들을 해소할 수 있다는 점에서 보다 유효한 유지보수 방법일 수 있다.

[0005] 예측 유지보수는 조기에 고장을 예측하여 풍력 발전기의 치명적인 고장을 예방할 수 있고, 상기 예측을 통한 풍력 발전기의 상태에 따라 부품 납기 및 수리 준비에 대한 시간을 확보할 수 있다. 뿐만 아니라, 예측 유지보수는 조기에 고장을 예측하여 풍력 발전기의 운전 중단 시간(downtime)을 줄일 수 있음은 물론이고, 사용 가능한 부품과 교체를 필요로 하는 부품을 구별하여 소모품 지출 비용을 감소시킬 수 있다.

[0006] 다만, 예측 유지보수는 풍력 발전기에서 센서를 통해 실시간으로 검출되는 데이터의 수가 수백여 개에 달하고, 상기 수백여 개의 데이터들을 작업자에게 의존하여 모니터링 한다는 한계점이 존재한다. 더욱이, 예측 유지보수

는 작업자의 판단에만 의존하여 상기 수백여 개에 달하는 데이터들을 판단하는 경우, 풍력 발전기의 정상 운전 상태와 이상 운전 상태를 오판할 가능성을 배제할 수 없다. 즉, 예측 유지보수는 사용자에 의한 작업 의존도를 줄이는 동시에 풍력 발전기의 상태를 진단하는 기능에 대한 높은 신뢰성이 요구될 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1768810호(2017. 08. 09. 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 풍력 설비에 설치된 센서 및 그 센서가 검출하는 데이터의 사용을 배제하면서 풍력터빈의 상태를 모니터링하고 고장을 예측할 수 있는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명은 풍력터빈에 기 설치된 시스템이 제공하는 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 데이터를 활용하여 풍력터빈의 상태를 모니터링하고 고장을 예측하는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시 예에 따른 풍력터빈의 상태를 모니터링하고 고장을 예측하는 장치는, 풍력터빈이 구동하는 동안 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 데이터를 수집하는 데이터 수집부; 자동 데이터 분류 프로그램을 이용하여 상기 SCADA 데이터에서 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)을 분류하는 데이터 분류부; 상기 SCADA 데이터의 비정상 상태를 나타내는 지표를 계산하는 계산부; 및 상기 계산된 결과를 기반으로 상기 풍력터빈의 고장 또는 고장 예측을 판단하는 판단부를 포함하여 구성된다.

[0012] 상기 계산부는, 하기 식에 의해 계산되는 AOI(Abnormal Operation index) 값을 제공하며, 하기 Unhealthy instances는 풍력터빈이 정상상태에서 작동할 때의 정상 데이터와 다른 데이터를 의미하며, 상기 Unhealthy instances는 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise), 그리고 에러(error) 상태를 포함할 수 있다.

[0013] $$AOI=\frac{\text{Unhealthy instances}}{\text{All instances}}$$

[0014] 상기 판단부는, 상기 AOI 값과 기 설정된 임계값을 비교하고, 풍력터빈의 고장여부 또는 현 시점부터 고장 발생 시까지의 사용 가능시간을 예측한다.

[0015] 상기 자동 데이터 분류 프로그램을 제공하는 프로그램 제공부를 더 포함하고, 상기 프로그램 제공부는, 분류 정확도가 가장 큰 프로그램 또는 분류 정확도가 미리 정해진 값 이상을 가지는 프로그램을 제공한다.

[0016] 상기 프로그램 제공부는, 풍력터빈의 구동과 관련되어 수집된 전체 데이터들을 전 처리하는 전처리부; 전처리된 데이터들 중 풍력터빈의 발전기 고장예측 알고리즘과 관련된 SCADA 데이터들만 선택하는 데이터 선택부; 상기 SCADA 데이터의 차원을 더 적은 차원으로 가공하는 데이터 가공부; 상기 가공된 SCADA 데이터들을 비지도 학습모델을 이용하여 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)로 분류할 수 있는 자동 데이터 분류 프로그램을 생성하는 생성부; 및 지도 학습모델에 의하여 상기 데이터 분류부로 전달되는 SACDA 데이터를 정해진 분류 정확도를 만족하면서 분류할 수 있도록 상기 자동 데이터 분류 프로그램을 갱신하여 제공하는 제공부를 포함하여 구성된다.

[0017] 상기 프로그램 제공부는, 상기 SCADA 데이터를 SMOTE(Synthetic Minority Over-sampling Technique) 기법을 이용하여 샘플링하는 샘플링부를 더 포함한다.

[0018] 상기 데이터 가공부는, 피어슨 상관 관계분석(PAC;Pearson Correlation Analysis)을 활용한다.

[0019] 상기 생성부는, 밀도기반 클러스터링(DBSCAN: Density based spatial clustering of applications with noise) 알고리즘을 사용한다.

[0020] 본 발명의 다른 실시 예에 따른 풍력터빈의 상태를 모니터링하고 고장을 예측하는 방법은, SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 데이터를 이용하여 풍력터빈의 고장여부 또는 고장을 예측하는 장치가, 풍력터빈이 구동하는 동안 상기 SCADA 데이터를 수집하는 단계; 기 제공되는 자동 데이터 분류 프로그램을 이용하여 상기 수집된 SCADA 데이터에서 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)을 분류하는 단계; 상기 분류된 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)을 활용하여 AOI(Abnormal Operation index)를 계산하는 단계; 및 상기 계산된 AOI 값과 기 설정된 임계값을 비교하여, 상기 풍력터빈의 고장여부 또는 현 시점부터 고장 발생시까지의 사용 가능시간을 예측하는 단계를 포함하여 수행한다.

[0021] 상기 AOI 값은 $$AOI=\frac{\text{Unhealthy instances}}{\text{All instances}}$$ 으로 계산되고, 상기 계산식에서 Unhealthy instances는 풍력터빈이 정상상태에서 작동할 때의 정상 데이터와 다른 데이터를 의미하며, 상기 Unhealthy instances는 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise), 그리고 에러(error) 상태를 포함할 수 있다.

[0022] 상기 자동 데이터 분류 프로그램은, 프로그램 제공부가, 풍력터빈의 구동과 관련되어 수집된 데이터들을 전처리하는 단계; 상기 전처리 된 데이터들 중 풍력터빈의 발전기 고장예측 알고리즘과 관련된 SCADA 데이터들만 선택하는 단계; 상기 SCADA 데이터들을 비지도 학습모델을 이용하여 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)로 분류할 수 있는 자동 데이터 분류 프로그램을 생성하는 단계; 지도 학습모델에 의하여 상기 SCADA 데이터를 정해진 분류 정확도를 만족하면서 분류할 수 있도록 생성된 상기 자동 데이터 분류 프로그램을 갱신하여 제공하는 단계를 수행하여 제공한다.

[0023] 상기 자동 데이터 분류 프로그램은, 상기 지도 학습모델에 따라 상기 SCADA 데이터의 분류 정확도가 정해진 조건 이상이면 프로그램 갱신 없이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0024] 이와 같은 본 발명에 따르면, 풍력터빈의 구동과 관련된 정보를 센싱하는 센서를 설치하지 않아도 SCADA 데이터를 활용하여 풍력터빈의 상태 모니터링 및 고장 예측이 가능한 효과가 있다.

[0025] 본 발명에 따르면, AOI 값을 이용한 풍력터빈의 고장 시점을 예측할 수 있기 때문에 이에 대한 대처가 용이하고, 따라서 풍력터빈의 고장으로 인해 풍력발전이 중단되는 문제를 예방할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 풍력터빈의 상태 모니터링 및 고장예측을 위한 장치의 전체 구성도이다.

도 2는 본 발명에 따라 비정상 데이터의 발생 비율에 의해 계산된 AOI 값 지표를 보인 도면이다.

도 3은 AOI 값에 의해 고장 발생 시기를 예측할 수 있는 그래프이다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 풍력터빈의 상태 모니터링 및 고장을 예측 하는 방법을 설명하는 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 SCADA 데이터를 밀도 기반으로 분류한 예를 보인 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0028] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된

다.

[0029] 본 발명에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0030] 본 발명에서 사용되는 “부” 또는 “부분” 등의 일부분을 나타내는 표현은 해당 구성요소가 특정 기능을 포함할 수 있는 장치, 특정 기능을 포함할 수 있는 소프트웨어, 또는 특정 기능을 포함할 수 있는 장치 및 소프트웨어의 결합을 나타낼 수 있음을 의미하나, 꼭 표현된 기능에 한정된다고 할 수는 없으며, 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0031] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

[0033] 이하에서는 도면에 도시한 실시 예에 기초하면서 본 발명에 대하여 더욱 상세하게 설명하기로 한다.

[0034] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 풍력터빈의 상태 모니터링 및 고장예측을 위한 장치의 전체 구성도이다.

[0035] 도 1을 참조하면, 본 발명의 장치(10)는 데이터 수집모듈(100), 데이터 관리모듈(200), 모니터링 모듈(300) 및 관리자 단말(400)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0036] 도 1에서 데이터 수집모듈(100)은, 제1 데이터 수집부(110) 및 제2 데이터 수집부(120), 외부 데이터 수집부(130)를 포함하여, 풍력터빈(1)의 구동과 관련된 각종 데이터들을 수집하게 된다. 본 실시 예에 따르면 제1 데이터 수집부(110)는 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 서버일 수 있고, 제2 데이터 수집부(120)는 DAQ 서버일 수 있다.

[0037] 제1 데이터 수집부(110)는 풍력터빈(1)을 감시하기 위한 운전정보, 예를 들어 풍력터빈(1)과 연관된 적어도 하나의 부품에 가해지는 압력, 풍력터빈(1)의 회전속도 및 풍속 중 적어도 하나를 포함하는 SCADA 데이터를 수집한다. 제2 데이터 수집부(120)는 CMD 센서가 센싱하는 풍력터빈(1)의 진동 또는 하중 등의 데이터를 수집한다. 그리고 외부 데이터 수집부(130)는 풍력터빈(1)의 Design Data, Inspection Data 등을 수집한다.

[0038] 여기서 본 실시 예에 따르면 풍력터빈(1)의 상태 모니터링 및 고장예측에 활용되는 데이터는 제1 데이터 수집부(110)가 수집하는 SCADA 데이터가 될 수 있다. 또는 제2 데이터 수집부(120) 및 외부 데이터 수집부(130)가 수집한 데이터를 결합하여 SCADA 데이터 특징을 가질 경우, 이러한 데이터들도 SCADA 데이터로 활용할 수 있다.

[0039] 도 1에서 데이터 관리모듈(200)은, 프로그램 제공부(210), 데이터 분류부(220), AOI(Abnormal Operation index) 계산부(230), 판단부(240)를 포함하고 있다.

[0040] 프로그램 제공부(210)는, SCADA 데이터를 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)로 분류할 수 있는 최적의 자동 데이터 분류 프로그램을 제공할 수 있다. 자동 데이터 분류 프로그램은 분류 정확도가 가장 큰 프로그램 또는 분류 정확도가 미리 정해진 값 이상을 가지는 프로그램일 수 있다.

[0041] 도 1에서 보듯이, 프로그램 제공부(210)는 전처리부(211), 데이터 선택부(212), 데이터 가공부(213), 생성부(214), 샘플링부(215), 제공부(216) 등을 포함하여 구성될 수 있다.

[0042] 전처리부(211)는, 제1 데이터 수집부(110), 제2 데이터 수집부(120) 및 외부 데이터 수집부(130)가 수집한 데이터들의 노이즈를 제거하고, 필요에 따라 스케일러(scaler)를 적용할 수 있다. 스케일러는 수집된 원본 데이터를 동일하게 일정 범위로 스케일링하여 학습 처리속도를 향상시킬 수 있다.

[0043] 데이터 선택부(212)는, 상기 수집된 데이터들중에서 풍력터빈(1)의 발전기 고장예측 알고리즘 개발에 관련된 SCADA 데이터들을 선택할 수 있다.

[0044] 데이터 가공부(213)는, 피어슨 상관 관계분석(PAC;Pearson Correlation Analysis)을 활용하여 SCADA 데이터의 차원을 더 적은 차원으로 가공할 수 있다. SCADA 데이터를 더 적은 차원으로 가공하더라도 중요 정보는 그대로 유지되며, 학습모델의 복잡성을 줄이고 학습 효율성은 높일 수 있다.

[0045] 생성부(214)는, 비지도 학습모델을 이용하여 SCADA 데이터를 정상(Normal) 데이터, 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise)로 분류하는 자동 데이터 분류 프로그램을 생성할 수 잇다. 본 실시 예에 따르면 자동 데이터 분류 프로그램의 예는 밀도기반 클러스터링(DBSCAN: Density based spatial clustering of applications with noise) 알고리즘일 수 있다. 즉 주변 데이터들의 밀도를 이용하여 군집(cluster)을 생성하는 방식이다.

[0046] 샘플링부(215)는, 오버 샘플링(Over sampling) 기법 중 하나인 SMOTE(Synthetic Minority Over-sampling Technique) 기법을 이용하여 낮은 비율로 존재하는 클래스의 데이터를 새롭게 생성하는 부분이다. 상기 기법은 불균형한 데이터셋에서 소수 클래스의 데이터 포인트를 합성적으로 생성하는 오버샘플링 기법이다. 불균형 데이터셋은 한 클래스의 샘플 수가 다른 클래스의 샘플 수보다 많이 적을 때 발생하며, 이러한 데이터 불균형 문제를 해결하지 않으면 분류 모델의 성능이 저하될 수 있기 때문에, 소수 클래스의 데이터 포인트 사이의 차이를 이용하여 새로운 데이터 샘플을 생성하는 것이다.

[0047] 제공부(216)는, 지도 학습기술을 기반으로 하여 상기 데이터 분류부(220)로 전달되는 SACDA 데이터를 정해진 분류 정확도를 만족하면서 분류할 수 있도록 상기 자동 데이터 분류 프로그램을 갱신하여 제공할 수 있다. 따라서 분류 정확도가 정해진 조건 이상이면 갱신 없이 데이터 분류부(220)에 그대로 제공될 수 있고, 반대인 경우에만 상기 프로그램 제공부(210)의 각 구성들을 다시 수행하면서 SCADA 데이터의 분류 정확도를 향상시킨 후에 데이터 분류부(220)로 제공될 수 있도록 한다.

[0048] 도 1에서 데이터 분류부(220)는, 프로그램 제공부(210)가 제공하는 자동 데이터 분류 프로그램을 이용하여 SCADA 데이터 중 비정상 데이터를 분류할 수 있다. 비정상(Abnormal) 데이터에는 노이즈(Noise) 및 에러(error) 상태를 포함될 수 있다.

[0049] 도 1에서 AOI 계산부(230)는, 다음 수학식 1에 의해 계산된 AOI(Abnormal Operation index) 값을 이용하여 풍력터빈(1)의 상태 및 고장 예측을 파악할 수 있다.

수학식 1

[0050] $$AOI=\frac{\text{Unhealthy instances}}{\text{All instances}}$$

[0051] 상기 AOI 값은 비정상 상태를 보여주는 지표로서, 이를 통해 풍력터빈(1)의 상태 및 고장을 예측할 수 있다. 상기 AOI 값은 풍력터빈(1)이 결함 또는 고장의 발생 가능성이 높아질 경우 더 많은 비정상 데이터가 발생하는 것을 가정하여 판단할 수 있음을 고려하기 때문이다.

[0052] 한편 상기 Unhealthy instances는 비정상(Abnormal) 데이터 및 노이즈(Noise), 그리고 에러(error) 상태를 포함할 수 있고, 본 명세서는 이를 비정상(Abnormal) 데이터로 칭하여 설명하기도 한다. 즉 비정상 데이터는 풍력터빈(1)이 정상상태에서 작동할 때의 정상 데이터(또는 기준 데이터)와 상이한 데이터를 의미한다. AOI 값에 따른 고장 예측에 대한 실시 예 설명은 도 2 및 도 3에서 후술하기로 한다.

[0053] 도 1에서 판단부(240)는 상기 AOI 계산부의 계산 결과 값과 기 설정된 임계값을 비교하여 고장 판단 여부 또는 고장 발생 시기를 예측하고 판단하여 예측 유지보수 방안을 제공할 수 있다.

[0054] 도 1에서 모니터링 모듈(300)은 데이터 관리모듈(200)의 결과를 모니터링 하면서, 풍력터빈(1)의 결함 또는 고장 발생 가능성을 표시하고, 필요한 경우 관리자 단말(400)에 알람 등의 방식으로 통보할 수 있다.

[0056] 도 2 및 도 3은 본 발명에 따라 비정상 데이터의 발생 비율에 의해 계산된 AOI 값 지표와 AOI 값에 의해 고장 발생 시기를 예측할 수 있는 그래프이다.

[0057] 도 2을 참조하면, AOI 값은 0 ~ 1 범위 내에 존재하고, 정상 데이터와 비정상 데이터의 비에 의해 계산된다. 예를 들어, (a) AOI 값이 0.05이면 정상 데이터는 95%, 비정상 데이터는 5%이고, (b) AOI 값이 0.5이면 정상 데이터와 비정상 데이터가 각각 50%이고, (c) AOI 값이 0.95이면 정상 데이터는 5%, 비정상 데이터는 95%이다.

[0059] 도 3을 참조하면 AOI 값을 제1 시점(initial fault)과 제2 시점(life end) 으로 구분하면, AOI 값의 변화추이

에 따라 고장 발생시점을 예측할 수 있다. 제1 시점(initial fault)은 고장 발생 가능성을 예측하는 시점일 수 있고, 제2 시점(life end)은 고장이 실제 발생하게 되는 시점일 수 있다. 그리고 제1 시점(initial fault) 이전은 풍력터빈(1)을 정상적으로 구동시킬 수 있고, 제1 시점(initial fault) 이후부터 제2 시점(life end) 이전까지의 사이 구간은 고장 발생을 예측할 수 있지만 풍력터빈(1)을 사용할 수 있는 구간(remaining useful life, 사용 가능 시간)일 수 있다.

[0060] 제2 시점(life end)이 지나면 풍력터빈(1)의 고장으로 인해 사용 불가 상태가 될 수 있다. 물론 제2 시점(life end)은 고장 발생 시점이지만 고장이 발생하지 않는 경우도 예상할 수 있기 때문에 제2 시점(life end)이 지나더라도 풍력터빈(1)을 계속 구동시킬 수 있는 경우도 예상할 수 있을 것이다.

[0062] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 풍력터빈의 상태 모니터링 및 고장을 예측 하는 방법을 설명하는 흐름도이다.

[0063] 본 발명에 따른 방법은 자동 데이터 분류 프로그램의 개발 과정과, 상기 자동 데이터 분류 프로그램을 제공받아 AOI 값을 계산하고, 계산된 AOI 값을 기초로 풍력터빈(1)의 고장판단 및 고장예측을 수행하는 과정을 포함할 수 있다.

[0065] 자동 데이터 분류 프로그램 개발 과정(제1과정, S100)

[0066] 풍력터빈(1) 및 하위 시스템이 구동하면(S110), 제1 데이터 수집부(110), 제2 데이터 수집부(120) 및 외부 데이터 수집부(130)가 각종 데이터를 수집한다(S120). 그리고 수집된 데이터들은 분류 프로그램을 개발하게 될 프로그램 제공부(210)로 전달된다.

[0067] 프로그램 제공부(210)에서 전처리부(211)는 수집된 데이터들을 대상으로 전처리 과정을 수행한다(S130). 전처리 과정은 예를 들어 데이터의 노이즈를 제거하는 과정을 포함할 수 있다. 또한 수집된 데이터를 동일하게 일정 범위로 스케일링하여 학습 처리속도를 향상시키기 위한 스케일러(scaler)를 수행할 수 있다. 본 발명에서 전처리부(211)의 전처리 과정은 선택적으로 수행할 수 있다. 즉 노이즈가 소정 기준 이하이고 스케일러를 반드시 할 필요가 없을 경우 전처리 과정은 생략할 수 있다.

[0068] 전처리 이후, 데이터 선택부(212)는 풍력터빈(1)의 발전기 고장예측과 관련된 SCADA 데이터들만을 선택하고(S140), 데이터 가공부(213)는, 피어슨 상관 관계분석(PAC; Pearson Correlation Analysis)을 수행한다(S150).

[0069] 이후 생성부(214)가 비지도 학습모델을 이용하여 SCADA 데이터를 분류할 수 있는 자동 데이터 분류 프로그램을 생성한다(S160). 여기서 SCADA 데이터는 밀도기반 클러스터링(DBSCAN) 알고리즘에 의해 정상(Normal), 비정상(Abnormal 또는 error), 노이즈(Noise)로 분류된다. 이렇게 분류된 예는 도 5에 도시하였다.

[0070] 도 5와 같이 데이터가 분류된 다음에는 샘플링부(215)가 데이터 샘플링을 수행한다(S170). 데이터 샘플링은 예를 들면 SMOTE(Synthetic Minority Over-sampling Technique) 기법을 이용할 수 있다. 이를 통해 낮은 비율로 존재하는 클래스의 데이터를 새롭게 생성할 수 있다.

[0071] 데이터 샘플링까지 완료되면, 제공부(216)는 지도 학습기술을 기반으로 하여 자동 데이터 분류 프로그램이 상기 데이터 분류부(220)로 전달되는 SACDA 데이터를 미리 정해진 분류 정확도를 만족하면서 분류할 수 있는 가를 판단한다(S180). 판단 결과에 따라 현재 자동 데이터 분류 프로그램의 분류 정확도가 정해진 조건 이상이면 별다른 처리 없이 데이터 분류부(220)에 그대로 제공할 수 있다. 반면 분류 정확도가 정해진 조건을 만족하지 못하면 상기 자동 데이터 분류 프로그램은 SCADA 데이터의 분류 정확도를 향상시키도록 프로그램 제공부(210)의 각 구성들을 다시 반복하는 과정을 수행하게 된다.

[0073] 고장판단 및 고장예측을 수행하는 과정(제2과정, S200))

[0074] 상기한 제1 과정에 의해 자동 데이터 분류 프로그램이 제공된 상태에서, 풍력터빈(1)이 구동하는 동안 SCADA 데이터가 본 발명 장치의 데이터 분류부(220)로 입력된다(S210).

[0075] 그러면 데이터 분류부(220)는 상기 제공된 자동 데이터 분류 프로그램을 이용하여 입력된 SCADA 데이터들을 정상 데이터와 비정상 데이터로 분류한다(SS220). 앞서 언급한 바와 같이 비정상 데이터는 노이즈(Noise) 및 에러(error) 상태 등을 포함할 수 있다.

[0076] 자동 데이터 분류 프로그램에 의해 분류된 결과는 AOI 계산부(230)가 전달받는다. AOI 계산부(230)는 상기한 수학식 1을 적용하여 AOI 값을 계산한다(S230). AOI 값은 0~1 범위에 존재하며, 계산된 AOI 값은 판단부(240)로 전달된다.

[0077] 판단부(240)는 상기 AOI 계산부(230)의 계산 결과 값과 기 설정된 임계값을 비교한다(S240). 임계값은 고장 또는 고장 예측을 위한 대상 설비, 즉 풍력터빈(1)이나 하위 시스템의 고장 또는 고장예측을 판단하기 위해 설정된 값일 수 있다. 예를 들면 도 3의 그래프에서 제2 시점인 Life end가 임계값일 수 있다. 상기 비교결과, AOI 값이 임계값 이상이면 고장으로 판단한다(S260). 또 AOI 값이 임계값 보다 작으면 판단부(240)는 피팅 모델을 이용하여 현 시점부터 고장 발생까지의 사용 가능 시간을 예측한다. 즉 고장 시점을 예측할 수 있다(S250).

[0078] 판단부(240)의 결과는 모니터링 모듈(300)로 전달되며, 모니터링 모듈(300)은 필요한 경우 고장 또는 고장 시점 예측 정보를 관리자 단말로 통보한다. 이에 관리자는 고장 발생 또는 고장 발생 시점을 예측하여, 풍력터빈(1) 등의 설비가 고장이 발생하기 전에 대처할 수 있다.

[0080] 위에서 설명한 바와 같이 본 발명은 개발과정을 통해 제공되는 자동 데이터 분류 프로그램을 이용하여, 풍력터빈(1)의 구동에 따라 발생하는 SCADA 데이터를 입력받아 정상 또는 비정상 상태로 분류할 수 있고, AOI 계산식에 의해 AOI 값을 계산한 다음 임계값과의 비교과정을 통해 고장 또는 고장 발생 시점을 판단하여 관리자에게 통보하는 구성임을 알 수 있다.

[0082] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0083] 10: 본 발명 장치

100: 데이터 수집 모듈

110: 제1 데이터 수집부

120: 제2 데이터 수집부

130: 외부 데이터 수집부

200: 데이터 관리 모듈

210: 프로그램 제공부

211; 전처리부 212: 데이터 선택부 213: 생성부 214: 데이터 가공부

215: 샘플링부 216: 제공부

220: 데이터 분류부

230: AOI 계산부

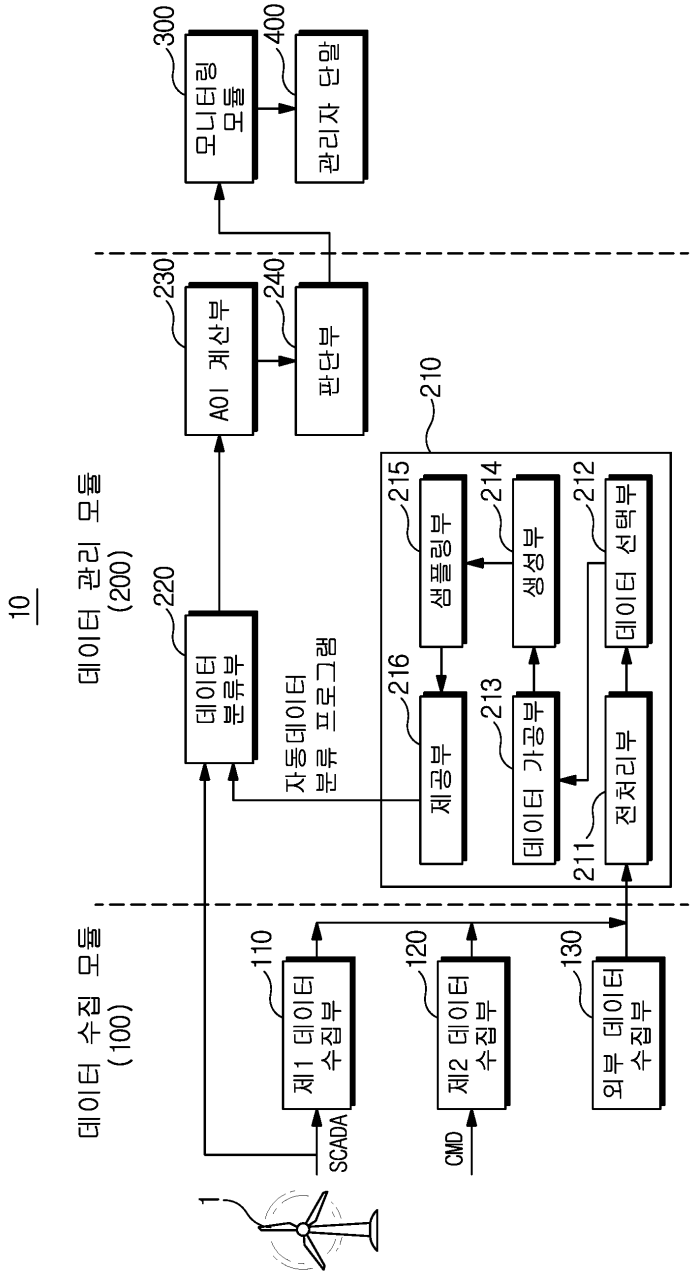
240: 판단부

300: 모니터링 모듈

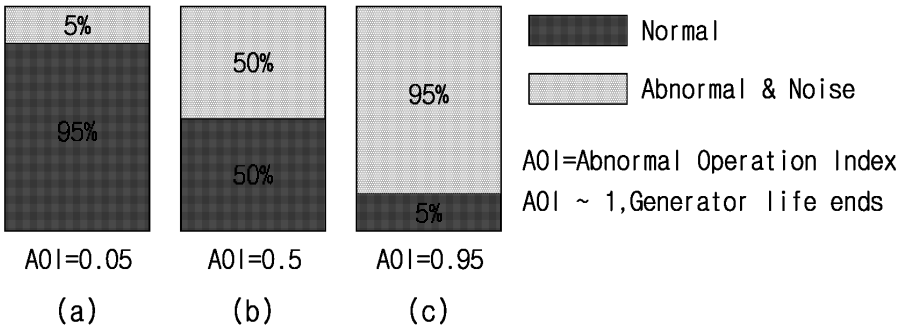
400: 관리자 단말

도면

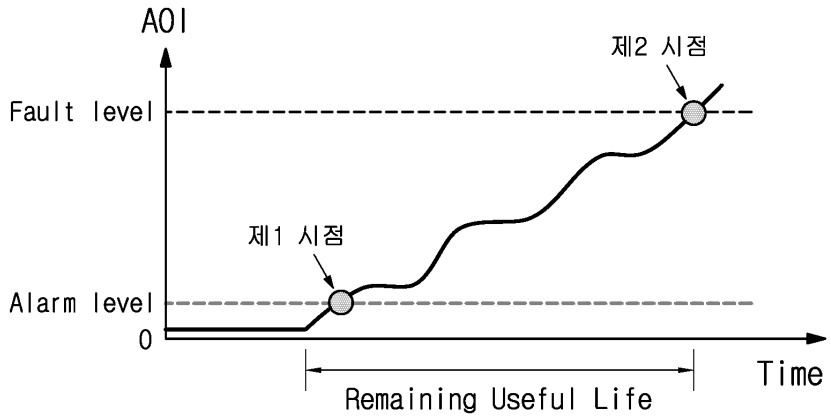
도면1


10
데이터 관리 모듈
(200)
데이터 수집 모듈
(100)
300
모니터링 모듈
400
관리자 단말
230
AOI 계산부
240
판단부
210
220
데이터 분류부
자동데이터 분류 프로그램
215
샘플링부
214
생성부
212
데이터 선택부
216
제공부
213
데이터 가공부
211
전처리부
110
제1 데이터 수집부
120
제2 데이터 수집부
130
외부 데이터 수집부
SCADA
CMD
1

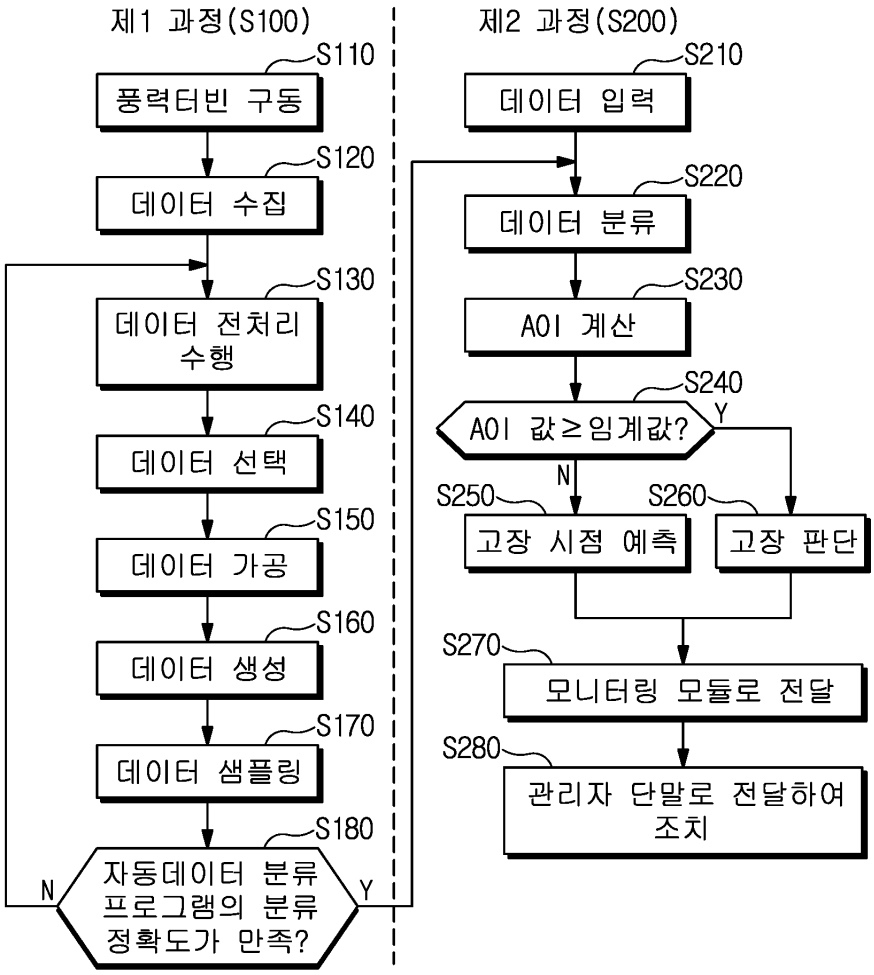
도면2


5%
95%
50%
50%
95%
5%
Normal
Abnormal & Noise
AOI=Abnormal Operation Index
AOI ~ 1,Generator life ends
AOI=0.05
AOI=0.5
AOI=0.95
(a)
(b)
(c)

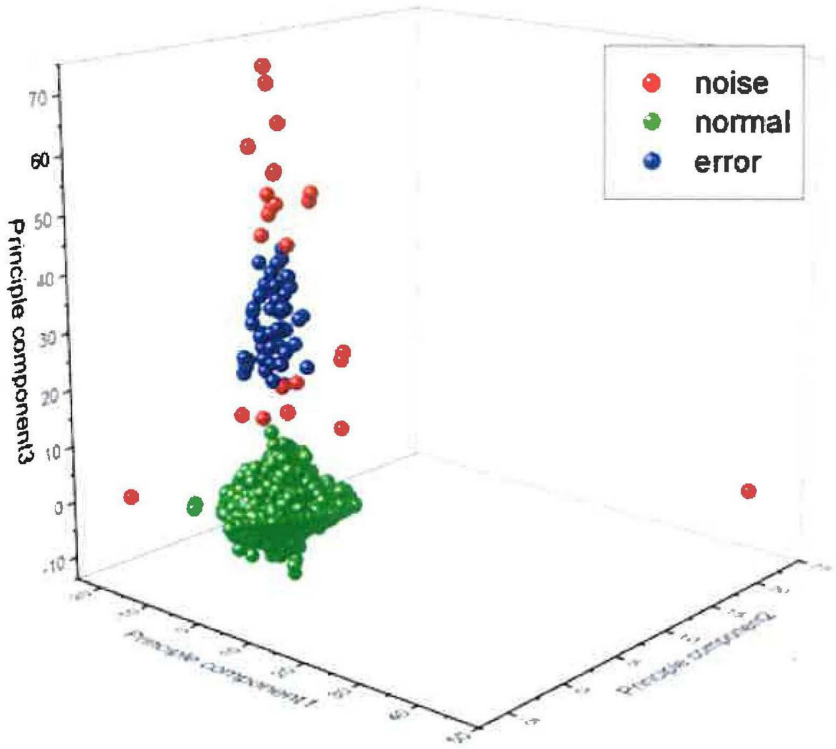
도면3


AOI
제2 시점
Fault level
제1 시점
Alarm level
0
Time
Remaining Useful Life

도면4


제1 과정(S100)
S110
풍력터빈 구동
S120
데이터 수집
S130
데이터 전처리 수행
S140
데이터 선택
S150
데이터 가공
S160
데이터 생성
S170
데이터 샘플링
S180
자동데이터 분류 프로그램의 분류 정확도가 만족?
N
Y
제2 과정(S200)
S210
데이터 입력
S220
데이터 분류
S230
AOI 계산
S240
AOI 값≥임계값?
Y
N
S250
고장 시점 예측
S260
고장 판단
S270
모니터링 모듈로 전달
S280
관리자 단말로 전달하여 조치

도면5


noise
normal
error
Principle component3
70
60
50
40
30
20
10
0
-10