(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월20일
(11) 등록번호 10-2068446
(24) 등록일자 2020년01월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F03D 17/00 (2016.01) *G05B 23/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
F03D 17/00 (2016.05)
G05B 23/0221 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0120383
(22) 출원일자 2019년09월30일
심사청구일자 2019년09월30일
(56) 선행기술조사문헌
KR101336718 B1
KR101420846 B1

(73) 특허권자
(주)에스엠인스트루먼트
대전광역시 유성구 유성대로1184번길 20(신성동)
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
한국전력공사
전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)
(72) 발명자
김영기
대전광역시 서구 둔산로 155, 106동 302호 (둔산동, 크로바아파트)
강준구
대전광역시 유성구 와룡로136번길 75 봉산휴먼시아2단지아파트 207동 1202호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 명장

전체 청구항 수 : 총 3 항 심사관 : 박종오

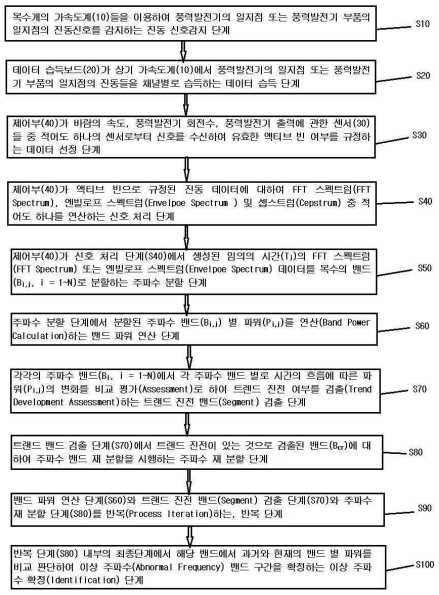
(54) 발명의 명칭 **자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법**

(57) 요 약

본 발명은 복수개의 가속도계(10)들을 이용하여 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동신호를 감지하는 진동 신호감지 단계(S10)와; 데이터 습득보드(20)가 상기 가속도계(10)에서 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동들을 채널별로 습득하는 데이터 습득 단계(S20)와; 제어부(40)가 바람의 속

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



도, 풍력발전기 회전수, 풍력발전기 출력에 관한 센서(30)들 중 적어도 하나의 센서로부터 신호를 수신하여 유효한 액티브 빈 여부를 규정하는 데이터 선정 단계(S30)와; 제어부(40)가 액티브 빈으로 규정된 진동 데이터에 대하여 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum), 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 및 셉스트럼(Cepstrum) 중 적어도 하나를 연산하는 신호 처리 단계(S40)와; 제어부(40)가 신호 처리 단계(S40)에서 생성된 임의의 시간(T_j)의 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum) 또는 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 데이터를 복수의 밴드($B_{i,j}$, i = 1~N)로 분할하는 주파수 분할 단계(S50)와; 상기 주파수 분할 단계에서 분할된 주파수 밴드($B_{i,j}$) 별 파워($P_{i,j}$)를 연산(Band Power Calculation)하는 밴드 파워 연산 단계(S60)와; 각각의 주파수 밴드(B_i, i = 1~N)에서 시간(T)의 흐름에 따른 과거(T_{j-1}, T_{j-2}, ...)와 현재(T_j)의 주파수 밴드 별 파워($P_{i,j}$, j = 1~M)를 비교 평가(Assessment)로 하여 트렌드 진전 여부를 검출(Trend Development Assessment)하는 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와; 상기 트랜드 밴드 검출 단계(S70)에서 트랜드 진전이 있는 것으로 검출된 밴드(B_{cr})에 대하여 주파수 밴드 재분할을 시행하는 주파수 재 분할 단계(S80)와; 상기 밴드 파워 연산 단계(S60)와 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와 주파수 재 분할 단계(S80)를 반복(Process Iteration)하는, 반복 단계(S90)와; 상기 반복 단계(S80) 내부의 최종단계에서 해당 밴드에서 과거와 현재의 밴드 별 파워를 비교 판단하여 이상 주파수(Abnormal Frequency) 밴드 구간을 확정하는 이상 주파수 확정(Identification) 단계(S100); 를 포함하여 구성되는 것을 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법에 관한 것이다.

(52) CPC특허분류
F05B 2260/80 (2013.01)
F05B 2270/32 (2013.01)
F05B 2270/334 (2013.01)
Y02E 10/70 (2013.01)

(72) 발명자
이도행
대전광역시 유성구 봉명로 16 LH도안천년나무11단지 1103동 1508호
박종민
대전광역시 서구 계룡로326번길 153 402호
김재승
대전광역시 서구 청사로 148 매그놀리아
김현실
대전광역시 유성구 엑스포로339번길 320 싸이언스빌 11동 303호
김봉기
대전광역시 서구 청사서로 70, 104동 903호 (월평동, 무궁화아파트)
김상렬
대전광역시 서구 청사서로 11 무지개아파트
이성현
대전광역시 유성구 배울1로 147 대덕테크노밸리푸르지오하임2단지
서윤호
대전광역시 유성구 지족로 343 반석마을아파트2단지
마평식
서울특별시 동작구 사당로17길 8 대림아파트
우정한
대전광역시 유성구 문지로 300 효성해링턴플레이스
김지영
대전광역시 유성구 문지로 105 한국전력연구원
조동호
대전광역시 유성구 문지로 105 한국전력연구원
정민욱
대전광역시 유성구 문지로 105 한국전력연구원

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20163030024510
부처명 산업통상자원보
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지기술개발사업
연구과제명 풍력발전시스템 상태감시 진단시스템 개발
기 여 율 1/1
주관기관 (주)에스엠인스트루먼트
연구기간 2016.12.01 ~ 2019.09.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

복수개의 가속도계(10)들을 이용하여 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동신호를 감지하는 진동 신호감지 단계(S10)와;

데이터 습득보드(20)가 상기 가속도계(10)에서 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동들을 채널별로 습득하는 데이터 습득 단계(S20)와;

제어부(40)가 바람의 속도, 풍력발전기 회전수, 풍력발전기 출력에 관한 센서(30)들 중 적어도 하나의 센서로부터 신호를 수신하여 유효한 액티브 빈 여부를 규정하는 데이터 선정 단계(S30)와;

제어부(40)가 액티브 빈으로 규정된 진동 데이터에 대하여 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum), 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 및 셉스트럼(Cepstrum) 중 적어도 하나를 연산하는 신호 처리 단계(S40)와;

제어부(40)가 신호 처리 단계(S40)에서 생성된 임의의 시간(T_j)의 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum) 또는 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 데이터를 복수의 밴드($B_{i,j}$, i = 1~N)로 분할하는 주파수 분할 단계(S50)와;

상기 주파수 분할 단계에서 분할된 주파수 밴드($B_{i,j}$) 별 파워($P_{i,j}$)를 연산(Band Power Calculation)하는 밴드 파워 연산 단계(S60);

를 포함하여 구성되되,

각각의 주파수 밴드(B_i, i = 1~N)에서 각 주파수 밴드 별로 시간의 흐름에 따른 파워($P_{i,j}$)의 변화를 비교 평가(Assessment)로 하여 트렌드 진전 여부를 검출(Trend Development Assessment)하는 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와;

상기 트랜드 진전 밴드 검출 단계(S70)에서 트랜드 진전이 있는 것으로 검출된 밴드(B_{cr})에 대하여 주파수 밴드 재 분할을 시행하는 주파수 재 분할 단계(S80)와;

상기 밴드 파워 연산 단계(S60)와 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와 주파수 재 분할 단계(S80)를 반복(Process Iteration)하는, 반복 단계(S90)와;

상기 반복 단계(S80) 내부의 최종단계에서 해당 밴드에서 과거와 현재의 밴드 별 파워를 비교 판단하여 이상 주파수(Abnormal Frequency) 밴드 구간을 확정하는 이상 주파수 확정(Identification) 단계(S100);

를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)에서,

각각의 주파수 밴드(B_i, i = 1~N)에서 시간(T)의 흐름에 따른 과거(T_{j-1}, T_{j-2}, ...)와 현재(T_j)의 주파수 밴드 별 파워($P_{i,j}$, j = 1~M)를 비교 평가(Assessment)로 하여 트렌드 진전이 있다고 판단되는 주파수 밴드를 검출(Trend Development Assessment)하는 것을 특징으로 하는 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 데이터 선정 단계(S30)에서,

제어부(20)에 적어도 두개 이상의 풍속범위(W = W1, W2 …)가 미리 입력 설정하고, 윈드센서(30)에 의해 측정된 바람의 속도가 적어도 설정지속시간 동안 하나의 풍속범위에서 유지되었다고 판단되는 경우 액티브 빈으로 판단하고,

제어부(20)는, 바람의 속도가 적어도 설정지속시간 동안 하나의 풍속범위에서 유지된 시간 동안에 취득된 진동신호에 대한 액티부 빈에 속하는 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum) 또는 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 데이터를 유효 데이터로 지정하고 주파수 분할 단계(S50)를 시행하는 것을 특징으로 하는 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 측정데이터 기반의 이상 주파수 자동 검출 가능이 구비된 자가 학습형 고장 진단 기능이 구비된 풍력발전시스템 상태감시 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 바람을 이용하여 전력을 생산하는 풍력 발전 시스템은 일반적으로 풍력 발전기와 이를 제어하는 중앙 제어장치로 이루어진다. 풍력 발전기는 일반적으로 바람에 의해 회전하는 블레이드와, 블레이드의 회전에너지를 전기 에너지로 변환하는 장치로 구성된 너셀(nacelle)과, 블레이드와 너셀을 연결하는 허브(hub)와, 너셀을 지지하는 타워로 이루어진다. 또한, 상기 풍력 발전기와 중앙 제어장치는 유선 또는 무선으로 중앙 제어장치와 연결된다.

[0005] 고가인 풍력발전기를 장시간 정상 상태로 유지하기 위해서 치명적인 고장이나 손상이 발생하기 전에 이를 미리 탐지하여 수리하거나 다른 조치를 취하는 것이 필요하다. 하지만 풍력발전기를 사람이 실시간으로 감시하는 것이 불가능하기 때문에 풍력발전기에 의해 표출되는 특정한 파라미터 모니터링을 이용한 상태 감시가 필요하며 이는 특히 육지로부터 멀리 떨어진 해상 풍력 발전기 등에 있어서 절실하며 알람의 유효성 확보가 필요한 실정이지만 현재 기술 발전이 미미한 실정이다.

[0007] 본 출원인 소유의 등록특허 제10-1336718호는, 풍력발전기 상태감시시스템 알람 생성 방법에 있어서, 제어부에 적어도 두개 이상의 풍속범위(W = W1, W2 …)를 설정하는 풍속범위 설정단계와; 가속도계를 이용하여 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동신호를 취득하는 진동신호 취득단계(S20)와; 연산부가 상기 진동신호 취득단계에서 취득된 진동신호의 진동레벨을 산출하는 진동레벨 산출단계와; 윈드센서에 의해 측정된 바람의 속도가 적어도 설정지속시간 동안 하나의 풍속범위에서 유지되었다고 판단되는 경우, 제어부는, 바람의 속도가 적어도 설정지속시간 동안 하나의 풍속범위에서 유지된 시간 동안에 취득된 진동신호에 대한 진동레벨을 유효 진동레벨 데이터로 지정하고 데이터 저장부에 저장하는, 판단 및 데이터저장 단계와; 제어부가 상기 유효 진동레벨 데이터를 기초로 하여 풍속범위별 알람기준값을 설정하는 기준값 설정단계와; 상기 제어부가, 하나의 풍속범위에 속하는 시간동안 취득된 진동신호의 진동레벨과 그 풍속범위에 속하는 상기 풍속범위별 알람기준값을 비교판단하여 관리자에게 알람신호를 표출하는 알람신호 생성단계;를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 풍력발전기 상태감시시스템 알람 생성 방법을 개시한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 풍력발전기의 상태를 상시 모니터링 하여 치명적인 고장이나 손상이 발생하기 전에 이를 미리 탐지하여 수리하거나 다른 조치를 취할 수 있도록 이상 징후가 발생하면 이를 관리자에게 알리는 자가 학습형 고장 진단 기능이 구비된 풍력발전시스템 상태감시 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0011] 본 발명은 고장이나 이상 징후 예측에 있어서 진동 신호를 사용함으로써 신호 흐름 및 데이터 취급이 난해하지

않고 또한 그 설정 방법이 구체적이며 고장 예측의 유효성이 탁월한 자가 학습형 고장 진단 기능이 구비된 풍력발전시스템 상태감시 방법을 제공하기 위함이다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법은,

[0014] 복수개의 가속도계(10)들을 이용하여 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동신호를 감지하는 진동 신호감지 단계(S10)와;

[0015] 데이터 습득보드(20)가 상기 가속도계(10)에서 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동들을 채널별로 습득하는 데이터 습득 단계(S20)와;

[0016] 제어부(40)가 바람의 속도, 풍력발전기 회전수, 풍력발전기 출력에 관한 센서(30)들 중 적어도 하나의 센서로부터 신호를 수신하여 유효한 액티브 빈 여부를 규정하는 데이터 선정 단계(S30)와;

[0017] 제어부(40)가 액티브 빈으로 규정된 진동 데이터에 대하여 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum), 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 및 셉스트럼(Cepstrum) 중 적어도 하나를 연산하는 신호 처리 단계(S40)와;

[0018] 제어부(40)가 신호 처리 단계(S40)에서 생성된 임의의 시간(T_j)의 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum) 또는 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 데이터를 복수의 밴드($B_{i,j}$, i = 1~N)로 분할하는 주파수 분할 단계(S50)와;

[0019] 상기 주파수 분할 단계에서 분할된 주파수 밴드($B_{i,j}$) 별 파워($P_{i,j}$)를 연산(Band Power Calculation)하는 밴드 파워 연산 단계(S60)와;

[0020] 각각의 주파수 밴드(B_i, i = 1~N)에서 시간(T)의 흐름에 따른 과거(T_{j-1}, T_{j-2}, ...)와 현재(T_j)의 주파수 밴드 별 파워($P_{i,j}$, j = 1~M)를 비교 평가(Assessment)로 하여 트렌드 진전 여부를 검출(Trend Development Assessment)하는 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와;

[0021] 상기 트랜드 밴드 검출 단계(S70)에서 트랜드 진전이 있는 것으로 검출된 밴드(B_{cr})에 대하여 주파수 밴드 재 분할을 시행하는 주파수 재 분할 단계(S80)와;

[0022] 상기 밴드 파워 연산 단계(S60)와 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와 주파수 재 분할 단계(S80)를 반복(Process Iteration)하는, 반복 단계(S90)와;

[0023] 상기 반복 단계(S80) 내부의 최종단계에서 해당 밴드에서 과거와 현재의 밴드 별 파워를 비교 판단하여 이상 주파수(Abnormal Frequency) 밴드 구간을 확정하는 이상 주파수 확정(Identification) 단계(S100); 를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0025] 본 발명에 따르는 경우, 풍력발전기의 상태를 상시 모니터링 하여 치명적인 고장이나 손상이 발생하기 전에 이를 미리 탐지하여 수리하거나 다른 조치를 취할 수 있도록 이상 징후가 발생하면 이를 관리자에게 알리는 자가 학습형 고장 진단 기능이 구비된 풍력발전시스템 상태감시 방법(Condition Monitoring System)가 제공된다.

[0027] 본 발명에 따르는 경우, 고장이나 이상 징후 예측에 있어서 신호 흐름 및 데이터 취급이 난해하지 않고 또한 그 설정 방법이 구체적이며 고장 예측의 유효성이 탁월한 자가 학습형 고장 진단 기능이 구비된 풍력발전시스템 상태감시 방법(Condition Monitoring System)가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법 흐름도.

도 2는 본 발명의 상태 감시 고장 진단 방법에 사용되는 FFT 스펙트럼 및 Envelope 스펙트럼.

도 3은 본 발명의 트랜드 진전 (Trend Develope) 평가 개념도.

도 4(a, b)는 본 발명의 기어박스 하우징 진동 3D waterfall 그래프(정상터빈, 고장터빈).

도 5(a, b)는 본 발명의 방법에 따른 기어박스 플래닛 휠 베어링 진동 FFT 스펙트럼(관심주파수 적색 적색표기

) 및 FFT Trend(적색 표기주파수 영역 트랜드).

도 6(a, b)는 본 발명의 방법에 따른 기어박스 플래닛 휠 베어링 진동 엔빌로프 스펙트럼(관심주파수 적색 적색 표기) 및 엔빌로프 Trend(적색 표기 주파수 영역 트랜드).

도 7(a, b)는 본 발명의 방법에 따른 기어박스 플래닛 휠 베어링 진동 셉스트럼 (관심구간) 및 셉스트럼 Trend (적색 표기 관심 구간의 트랜드).

도 8은 본 발명의 진동 데이터에 관한 스펙트럼의 주파수 분할 개념 설명도.

도 9는 본 발명의 진동 데이터에 관한 스펙트럼 워터폴 뷰 (주파수, 날짜, 진동 레벨) 데이터 주파수 분할 개념 설명도.

도 10은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(114.3~127 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프.

도 11, 도 12은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(50.8 ~ 63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가의 개념 설명도 (천이 구간, 고장 구간).

도 12은 본 발명의 skewness 개념을 추가한 주파수 밴드(50.8 ~ 63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가의 개념 설명도(천이 구간, 고장 구간).

도 13은 본 발명의 진동 데이터에 관한 스펙트럼 워터폴 뷰 (주파수, 날짜, 진동 레벨)에서 데이터 주파수 분할 개념 및 트랜드 진전으로 보이는 밴드 선택 설명도.

도 14는 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(첫번째 반복).

도 15는 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(두번째 반복).

도 16은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(세번째 반복).

도 17은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(네번째 반복).

도 18은 본 발명의 트랜드 평가 후 주파수 재 분할대상이 되는 밴드 선택 개념 설명도.

도 19는 본 발명의 방법에 따른 측정데이터 기반의 이상 주파수 규명 및 열화현상 주파수 영역 특정 설명도.

도 20는 본 발명의 방법에 따라 최종적으로 확정된 주파수 영역(60.3~61.9) 의 트랜드(진동레벨 vs 시간)을 보이는 그래프(정상 터빈, 고장터빈).

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하에서 본 발명의 일실시예에 따른 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법에 대하여 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다. 도 1은 본 발명의 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법 흐름도, 도 2는 본 발명의 상태 감시 고장 진단 방법에 사용되는 FFT 스펙트럼 및 Envelope 스펙트럼, 도 3은 본 발명의 트랜드 진전 (Trend Develope) 평가 개념도, 도 4(a, b)는 본 발명의 기어박스 하우징 진동 3D waterfall 그래프(정상터빈, 고장터빈)이고, 도 5(a, b)는 본 발명의 방법에 따른 기어박스 플래닛 휠 베어링 진동 FFT 스펙트럼(관심주파수 적색 적색표기) 및 FFT Trend(적색 표기주파수 영역 트랜드)이다.

[0032] 도 6(a, b)는 본 발명의 방법에 따른 기어박스 플래닛 휠 베어링 진동 엔빌로프 스펙트럼(관심주파수 적색 적색 표기) 및 엔빌로프 Trend(적색 표기 주파수 영역 트랜드), 도 7(a, b)는 본 발명의 방법에 따른 기어박스 플래닛 휠 베어링 진동 셉스트럼 (관심구간) 및 셉스트럼 Trend(적색 표기 관심 구간의 트랜드), 도 8은 본 발명의 진동 데이터에 관한 스펙트럼의 주파수 분할 개념 설명도, 도 9는 본 발명의 진동 데이터에 관한 스펙트럼 워터폴 뷰 (주파수, 날짜, 진동 레벨) 데이터 주파수 분할 개념 설명도, 도 10은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(114.3~127 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프이다.

[0034] 도 11, 도 12은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(50.8 ~ 63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가의 개념 설명도 (천이 구간, 고장 구간), 도 12은 본 발명의 skewness 개념을 추가한 주파수 밴드(50.8 ~ 63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가의 개념 설명도(천이 구간, 고장 구간), 도 13은 본 발명의 진동 데이터에 관한 스펙트럼 워터폴 뷰 (주파수, 날짜, 진동 레벨)에서 데이터 주파수 분할 개념 및 트랜드 진전으로 보이는 밴드 선택 설명도이다.

[0036] 도 14는 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(첫번째 반복),

도 15는 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(두번째 반복), 도 16은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(세번째 반복), 도 17은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(네번째 반복), 도 18은 본 발명의 트랜드 평가 후 주파수 재 분할대상이 되는 밴드 선택 개념 설명도, 도 19는 본 발명의 방법에 따른 측정데이터 기반의 이상 주파수 규명 및 열화현상 주파수 영역 특정 설명도이고, 도 20는 본 발명의 방법에 따라 최종적으로 확정된 주파수 영역(60.3~61.9) 의 트랜드(진동레벨 vs 시간)을 보이는 그래프(정상터빈, 고장터빈)이다.

[0038] 도시된 바와 같이, 본 발명의 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법은, 진동 신호감지 단계(S10)와 데이터 습득 단계(S20)와 데이터 선정 단계(S30)와 신호 처리 단계(S40)와 주파수 분할 단계(S50)와 밴드 파워 연산 단계(S60)를 포함한다. 진동 신호감지 단계(S10)에서, 복수개의 가속도계(10)들을 이용하여 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동신호를 감지한다.

[0040] 도시된 바와 같이, 데이터 습득 단계(S20)에서, 데이터 습득보드(20)가 상기 가속도계(10)에서 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동들을 채널별로 습득한다. 데이터 선정 단계(S30)에서, 제어부(40)가 바람의 속도, 풍력발전기 회전수, 풍력발전기 출력에 관한 센서(30)들 중 적어도 하나의 센서로부터 신호를 수신하여 유효한 액티브 빈 여부를 규정한다.

[0042] 도시된 바와 같이, 신호 처리 단계(S40)에서, 제어부(40)가 액티브 빈으로 규정된 진동 데이터에 대하여 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum), 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 및 셉스트럼(Cepstrum) 중 적어도 하나를 연산한다.

[0044] 도시된 바와 같이, 주파수 분할 단계(S50)에서, 제어부(40)가 신호 처리 단계(S40)에서 생성된 임의의 시간(T_j)의 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum) 또는 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 데이터를 복수의 밴드($B_{i,j}$, i = 1~N)로 분할한다. 밴드 파워 연산 단계(S60)는, 주파수 분할 단계에서 분할된 주파수 밴드($B_{i,j}$) 별 파워($P_{i,j}$)를 연산(Band Power Calculation)한다.

[0046] 도시된 바와 같이, 본 발명의 자가 학습형 풍력발전시스템 상태 감시 고장 진단 방법은, 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와 주파수 재 분할 단계(S80)와 반복 단계(S90)와 이상 주파수 확정(Identification) 단계(S100)를 더 포함한다.

[0048] 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)에서, 각각의 주파수 밴드(B_i, i = 1~N)에서 각 주파수 밴드 별로 시간의 흐름에 따른 파워($P_{i,j}$)의 변화를 비교 평가(Assessment)로 하여 트렌드 진전 여부를 검출(Trend Development Assessment)한다.

[0050] 도 13은 본 발명의 진동 데이터에 관한 스펙트럼 워터폴 뷰 (주파수, 날짜, 진동 레벨)에서 데이터 주파수 분할 개념 및 트랜드 진전으로 보이는 밴드 선택 설명도이다. 도 14는 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(첫번째 반복), 도 15는 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(두번째 반복), 도 16은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(세번째 반복), 도 17은 본 발명의 선택된 주파수 밴드(57.15~63.5 Hz)의 밴드 파워 트랜드(Time) 평가 그래프(네번째 반복)이다. 주파수 재 분할 단계(S80)에서, 트랜드 밴드 검출 단계(S70)에서 트랜드 진전이 있는 것으로 검출된 밴드(B_{cr})에 대하여 주파수 밴드 재 분할을 시행한다.

[0052] 도시된 바와 같이, 반복 단계(S90)에서, 밴드 파워 연산 단계(S60)와 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와 주파수 재 분할 단계(S80)를 반복(Process Iteration)한다. 이상 주파수 확정(Identification) 단계(S100)에서, 반복 단계(S80) 내부의 최종단계에서 해당 밴드에서 과거와 현재의 밴드 별 파워를 비교 판단하여 이상 주파수(Abnormal Frequency) 밴드 구간을 확정한다.

[0054] 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)에서, 각각의 주파수 밴드(B_i, i = 1~N)에서 시간(T)의 흐름에 따른 과거(T_{j-1}, T_{j-2}, ...)와 현재(T_j)의 주파수 밴드 별 파워($P_{i,j}$, j = 1~M)를 비교 평가(Assessment)로 하여 트렌드 진전이 있다고 판단되는 주파수 밴드를 검출(Trend Development Assessment)한다.

[0056] 도시된 바와 같이, 데이터 선정 단계(S30)에서, 제어부(20)에 적어도 두개 이상의 풍속범위(W = W1, W2 …)가 미리 입력 설정하고, 상기 윈드센서(30)에 의해 측정된 바람의 속도가 적어도 설정지속시간 동안 하나의 풍속범

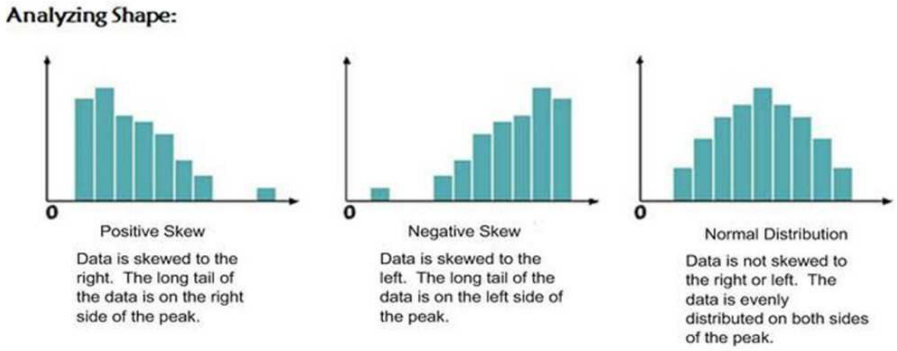
위에서 유지되었다고 판단되는 경우 액티브 빈으로 판단한다.

[0058] 제어부(20)는, 바람의 속도가 적어도 설정지속시간 동안 하나의 풍속범위에서 유지된 시간 동안에 취득된 진동 신호에 대한 액티부 빈에 속하는 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum) 또는 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 데이터를 유효 데이터로 지정하고 주파수 분할 단계(S50)를 시행한다.

[0060] 본 발명의 자가학습형 고장진단 알고리즘(Self-learning Fault Diagnosis Algorithm)은 트랜드 평가에 있어서 skewness 개념을 도입할 수 있다.

- Trend Development Assessment 개요

구분	주기별 Skewness	전체 Skewness
정상구간	N/A	N/A
천이구간	(-) 감소경향	(+) 증가경향
고장구간	(-) 증가경향	(+) 감소경향



[0061]

[0063] 본 발명은 상기에서 언급한 바람직한 실시예와 관련하여 설명됐지만, 본 발명의 범위가 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 범위는 이하의 특허청구범위에 의하여 정하여지는 것으로 본 발명과 균등 범위에 속하는 다양한 수정 및 변형을 포함할 것이다.

[0064] 아래의 특허청구범위에 기재된 도면부호는 단순히 발명의 이해를 보조하기 위한 것으로 권리범위의 해석에 영향을 미치지 아니함을 밝히며 기재된 도면부호에 의해 권리범위가 좁게 해석되어서는 안될 것이다.

부호의 설명

[0066] 10: 가속도계

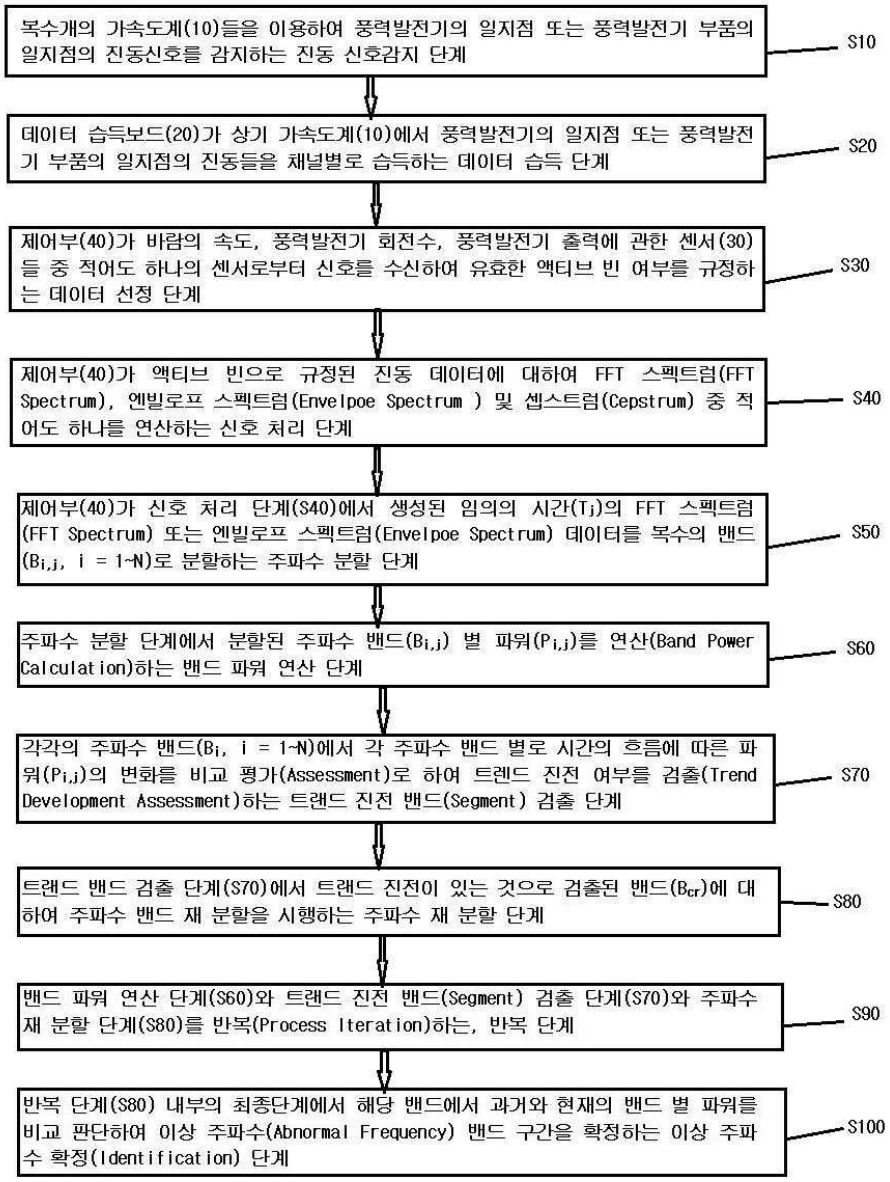
20: 데이터 습득보드

30: 윈드, 회전수, 출력 센서

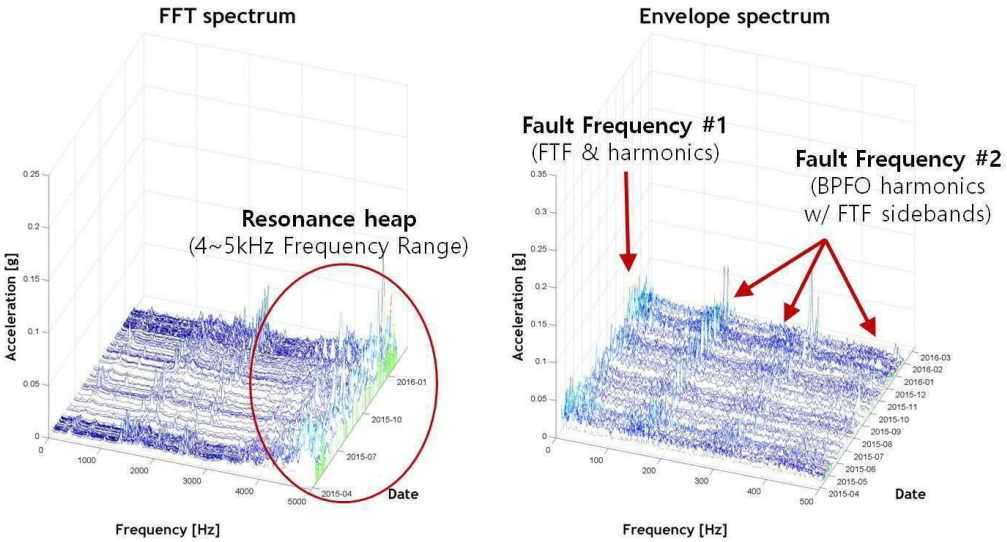
40: 제어부

도면

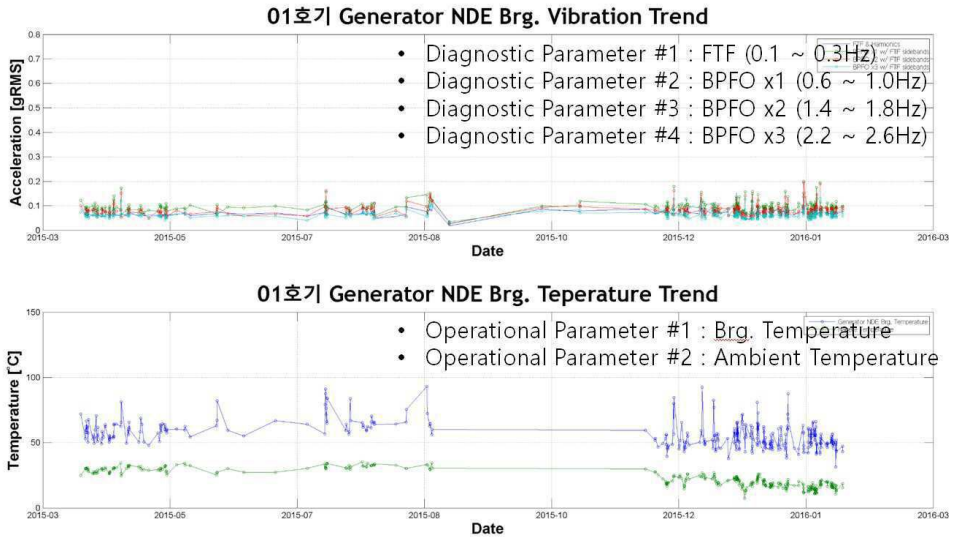
도면1


복수개의 가속도계(10)들을 이용하여 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동신호를 감지하는 진동 신호감지 단계
S10
데이터 습득보드(20)가 상기 가속도계(10)에서 풍력발전기의 일지점 또는 풍력발전기 부품의 일지점의 진동들을 채널별로 습득하는 데이터 습득 단계
S20
제어부(40)가 바람의 속도, 풍력발전기 회전수, 풍력발전기 출력에 관한 센서(30)들 중 적어도 하나의 센서로부터 신호를 수신하여 유효한 액티브 빈 여부를 규정하는 데이터 선정 단계
S30
제어부(40)가 액티브 빈으로 규정된 진동 데이터에 대하여 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum), 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 및 셉스트럼(Cepstrum) 중 적어도 하나를 연산하는 신호 처리 단계
S40
제어부(40)가 신호 처리 단계(S40)에서 생성된 임의의 시간(T_j)의 FFT 스펙트럼(FFT Spectrum) 또는 엔빌로프 스펙트럼(Envelpoe Spectrum) 데이터를 복수의 밴드($B_{i,j}$, i = 1~N)로 분할하는 주파수 분할 단계
S50
주파수 분할 단계에서 분할된 주파수 밴드($B_{i,j}$) 별 파워($P_{i,j}$)를 연산(Band Power Calculation)하는 밴드 파워 연산 단계
S60
각각의 주파수 밴드(B_i, i = 1~N)에서 각 주파수 밴드 별로 시간의 흐름에 따른 파워($P_{i,j}$)의 변화를 비교 평가(Assessment)로 하여 트렌드 진전 여부를 검출(Trend Development Assessment)하는 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계
S70
트랜드 밴드 검출 단계(S70)에서 트랜드 진전이 있는 것으로 검출된 밴드(B_{cr})에 대하여 주파수 밴드 재 분할을 시행하는 주파수 재 분할 단계
S80
밴드 파워 연산 단계(S60)와 트랜드 진전 밴드(Segment) 검출 단계(S70)와 주파수 재 분할 단계(S80)를 반복(Process Iteration)하는, 반복 단계
S90
반복 단계(S80) 내부의 최종단계에서 해당 밴드에서 과거와 현재의 밴드 별 파워를 비교 판단하여 이상 주파수(Abnormal Frequency) 밴드 구간을 확정하는 이상 주파수 확정(Identification) 단계
S100

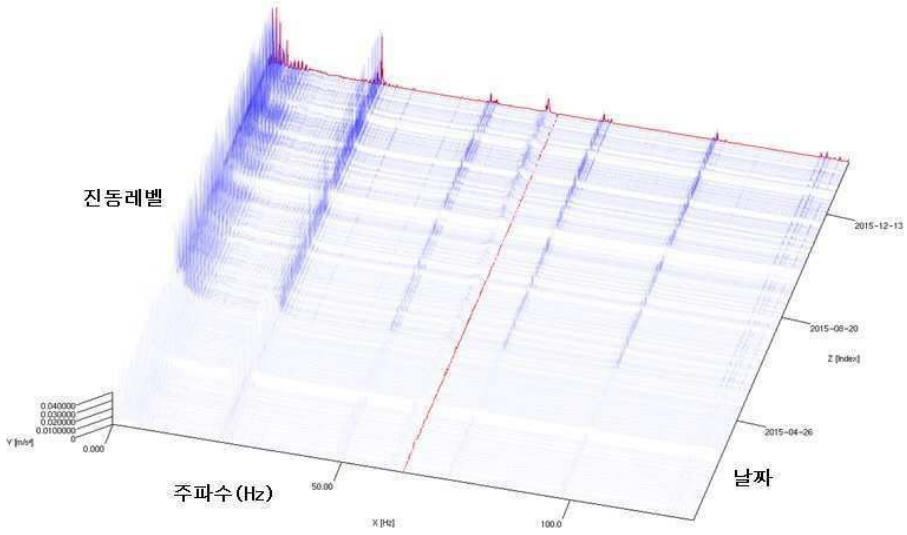
도면2


FFT spectrum
Resonance heap
(4~5kHz Frequency Range)
Acceleration [g]
Frequency [Hz]
Date
Envelope spectrum
Fault Frequency #1
(FTF & harmonics)
Fault Frequency #2
(BPFO harmonics
w/ FTF sidebands)
Acceleration [g]
Frequency [Hz]
Date

도면3

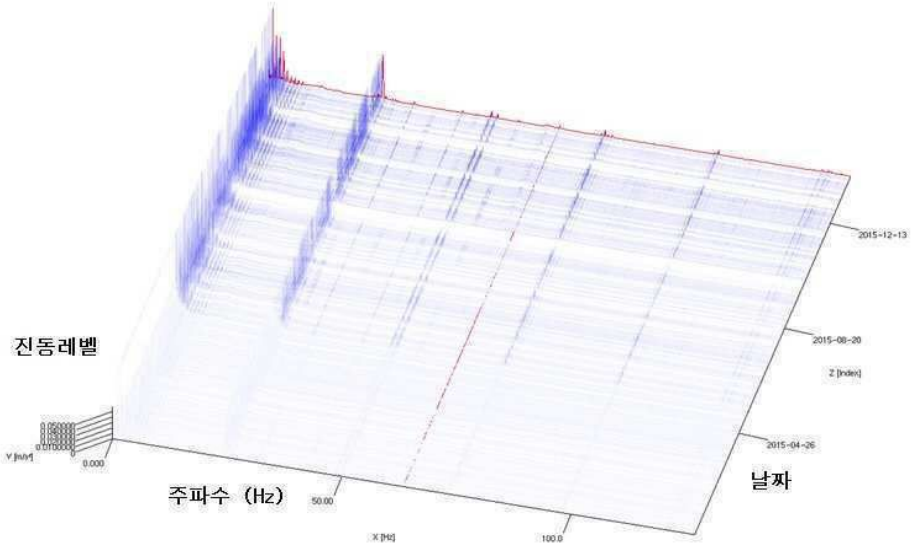

01호기 Generator NDE Brg. Vibration Trend
• Diagnostic Parameter #1 : FTF (0.1 ~ 0.3Hz)
• Diagnostic Parameter #2 : BPFO x1 (0.6 ~ 1.0Hz)
• Diagnostic Parameter #3 : BPFO x2 (1.4 ~ 1.8Hz)
• Diagnostic Parameter #4 : BPFO x3 (2.2 ~ 2.6Hz)
Acceleration [gRMS]
Date
01호기 Generator NDE Brg. Teperature Trend
• Operational Parameter #1 : Brg. Temperature
• Operational Parameter #2 : Ambient Temperature
Temperature [°C]
Date

도면4a



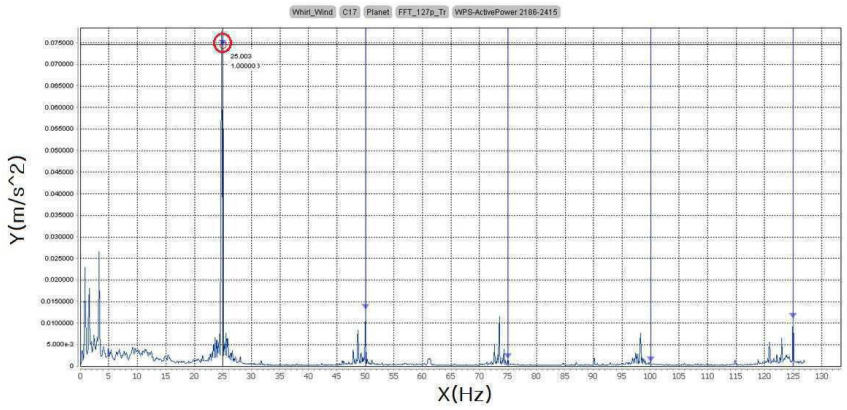
(a) 정상터빈

도면4b



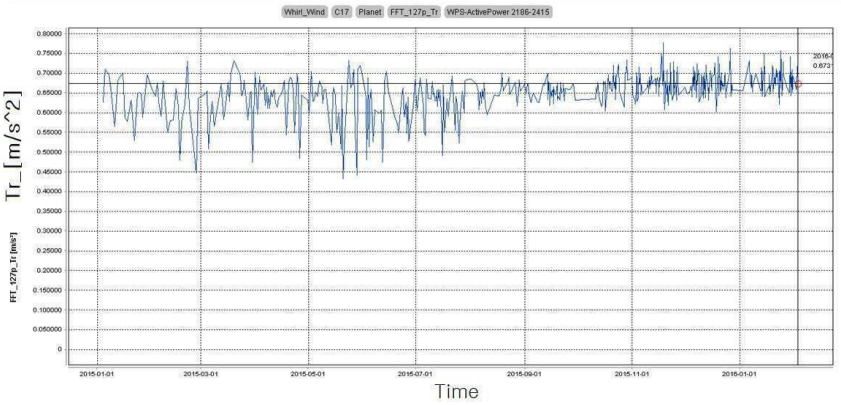
(b) 고장터빈

도면5a



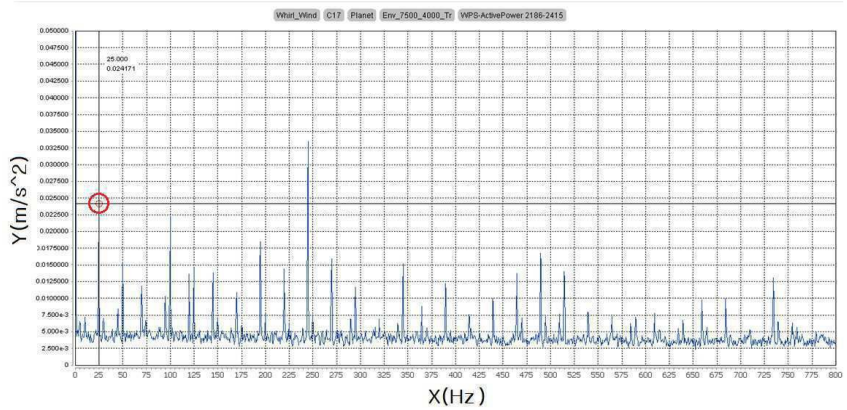
FFT Spectrum

도면5b



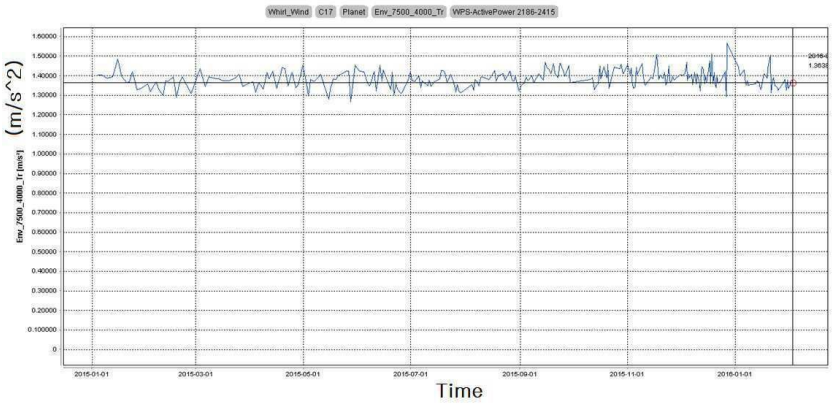
FFT Trend

도면6a



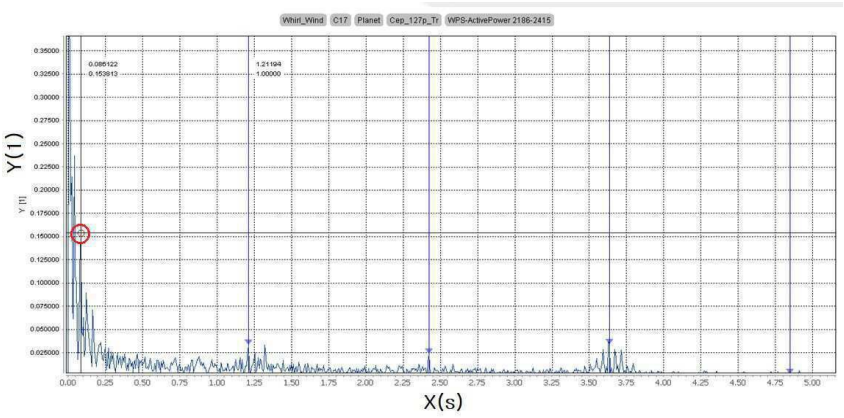
Envelope Spectrum

도면6b



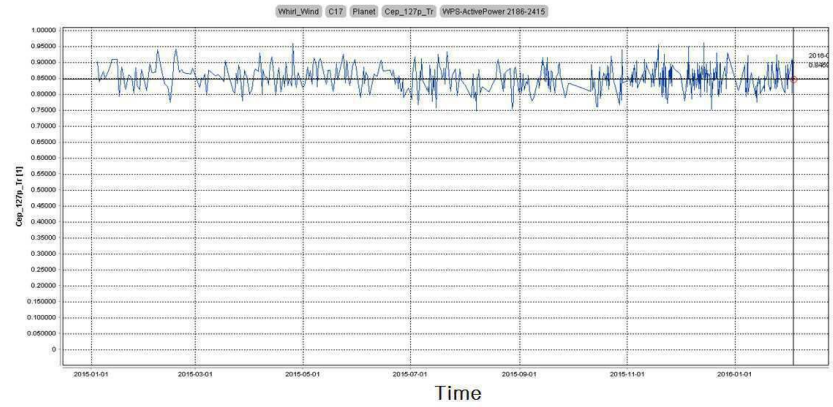
Envelope Trend

도면7a



Cepstrum

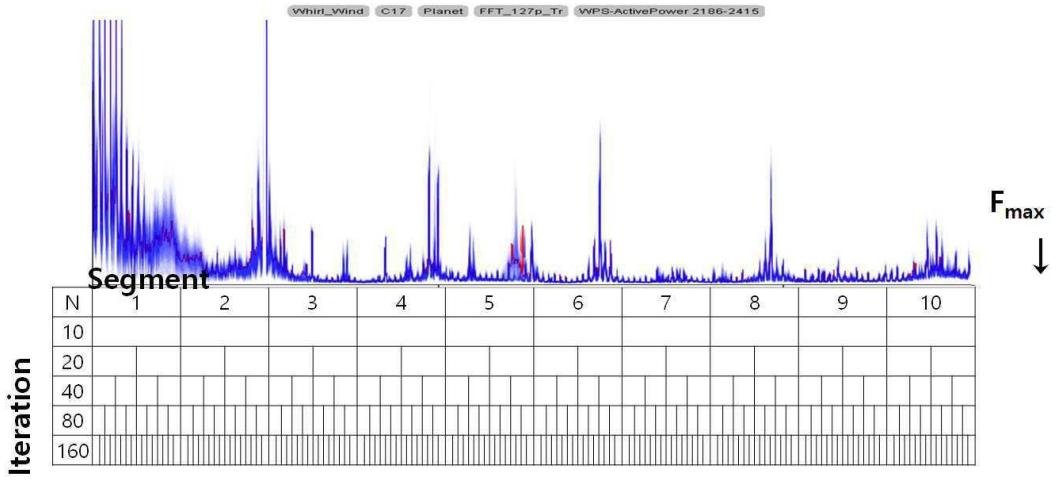
도면7b



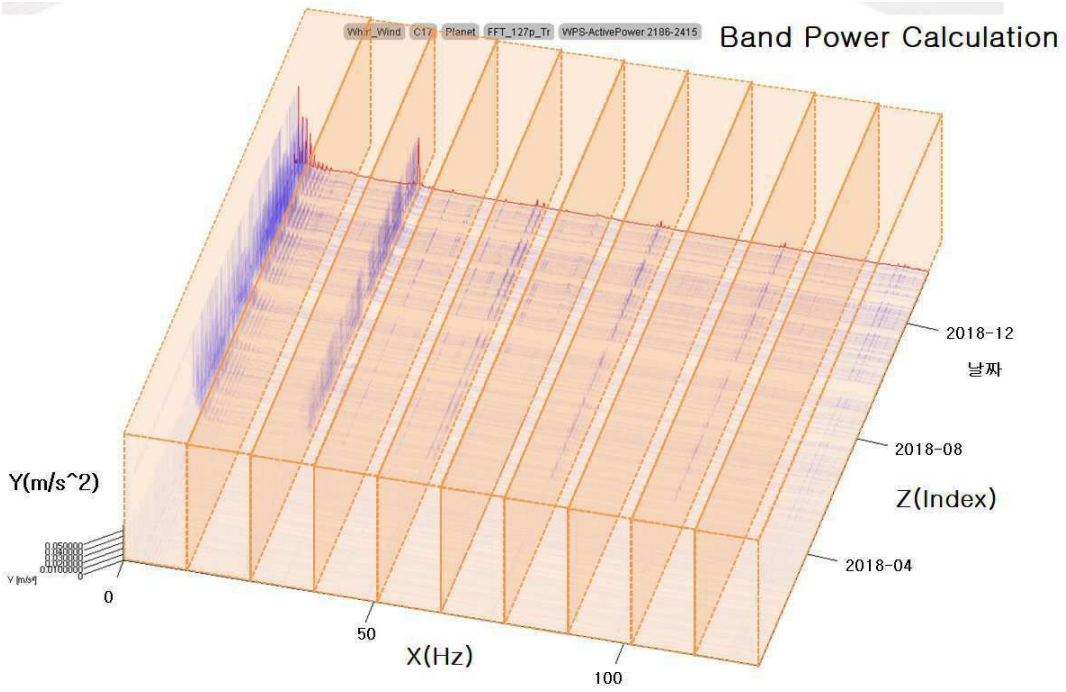
Cepstrum Trend

도면8

- Frequency Segmentation
  - F_{max}, Segment, Iteration

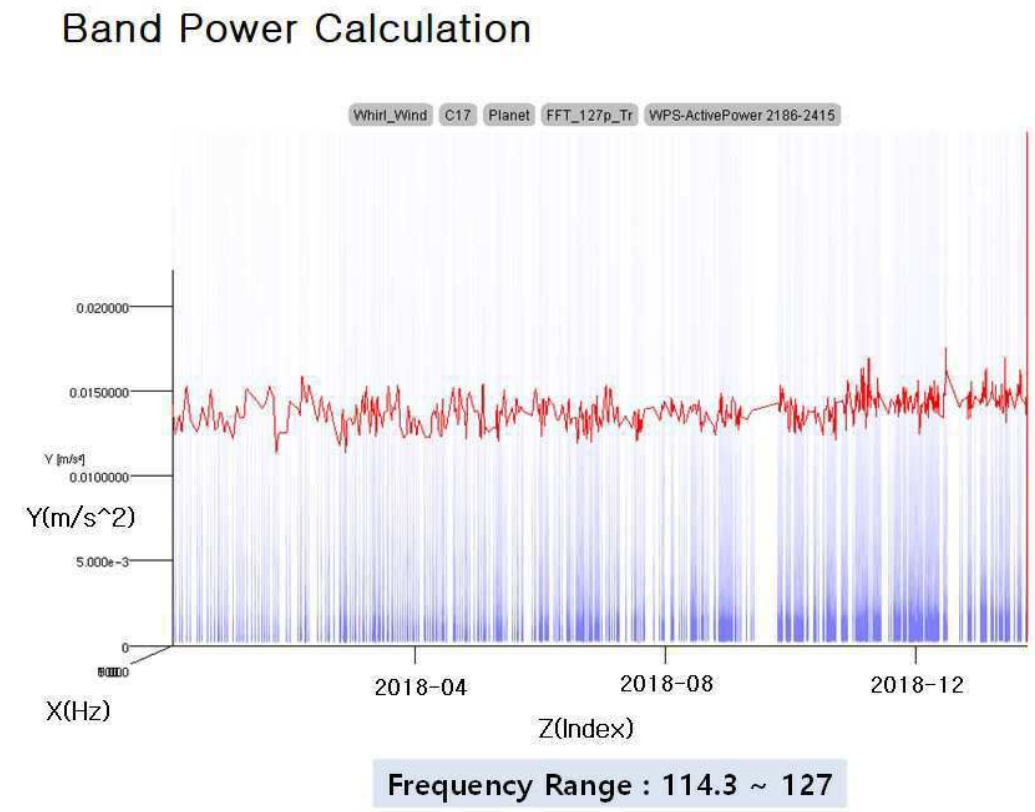


도면9

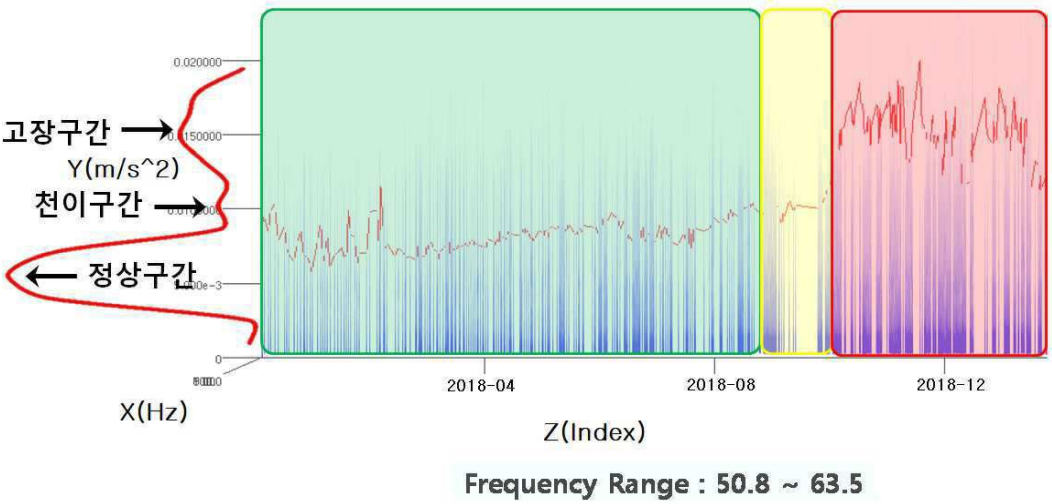


스펙트럼 전체 데이터를 대상으로 각 Frequency Segment 별 Band Power 계산

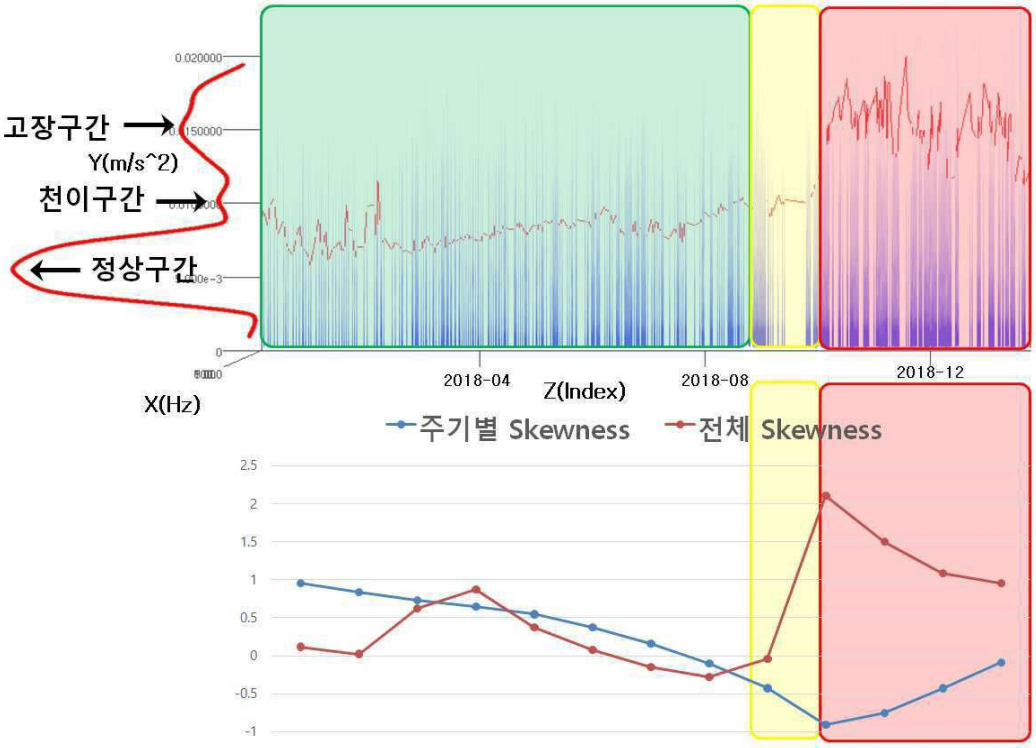
도면10


Band Power Calculation
Whirl_Wind
C17
Planet
FFT_127p_Tr
WPS-ActivePower 2186-2415
0.020000
0.0150000
Y [m/s²]
0.0100000
Y(m/s^2)
5.000e-3
0
2018-04
2018-08
2018-12
X(Hz)
Z(Index)
Frequency Range : 114.3 ~ 127

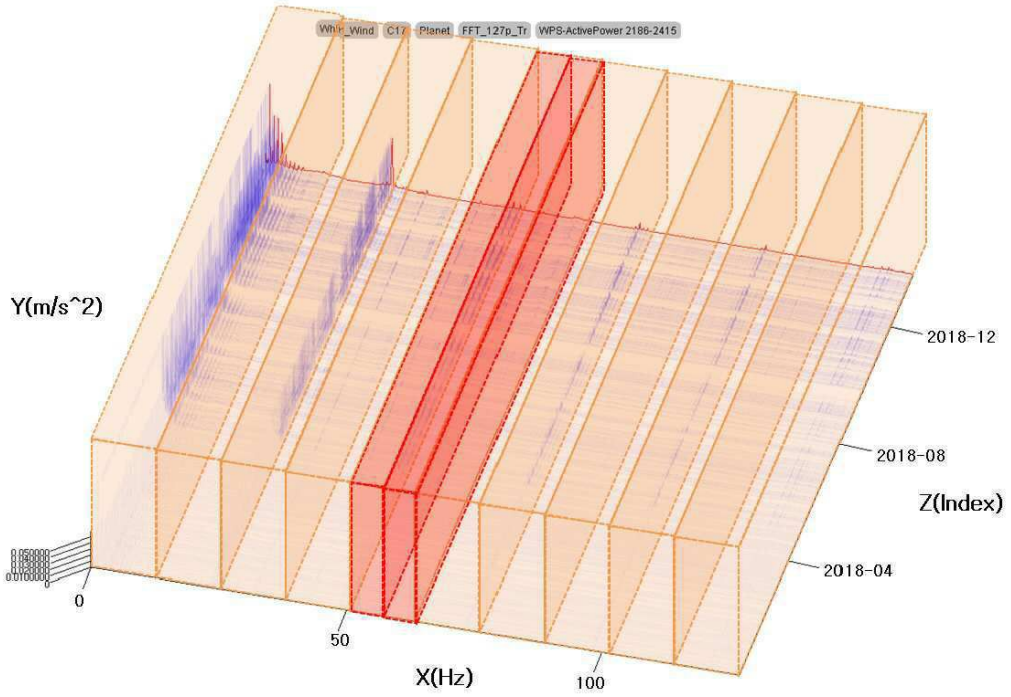
도면11


0.020000
고장구간
Y(m/s^2)
천이구간
정상구간
0
2018-04
2018-08
2018-12
X(Hz)
Z(Index)
Frequency Range : 50.8 ~ 63.5

도면12



도면13



Trend development 검출된 Segment 대상으로
Frequency Segmentation 및 Band Power 계산 반복