



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년12월14일

(11) 등록번호 10-1576799

(24) 등록일자 2015년12월07일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F03D 11/00 (2006.01) *F03D 11/04* (2006.01)
G01B 21/32 (2006.01) *G01C 9/00* (2006.01)
G01L 5/00 (2006.01) *G01P 15/00* (2006.01)
G06F 17/50 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
F03D 11/0091 (2013.01)
F03D 11/045 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-0028530
- (22) 출원일자 2015년02월27일
 심사청구일자 2015년02월27일
- (56) 선행기술조사문헌
 JP2004-177156 A
 KR10-1452171 B1
 KR10-2012-0050704 A

- (73) 특허권자
 한국해양과학기술원
 경기도 안산시 상록구 해안로 787 (사동)
- (72) 발명자
 이진학
 경기도 안산시 상록구 감골2로 47, 205-201 (사동, 요진아파트)
 정병진
 경기도 군포시 송부로221번길 3-13, 412-801(부곡동, 휴먼시아)
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 김정수

전체 청구항 수 : 총 10 항

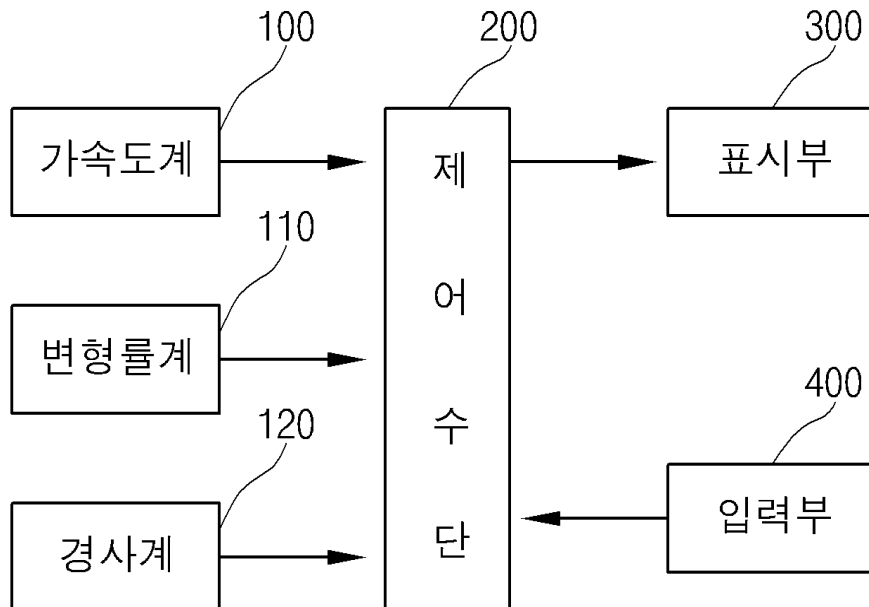
심사관 : 박종오

(54) 발명의 명칭 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 계측이 용이한 지지구조물의 임의의 계측지점에서 정적응답과 동적응답을 계측하여 이를 이용하여 계측하고자 하는 목표 지점 즉, 응력 집중부에서의 응력 및 피로수명을 평가하는 풍력터빈 기초의 피로수명 평가 장치 및 그 방법에 관한 것이다. 본 발명에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치는 지지 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



구조물에 장착되어 가속도를 측정하도록 구성된 가속도계; 지지구조물에 장착되어 변형률을 측정하도록 구성된 변형률계; 지지구조물에 장착되어 경사도를 측정하도록 구성된 경사계; 풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하고, 가속도계, 변형률계 및 경사계로부터 측정된 결과를 이용하여 수치해석 모델을 개선하며, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하며, 목표지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득하며, 이 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하도록 구성된 제어수단; 및 제어수단으로부터 출력되는 표시 제어 신호를 입력받아 디스플레이하도록 구성된 표시부를 포함한다.

(52) CPC특허분류

- G01B 21/32 (2013.01)
- G01C 9/00 (2013.01)
- G01L 5/00 (2013.01)
- G01P 15/00 (2013.01)
- G06F 17/5009 (2013.01)
- G06F 17/5086 (2013.01)

심성한

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 801-3호

(72) 발명자

원덕희

서울특별시 송파구 백제고분로32길 18-11, 202호(삼전동 165-13)

박중웅

서울특별시 송파구 가락로 187, 2동 107호(송파동, 한양아파트1차)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	세부과제 : PM58500
부처명	국토교통부
연구관리전문기관	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	풍력발전타워 계측평가 및 유지관리 기술 개발
연구과제명	풍력발전타워 계측평가 및 유지관리 기술 개발
기여율	1/1
주관기관	한국해양과학기술원
연구기간	2015.01.01 ~ 2015.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치로서:

상기 지지구조물에 장착되어 가속도를 측정하도록 구성된 가속도계;

상기 지지구조물에 장착되어 변형률을 측정하도록 구성된 변형률계;

상기 지지구조물에 장착되어 경사도를 측정하도록 구성된 경사계;

풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하고, 상기 가속도계, 변형률계 및 경사계로부터 측정된 결과를 이용하여 수치해석 모델을 개선하며, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표 지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하며, 상기 목표지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득하며, 이 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하도록 구성된 제어수단; 및

상기 제어수단으로부터 출력되는 표시 제어 신호를 입력받아 디스플레이하도록 구성된 표시부를 포함하는 것을 특징으로 하는, 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치.

청구항 2

RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치로서:

상기 지지구조물에 장착되어 가속도를 측정하도록 구성된 가속도계;

상기 지지구조물에 장착되어 변형률을 측정하도록 구성된 변형률계;

풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하고, 상기 가속도계 및 변형률계로부터 측정된 결과를 이용하여 수치해석 모델을 개선하며, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하며, 상기 목표지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득하며, 이 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하도록 구성된 제어수단; 및

상기 제어수단으로부터 출력되는 표시 제어 신호를 입력받아 디스플레이하도록 구성된 표시부를 포함하는 것을 특징으로 하는, 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치.

청구항 3

RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치로서:

상기 지지구조물에 장착되어 가속도를 측정하도록 구성된 가속도계;

상기 지지구조물에 장착되어 경사도를 측정하도록 구성된 경사계;

풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하고, 상기 가속도계 및 경사계로부터 측정된 결과를 이용하여 수치해석 모델을 개선하며, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하며, 상기 목표지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득하며, 이 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하도록 구성된 제어수단; 및

상기 제어수단으로부터 출력되는 표시 제어 신호를 입력받아 디스플레이하도록 구성된 표시부를 포함하는 것을 특징으로 하는, 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 중의 어느 한 항에 있어서,

지지구조물의 보수 및 보강이 완료되었음을 나타내는 키조작 신호를 상기 제어수단에 입력하도록 구성된 입력부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치.

청구항 5

RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법으로서:

상기 풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하는 제 1 단계;

상기 지지구조물의 복수의 지점에 설치된 가속도계 및 변형률계 또는 가속도계 및 경사계 또는 가속도계, 변형률계 및 경사계가 각각 각 지점의 가속도 및 변형률 또는 가속도 및 경사도 또는 가속도, 변형률 및 경사도를 계측하는 제 2 단계;

상기 제 2 단계로부터 계측된 가속도 및 변형률 또는 가속도 및 경사도 또는 가속도, 변형률 및 경사도를 이용하여 상기 수치 해석 모델을 개선한 후, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 계측 지점에서의 응답값과 목표 지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하는 제 3 단계; 및

상기 목표 지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득한 후, 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하는 제 4 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 풍력 터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제 4 단계 후에,

상기 잔존 피로 수명이 기설정된 수명보다 짧은 지의 여부를 판단하는 제 5 단계, 및

상기 제 5 단계에서 잔존 피로 수명이 기설정된 수명보다 짧지 않으면 수치 해석 모델 개선후 일정 기간이 지났는지의 여부를 판단하는 제 6 단계를 포함하며;

상기 제 6 단계에서 수치 해석 모델의 개선후 일정 기간이 지나지 않았으면 상기 제 4 단계로 진행되는 것을 특징으로 하는, 풍력 터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 5 단계에서 잔존 피로 수명이 기설정된 수명보다 짧으면 표시부에 지지구조물을 보수 및 보강하라는 문자를 표시부에 디스플레이한 후, 상기 지지구조물의 보수 및 보강이 완료되었다는 키 신호가 입력부를 통해 입력되면 상기 제 3 단계로 진행되는 것을 특징으로 하는, 풍력 터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 제 6 단계에서 수치 해석 모델 개선후 일정 기간이 지났으면 상기 제 3 단계로 진행되는 것을 특징으로 하는, 풍력 터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법.

청구항 9

제 5 항 내지 제 8 항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 제 3 단계에서, 상기 수치 해석 모델의 개선은,

계측 결과의 동특성을 수치 해석 모델과 일치시키는 방법을 이용하며,

민감도 방법, 유전자 알고리즘, 모사풀림기법 및 타부서치 기법 중의 어느 하나의 방법을 도입하는 것을 특징으로 하는, 풍력 터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법.

청구항 10

제 5 항 내지 제 8 항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 제 4 단계에서, 상기 잔존 피로 수명의 평가는 주파수 영역에서의 스펙트럴 기법 또는 시간 영역에서의 레

인플로우 카운팅 방법을 사용하는 것을 특징으로 하는, 풍력 터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치 및 그 방법에 관한 것으로, 특히 계측이 용이한 지지구조물의 임의의 계측지점에서 정적응답과 동적응답을 계측하여 이를 이용하여 계측하고자 하는 목표 지점 즉, 응력 집중부에서의 응력 및 피로수명을 평가하는 풍력터빈 기초의 피로수명 평가 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 풍력터빈은 바람이 가지고 있는 운동에너지를 로터에 의하여 1차적으로 기계적 에너지로 변환하고 발전기에 의하여 2차적으로 전기에너지를 생성하는 장치이다. 이러한 풍력터빈은 에너지를 변환하는 발전시설인 RNA(Rotor Nacelle Assembly)와 이 RNA를 지지하는 지지구조물로 구성되며, 지지구조물은 타워(tower)와 기초(foundation)로 이루어져 있다. 다만, 해상풍력의 경우, 도 4에 도시된 바와 같이, 타워와 기초 사이에 모노파일(monopile), 트라이포드(tripod) 또는 재킷(jacket) 등과 같은 하부 구조물이 존재함으로써 타워로 전해진 하중을 기초로 전달하는 역할을 한다.

[0003] 종래의 풍력터빈의 기초부에서의 응력 측정 방법은 예컨대, 국내 특허 공개 2009-0071422에 개시된 바와 같이, 기초부(100) 내에 자기변형 하중 센서(120)를 매설하는 단계, 외부 액세스용 플러그(414)를 자기변형 하중 센서(120)의 신호 와이어링(222)에 제공하는 단계, 플러그(414)에 측정 전자장치(122)를 연결하는 단계, 및 고정 볼트(110)의 인장 응력을 측정하는 단계를 포함한다.

[0004] 이와 같이 구성된 종래의 응력 측정 방법은 기초와 하부구조물 사이의 연결부에 응력계를 직접 설치하여 실제 발생하는 응력을 계측하는 방식이므로, 시공시 연결부에 응력계가 설치되어 있지 않을 경우 계측이 불가능하며 이 연결부가 항타(driving) 또는 그라우팅(grouting)에 의해 하부구조물 혹은 기초와 연결될 때 응력계가 손상될 가능성이 매우 높다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

(특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1526313호(공고일자:2015.06.09) “피로수명 예측방법”
 (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허공보 제10-1507008호(공고일자:2015.03.30) “해상풍력발전 구조물의 원격 안전도 평가 시스템”

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 따라서, 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위해 이루어진 것으로서, 본 발명의 목적은 설치가 용이한 지지구조물의 임의의 위치에 가속도계, 및 변형률계/경사계를 설치하여 동적응답과 정적응답을 계측하고 이 계측된 응답을 이용하여 응력집중이 발생하는 연결부등 목표 지점에서의 응력을 정확하게 산출하고 이를 이용하여 상기 목표 지점에서의 피로수명을 보다 신뢰성 있게 평가할 수 있는, 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치 및 그 방법을 제공하는 데에 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기의 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치는, RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치로서, 상기 지지구조물에 장착되어 가속도를 계측하도록 구성된 가속도계; 상기 지지구조물에 장착되어 변형률을 측정하도록 구성된 변형률계; 상기 지지구조물에 장착되어 경사도를 측정하도록 구성된 경사계; 풍력터빈의 설계도면을 이용

하여 수치 해석 모델을 구성하고, 상기 가속도계, 변형률계 및 경사계로부터 측정된 결과를 이용하여 수치해석 모델을 개선하며, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하며, 상기 목표지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득하며, 이 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하도록 구성된 제어수단; 및 상기 제어수단으로부터 출력되는 표시 제어 신호를 입력받아 디스플레이하도록 구성된 표시부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0007] 상기의 목적을 달성하기 위해 본 발명의 다른 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치는, RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치로서, 상기 지지구조물에 장착되어 가속도를 측정하도록 구성된 가속도계; 상기 지지구조물에 장착되어 변형률을 측정하도록 구성된 변형률계; 풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하고, 상기 가속도계 및 변형률계로부터 측정된 결과를 이용하여 수치해석 모델을 개선하며, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하며, 상기 목표지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득하며, 이 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하도록 구성된 제어수단; 및 상기 제어수단으로부터 출력되는 표시 제어 신호를 입력받아 디스플레이하도록 구성된 표시부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 상기의 목적을 달성하기 위해 본 발명의 또 다른 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치는, RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치로서, 상기 지지구조물에 장착되어 가속도를 측정하도록 구성된 가속도계; 상기 지지구조물에 장착되어 경사도를 측정하도록 구성된 경사계; 풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하고, 상기 가속도계 및 경사계로부터 측정된 결과를 이용하여 수치해석 모델을 개선하며, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하며, 상기 목표지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득하며, 이 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하도록 구성된 제어수단; 및 상기 제어수단으로부터 출력되는 표시 제어 신호를 입력받아 디스플레이하도록 구성된 표시부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 본 발명의 실시형태들에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치에 있어서, 지지구조물의 보수 및 보강이 완료되었음을 나타내는 키조작 신호를 상기 제어수단에 입력하도록 구성된 입력부를 더 포함할 수 있다.

[0010] 상기의 목적을 달성하기 위해 본 발명의 또 다른 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법은, RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법으로서, 상기 풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하는 제 1 단계; 상기 지지구조물의 복수의 지점에 설치된 가속도계와, 변형률계 또는 경사계가 각 지점의 가속도와, 변형률 또는 경사도를 측정하는 제 2 단계; 상기 제 2 단계로부터 측정된 가속도와, 변형률 또는 경사도를 이용하여 상기 수치 해석 모델을 개선한 후, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표 지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하는 제 3 단계; 및 상기 목표 지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득한 후, 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하는 제 4 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 본 발명의 또 다른 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법에 있어서, 상기 제 4 단계 후에, 상기 잔존 피로 수명이 기설정된 수명보다 짧은지의 여부를 판단하는 제 5 단계, 및 상기 제 5 단계에서 잔존 피로 수명이 기설정된 수명보다 짧지 않으면 수치 해석 모델 개선 후 일정 기간이 지났는지의 여부를 판단하는 제 6 단계를 포함하며; 상기 제 6 단계에서 수치 해석 모델의 개선 후 일정 기간이 지나지 않았으면 상기 제 4 단계로 진행될 수 있다.

[0012] 상기 본 발명의 또 다른 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법에 있어서, 상기 제 5 단계에서 잔존 피로 수명이 기설정된 수명보다 짧으면 표시부에 지지구조물을 보수 및 보강하라는 문자를 표시부에 디스플레이한 후, 상기 지지구조물의 보수 및 보강이 완료되었다는 키 신호가 입력부를 통해 입력되면 상기 제 3 단계로 진행될 수 있다.

[0013] 상기 본 발명의 또 다른 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법에 있어서, 상기 제 6 단계에서 수치 해석 모델 개선 후 일정 기간이 지났으면 상기 제 3 단계로 진행될 수 있다.

[0014] 상기 본 발명의 또 다른 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법에 있어서, 상기 제 3 단계에서, 상기 수치 해석 모델의 개선은, 측정 결과의 동특성을 수치 해석 모델과 일치시키는 방법을 이용하며, 민감도 방법, 유전자 알고리즘, 모사풀림기법 및 타부서치 기법 중의 어느 하나의 방법을 도입할 수 있다.

[0015] 상기 본 발명의 또 다른 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법에 있어서, 상기 제 4 단계에서, 상기 잔존 피로 수명의 평가는 주파수 영역에서의 스펙트럴 기법 또는 시간 영역에서의 레인플로우 카운팅(Rainflow Counting) 방법을 사용할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명의 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치 및 그 방법에 의하면, 설치가 용이한 지지구조물의 임의의 위치에 가속도계와 변형률계/경사계를 설치하여 응답값을 측정하여서 목표 지점에서의 피로수명을 평가하는 방식이므로, 시공시에 지지구조물의 연결부(타워와 하부구조물, 또는 하부구조물과 기초 사이의 연결부)에 측정 센서를 설치하지 않아도 목표 지점(연결부)에서의 피로수명을 평가할 수 있다는 효과가 있다.

[0017] 또한, 본 발명의 실시형태에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치 및 그 방법에 의하면, 임의의 위치에 설치된 가속도계와 변형률계/경사계로 동적응답과 정적응답을 측정하고 이 측정된 응답을 이용하여 목표 지점에서의 피로수명을 평가하는 방식이므로, 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 보다 신뢰성 있게 평가할 수 있다는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 실시예에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치의 구성을 나타내는 상세회로도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법을 설명하기 위한 플로우차트이다.

도 3은 도 1의 평가 장치에 의해 정적 응답과 동적 응답이 측정되어 피로 수명이 신뢰성 있게 평가될 수 있다는 개념을 설명하는 도면이다.

도 4는 일반적인 해상에 설치되는 풍력터빈의 구성을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 본 발명의 실시예를 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치의 구성을 나타내는 상세회로도이다.

[0021] 본 발명의 실시예에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치는 도 4에 도시된 RNA와 지지구조물을 포함하는 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치로서, 가속도계(100), 변형률계(110), 경사계(120), 제어수단(200), 표시부(300) 및 입력부(400)를 포함한다.

[0022] 가속도계(100)는 지지구조물에 장착되어 가속도를 측정하는 센서로서, 일반적으로 DC 성분인 정적응답(static response) 보다는 0.1 Hz ~ 1 Hz 이상의 동적응답(dynamic response)을 측정하는데 활용된다.

[0023] 변형률계(110)는 지지구조물에 장착되어 변형률을 측정하는 센서로서, DC 성분 즉, 정적응답으로부터 수 Hz 정도의 저주파수 영역(low frequency range)의 응답을 잘 측정할 수 있는 성능을 가진다.

[0024] 경사계(120)는 지지구조물에 장착되어 경사도를 측정하도록 구성된 센서로서, 변형률계(110)와 마찬가지로 DC 성분 즉, 정적응답으로부터 수 Hz 정도의 저주파수 영역의 응답을 잘 측정할 수 있는 성능을 가진다.

[0025] 제어수단(200)은 본 발명의 장치 전체를 제어하는 마이크로컴퓨터로서, 가속도계(100), 변형률계(110), 경사계(120), 표시부(300) 및 입력부(400)와 유,무선통신가능한 단말장치(예컨대, 노트북, 퍼스널컴퓨터, PDA, PMP, 스마트폰 등)이면 특별히 제한되지 않는다. 제어수단(200)은 풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성하고, 가속도계(100), 변형률계(110) 및 경사계(120)로부터 측정된 결과를 이용하여 수치해석 모델을 개선하며, 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 측정 지점에서의 응답값과 목표지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하며, 목표지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득하며, 이 획득된 응력값을 이용하여 잔존 피로 수명을 평가하도록 구성되어 있으며, 이에 대한 상세한 설명은 후술하기로 한다.

[0026] 표시부(300)는 제어수단(200)으로부터 출력되는 표시 제어 신호를 입력받아 디스플레이하는 역할을 한다.

- [0027] 입력부(400)는 유저의 조작에 의해 키조작 신호를 제어수단(200)에 입력하도록 구성된 입력장치이다.
- [0028] 한편, 본 실시예에서는 변형률계(110) 및 경사계(120)를 모두 포함하는 것을 예로 들었으나, 둘 중 어느 하나만을 구비할 수도 있다.
- [0029] 상기와 같이 구성된 본 발명의 실시예에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 장치의 작용을 설명하기로 한다.
- [0030] 도 2는 본 발명의 실시예에 의한 풍력터빈의 지지구조물에서의 피로수명을 평가하는 방법을 설명하기 위한 플로우차트로서, 여기서 S는 스텝(step)을 의미한다.
- [0031] 먼저, 제어수단(200)은 평가하고자 하는 풍력터빈의 설계도면을 이용하여 수치 해석 모델을 구성한다(S10).
- [0032] 이어서, 풍력터빈의 지지구조물의 임의의 복수 지점에 설치된 가속도계(100)와, 변형률계(110) 또는 경사계(120)가 각 지점의 가속도와, 변형률 또는 경사도를 계측한다(S20).
- [0033] 제어수단(200)은 스텝(S20)으로부터 계측된 가속도와, 변형률 또는 경사도를 이용하여 수치 해석 모델을 개선한 후(S30), 개선된 수치 해석 모델을 이용하여 계측 지점에서의 응답값과 목표 지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성한다(S40).
- [0034] 수치 해석 모델의 개선 스텝(S30)에 대해 상세히 설명하기로 한다. 수치 해석 모델 개선을 위해서는 계측 결과의 동특성을 수치해석에 의한 모델과 일치시키는 방법을 이용할 수 있으며, 구체적으로는 민감도 방법, 유전자 알고리즘, 모사풀림기법(simulated annealing) 및 타부서치(tabu search) 기법 등의 여러 최적화 기법 중 하나를 도입할 수 있다. 동특성을 이용하는 경우 일반적인 목적함수(objective function)는 [수학식 1]과 같이 고유진동수와 모드형상을 이용하여 구성할 수 있다. 이 목적함수를 최소화시킨다는 것은 결국 계측자료로 구한 현상에서의 동특성과 수치해석으로 구한 동특성이 서로 일치함을 의미하게 되어, 수치해석 모델의 신뢰성이 높아지는 효과를 기대할 수 있게 된다.

수학식 1

$$Obj = \sum_{i=1}^{N_{modes}} w_{f_i} |f_i^m - f_i^c| + \sum_{i=1}^{N_{modes}} w_{\phi_i} |\phi_i^m - \phi_i^c|_2$$

- [0035]
- [0036] [여기서 w_{f_i} 는 i 번째 고유진동수의 차이에 대한 가중치, f_i^m 과 f_i^c 는 각각 계측자료 및 수치해석으로 구한 i 번째 고유진동수이며, w_{ϕ_i} 는 i 번째 모드형상의 차이에 대한 가중치, ϕ_i^m 과 ϕ_i^c 는 각각 계측자료 및 수치해석으로 구한 i 번째 모드형상이다. $|\cdot|_2$ 은 벡터의 2차 놈(norm)값이다]
- [0037] 계측 지점에서의 응답값과 목표 지점에서의 변형률 사이의 관계식을 구성하는 스텝(S40)에 대해 좀더 상세히 설명하기로 한다. 예컨대, 풍력터빈의 경우 지배적인 외력이 허브 높이에서 작용하는 추력(thrust force)이므로 허브 높이에서 단위 하중을 작용시켜, 센서가 위치한 지점에서의 정적 변위 응답(static displacement response)(u_i)과 구하고자 하는 목표 지점에서의 변형률(ϵ_j), 즉 연결부에서의 변형률을 구하게 되고, 이 두 사이의 관계($T_{u_i - \epsilon_j}$)를 [수학식 2]와 같이 획득할 수 있다.

수학식 2

$$\epsilon_j = T_{u_i - \epsilon_j} u_i$$

[0038]

[0039] 한편, 실제 계측되는 응답은 가속도 응답이므로, 가속도 응답으로 변위 응답을 구하기 위해서는 이중적분에 의한 변환 또는 다중 계측에 의한 변환 등의 작업이 필요하다. 이때, 이중적분에 의한 변환의 경우 저주파수 잡음의 영향이 크기 때문에 신뢰성이 떨어질 수 있다. 예를 들어 타워 상부에서의 변위(u_{top})를 타워 상부에 설치된 가속도계와 경사계에서의 계측자료를 이용하여 구하는 경우, [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$\epsilon_j = T_{u_{top} - \epsilon_j} u_{top}$$

[0040]

[0041] 그리고, 타워 상부의 변위와 임의의 위치, 예를 들어 응력 평가가 중요한 타워와 TP 연결부 사이의 변환행렬 $T_{u_{top} - \epsilon_j}$ 은 수치해석에 의하여 구할 수 있다. 한편 수치해석에 의하여 이 관계식을 구하는 데 있어, 단위하중을 재하하여 구할 수도 있으며, 또한 첫 번째 모드형상을 이용하여 구할 수도 있다.

[0041]

[0042] 한편, 계측지점이 여러 지점이고, 계측응답도 여러 가지인 경우 다음과 같이 N_m 개의 계측응답을 목표지점에서의 변형률로 구한 후 최적의 가중치(w_i)를 적용하여 [수학식 4]와 같이 결과를 합성하게 된다.

[0042]

수학식 4

$$\epsilon_j = \sum_{i=1}^{N_m} w_i T_{u_i - \epsilon_j} u_i, \quad \sum_{i=1}^{N_m} w_i = 1$$

[0043]

[0044] 이어서, 제어수단(200)은 스텝(S40)에서 구한 목표 지점에서의 변형률을 이용하여 응력값을 획득한다(S50). 응력값은 [수학식 5]에 의해 획득될 수 있다.

[0044]

수학식 5

$$\text{응력값} = \text{목표지점에서의 변형률} \times \text{탄성계수}$$

[0045]

[0046] 스텝(S55)에서는 제어수단(200)이 스텝(S50)에서 구한 응력의 시간이력자료(time history data)를 이용하여 잔존 피로 수명(remaining fatigue life)을 평가한다. 이때 피로수명은 주파수 영역에서의 스펙트럴 기법 또는 시간영역에서의 레인플로우 카운팅(Rainflow Counting) 방법 등을 적용할 수 있다.

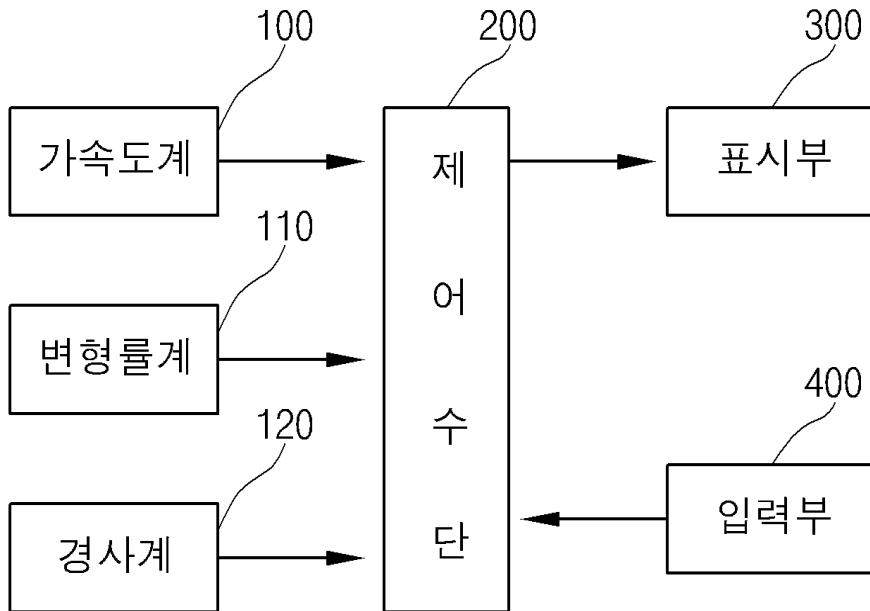
[0046]

[0047] 이어서, 제어수단(200)은 잔존 피로 수명이 기설정된 수명보다 짧은 지의 여부를 판단한다(S60).

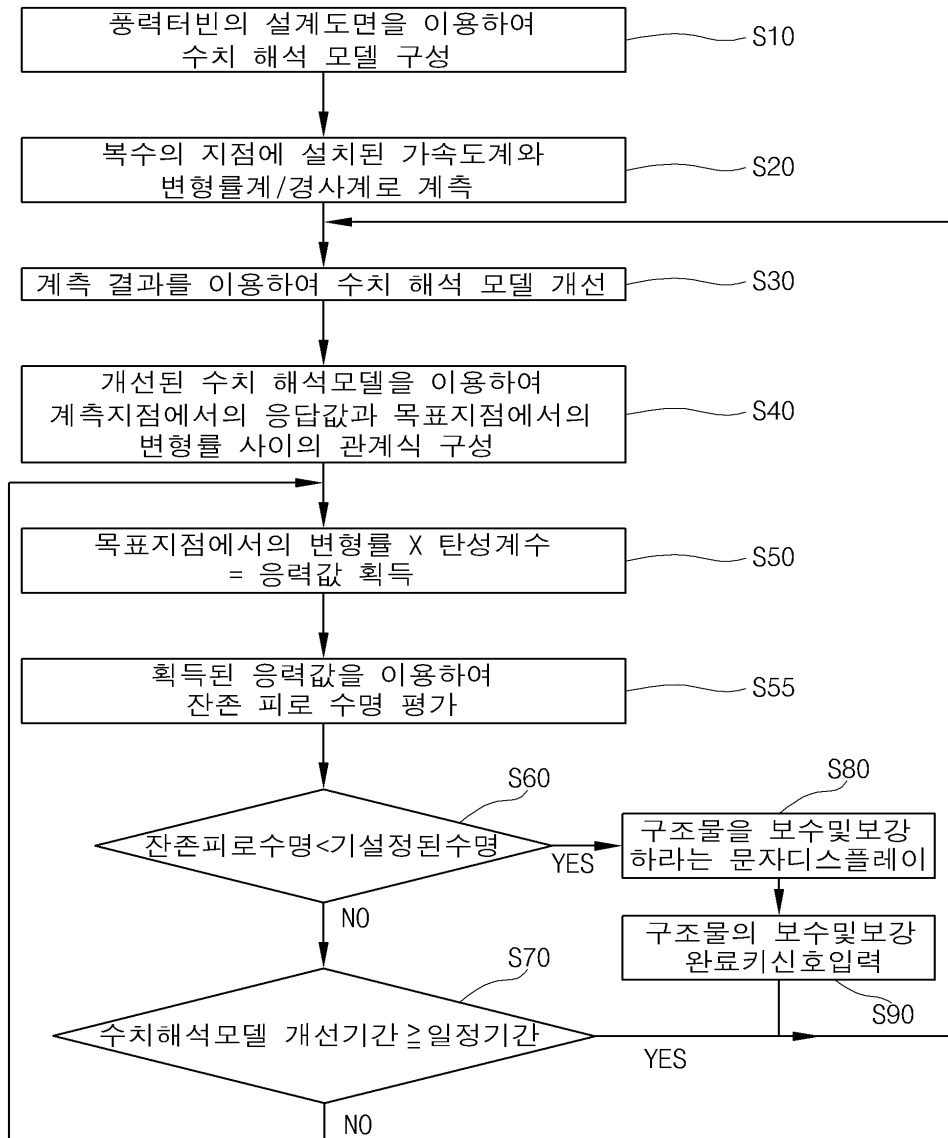
[0047]

도면

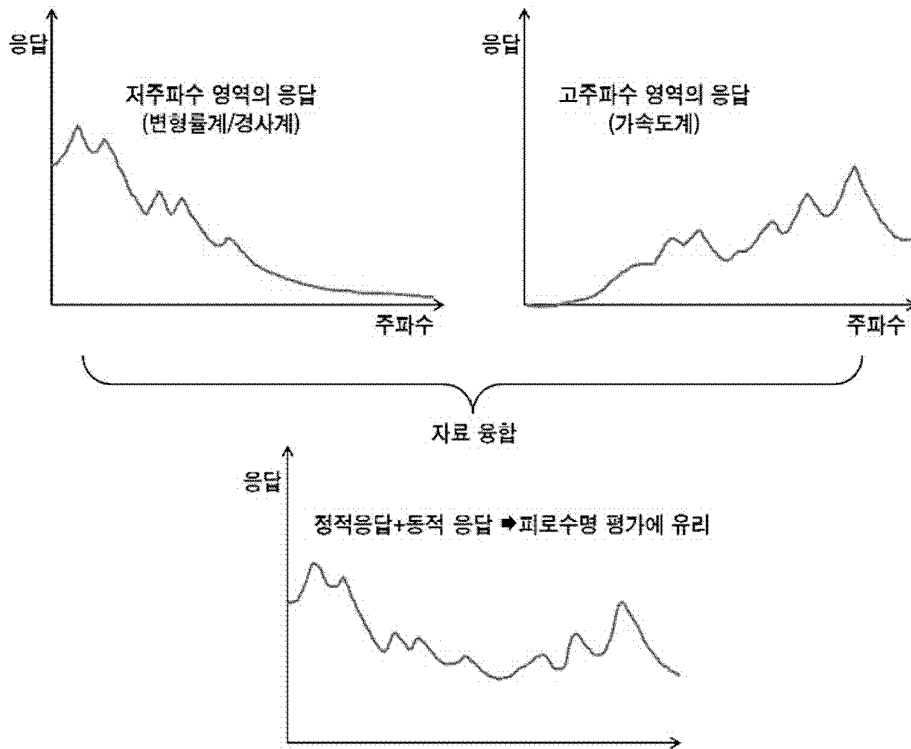
도면1



도면2



도면3



도면4

