(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년10월26일
(11) 등록번호 10-1912434
(24) 등록일자 2018년10월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/88 (2006.01) *G01N 21/95* (2006.01)
G01N 25/72 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/8851 (2013.01)
G01N 21/9515 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0088582
(22) 출원일자 2017년07월12일
심사청구일자 2017년07월12일
(56) 선행기술조사문헌
JP2014240801 A
KR1020120051507 A
KR101320358 B1
KR1020140017789 A

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
안윤규
서울특별시 동대문구 장안벚꽃로 167, 217동 1302호 (장안동, 래미안장안2차아파트)
황순규
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원 건설및환경공학과)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 13 항 심사관 : 최종운

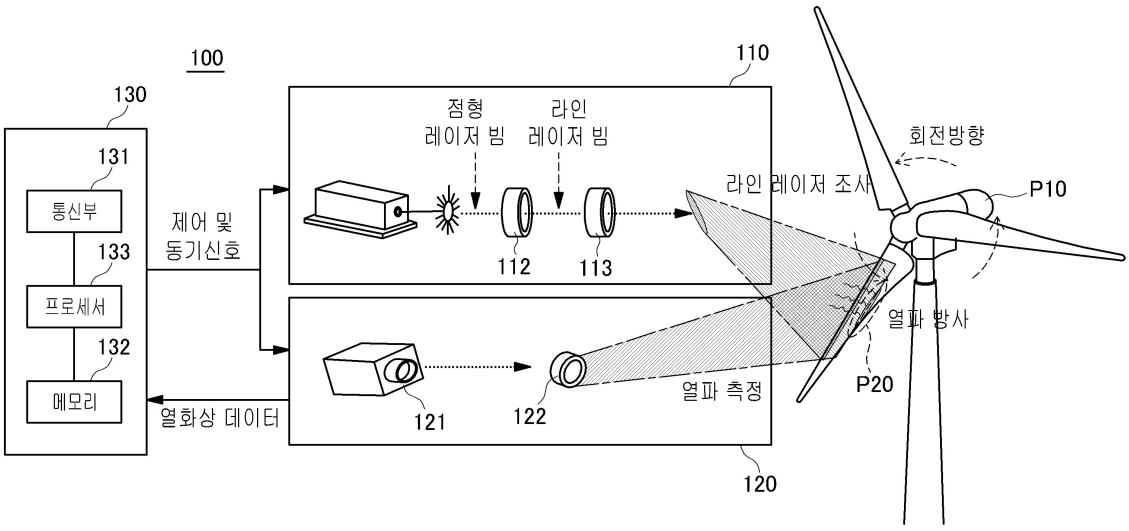
(54) 발명의 명칭 **회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 장치 및 방법**

(57) 요 약

회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 장치 및 그 처리 방법을 제공한다. 이때, 연속파 라인 레이저 열화상 장치는, 회전하는 타겟 회전 구조물에 연속파 라인 레이저(Continuous Wave line laser)를 조사하고; 고정된 시야 영역에 대해서 라인 레이저에 의해 타겟 회전 구조물에서 방사된 열파(thermal wave)를 임의의

(뒷면에 계속)

대 표 도



기간 동안 연속 측정하여 열화상 이미지들을 생성하고; 열화상 이미지들을 직교 좌표(Cartesian coordinate)에서 극 좌표(Polar coordinate)로 변환하는 시공간 통합 좌표 변환(time-spatial-integrated coordinate transformation) 처리하여 타겟 회전 구조물의 실제 회전 모양에서의 열파 양상을 나타내는 통합 이미지로 재구성하고; 통합 이미지에 대해 직교 좌표에서의 불연속 특성 지점을 검출하여 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지를 추출하고; 관심 영역 통합 이미지에 대해 표면 온도 평균을 소거하여 손상 영역만의 열파 양상을 나타내는 손상 이미지를 획득하며; 손상 이미지에 기초하여 손상의 위치 및 크기 중 적어도 하나를 포함하는 손상 정보를 출력한다.

(52) CPC특허분류

G01N 25/72 (2013.01)

G01N 2021/8887 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 16SCIP-C116873-01

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 건설기술연구사업

연구과제명 이종영상 기반 콘크리트 균열평가 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2016.08.29 ~ 2019.08.28

공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 장치에 있어서,

회전하는 타겟 회전 구조물에 연속파 라인 레이저(Continuous Wave line laser)를 조사하는 라인 레이저 공급부;

고정된 시야 영역에 대해서 상기 라인 레이저에 의해 상기 회전하는 타겟 회전 구조물에서 방사된 열파(thermal wave)를 임의의 기간 동안 연속 측정하여 열화상 이미지들을 생성하는 열파 센싱부; 및

상기 열화상 이미지들을 수평 공간, 수직 공간 및 시간에 대한 직교 좌표(Cartesian coordinate)에서 회전각, 수직 공간 및 변형된 시간에 대한 극 좌표(Polar coordinate)로 변환하는 시공간 통합 좌표 변환(time-spatial-integrated coordinate transformation) 처리하여 상기 타겟 회전 구조물의 실제 회전 모양에서의 열파 양상을 나타내는 통합 이미지로 재구성하고, 상기 통합 이미지에 대해 직교 좌표에서의 불연속 특성 지점을 검출하여 상기 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지를 추출하고, 상기 추출된 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지에 대해 표면 온도 평균을 소거하여 손상 영역만의 열파 양상을 나타내는 손상 이미지를 획득하며, 상기 손상 이미지에 기초하여 손상의 위치 및 크기 중 적어도 하나를 포함하는 손상 정보를 출력하는 열화상 처리 제어부를 포함하는 연속파 라인 레이저 열화상 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 열화상 처리 제어부는,

원본 열화상 이미지들에 대해 가우시안 분포에 기초하여 설정된 신뢰 구간을 적용하여 유효 열화상 이미지를 획득하고,

상기 유효 열화상 이미지들을 시공간 통합 좌표 변환 처리하여 극좌표에서의 통합 이미지로 변환하고,

상기 통합 이미지를 회전각, 수직 공간 영역 및 변형된 시간 영역에 대한 직교 좌표로 이동시켜 1차 상미분 처리하여 불연속 특성을 갖는 경계점을 검출하고,

상기 검출된 경계점을 상기 통합 이미지 상에 적용하여 상기 타겟 회전 구조물의 목표 영역을 확정하여 상기 관심 영역 통합 이미지를 획득하는, 연속파 라인 레이저 열화상 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 열화상 처리 제어부는,

상기 관심 영역 통합 이미지에 대해 표면 온도 평균 데이터를 산출하고,

상기 관심 영역 통합 이미지에서 상기 표면 온도 평균 데이터를 소거하여 손상 영역의 표면 온도 데이터를 획득하고,

상기 손상 영역의 표면 온도 데이터에 기초하여 손상 영역 이미지를 획득하고,

상기 손상 영역 이미지를 각 픽셀마다 상기 시공간 통합 좌표 변환에 따른 변형된 시간 축에 대하여 평균 처리하여 점 노이즈 요소가 제거된 손상 평균 이미지를 획득하고,

상기 손상 평균 이미지에 대해 베이불 분포(Weibull dstribution)에 기초한 이진화 처리를 수행하고,

상기 이진화된 손상 평균 이미지에 중앙값 필터(median filter)를 사용하여 노이즈를 제거하여 상기 손상 이미지로서 최종 손상 이미지를 획득하는, 연속파 라인 레이저 열화상 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 열화상 처리 제어부는,

상기 최종 손상 이미지의 픽셀 값에 기초하여 손상의 위치 및 크기를 추정하는, 연속파 라인 레이저 열화상 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 열화상 처리 제어부는,

상기 라인 레이저 공급부 및 상기 열파 센싱부로 각각 상기 라인 레이저의 조사 및 열파 계측에 대한 제어 신호 및 동기화 신호를 전송하는, 연속파 라인 레이저 열화상 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 라인 레이저 공급부는,

연속파 점형 레이저빔(point laser beam)을 발산하는 점형 레이저 출력기;

상기 점형 레이저 출력기로부터 출력된 점형 레이저 빔을 라인 레이저 빔으로 형상을 변조시키는 형상 변조 렌즈; 및

상기 형상 변조 렌즈를 거쳐 출력되는 연속파 라인 레이저 빔을 상기 타겟 회전 구조물의 일 영역을 향해 조사하는 라인 레이저 출력 렌즈를 포함하는, 연속파 라인 레이저 열화상 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 열파 센싱부는,

상기 타겟 회전 구조물에 대하여 설정된 일 영역으로부터 방사된 열파를 포커싱 렌즈를 통해 수신하여 열 전파 형상을 열화상 이미지로 생성하는 열화상 카메라를 포함하는, 연속파 라인 레이저 열화상 장치.

청구항 8

연속파 라인 레이저 열화상 장치의 회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법에 있어서,

회전하는 타겟 회전 구조물에 연속파 라인 레이저(Continuous Wave line laser)를 조사하는 단계;

고정된 시야 영역에 대해서 상기 라인 레이저에 의해 상기 타겟 회전 구조물에서 방사된 열파(thermal wave)를 임의의 기간 동안 연속 측정하여 열화상 이미지들을 생성하는 단계;

상기 열화상 이미지들을 수평 공간, 수직 공간 및 시간에 대한 직교 좌표(Cartesian coordinate)에서 회전각, 수직 공간 및 변형된 시간에 대한 극 좌표(Polar coordinate)로 변환하는 시공간 통합 좌표 변환(time-spatial-integrated coordinate transformation) 처리하여 상기 타겟 회전 구조물의 실제 회전 모양에서의 열파 양상을 나타내는 통합 이미지로 재구성하는 단계;

상기 통합 이미지에 대해 직교 좌표에서의 불연속 특성 지점을 검출하여 상기 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지를 추출하는 단계;

상기 추출된 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지에 대해 표면 온도 평균을 소거하여 손상 영역만의 열파 양상을 나타내는 손상 이미지를 획득하는 단계; 및

상기 손상 이미지에 기초하여 손상의 위치 및 크기 중 적어도 하나를 포함하는 손상 정보를 출력하는 단계를 포

함하는, 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 타겟 회전 구조물의 실제 회전 모양에서의 열파 양상을 나타내는 통합 이미지로 재구성하는 단계는,

원본 열화상 이미지들에 대해 가우시안 분포에 기초하여 설정된 신뢰 구간을 적용하여 유효 열화상 이미지를 획득하는 단계; 및

상기 유효 열화상 이미지들을 시공간 통합 좌표 변환 처리하여 극 좌표에서의 통합 이미지로 변환하는 단계를 포함하는, 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지를 추출하는 단계는,

상기 통합 이미지를 회전각, 수직 공간 영역 및 변형된 시간 영역에 대한 직교 좌표로 이동시켜 1차 상미분 처리하여 불연속 특성을 갖는 경계점을 검출하는 단계; 및

상기 검출된 경계점을 상기 통합 이미지 상에 적용하여 타겟 회전 구조물의 목표 영역을 확정하여 상기 관심 영역 통합 이미지를 획득하는 단계를 포함하는, 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 손상 영역만의 열파 양상을 나타내는 손상 이미지를 획득하는 단계는,

상기 관심 영역 통합 이미지에 대해 표면 온도 평균 데이터를 산출하는 단계;

상기 관심 영역 통합 이미지에서 상기 표면 온도 평균 데이터를 소거하여 손상 영역의 표면 온도 데이터를 획득하는 단계;

상기 손상 영역의 표면 온도 데이터에 기초하여 손상 영역 이미지를 획득하는 단계;

상기 손상 영역 이미지를 각 픽셀마다 상기 시공간 통합 좌표 변환에 따른 변형된 시간 축에 대하여 평균 처리하여 점 노이즈 요소가 제거된 손상 평균 이미지를 획득하는 단계;

상기 손상 평균 이미지에 대해 베이불 분포(Weibull dstribution)에 기초한 이진화 처리를 수행하는 단계; 및

상기 이진화된 손상 평균 이미지에 중앙값 필터(median filter)를 사용하여 노이즈를 제거하여 상기 손상 이미지로서 최종 손상 이미지를 획득하는 단계를 포함하는, 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 손상 정보를 출력하는 단계는,

상기 최종 손상 이미지의 픽셀 값에 기초하여 손상의 위치 및 크기를 추정하는 단계를 포함하는, 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법.

청구항 13

제 8 항에 있어서,

상기 연속파 라인 레이저를 조사하기 위한 제어 신호 및 동기화 신호와, 상기 타겟 회전 구조물로부터 방사된 열파를 측정하여 열화상 이미지를 생성하기 위한 제어 신호 및 동기화 신호를 각각 생성하여 출력하는 단계를 더 포함하는, 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 회전 구조물 모니터링을 위해, 대상 구조물에 연속파 (Continuous Wave, CW) 라인 레이저를 조사한 후 이에 대한 열파를 열화상으로 계측하는 장치 및 그 처리 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 풍력 발전기 등과 같은 회전 구조물의 상태를 모니터링하기 위해서 다양한 기법들이 적용되고 있다.

[0003] 예를 들어, 방사선 촬영기법(radiographic technique)은 방사능을 이용한 기술로서 구조물의 박리(delamination)를 발견하는데 가장 신뢰도가 높은 방식이다. 그러나 방사선 촬영기법은 인체에 유해한 영향 등 안전성 문제로 사용 빈도가 낮아야하며, 대상 구조물과의 거리가 가까워야 한다는 한계가 있다. 다른 예로서 초음파 기법(ultrasonic technique)은 초음파를 통해 구조물 적층 내부를 통과하여 숨어있는 박리를 찾아낼 수 있다. 그러나 초음파 기법은 구조물 검사를 위해 센서가 물과 같은 매개 물질 (Couplent)과 함께 구조물에 접촉되어야 함으로써 회전 구조물에서의 사용이 어려울 뿐만 아니라 신호 처리가 매우 복잡하다는 단점이 있다. 또 다른 예로서, 열화상 촬영기법(IR thermography)은 비접촉 및 비침습적 특성을 가지며 스캐닝 속도가 빠르다. 그러나 기존의 열화상 촬영기법에서는 램프 등의 가진(excitation) 방식을 적용하므로 정밀한 열 가진이 어려워 회전 구조물에 활용성이 떨어지는 문제점이 있다. 이상의 구조물 모니터링 기법들은 풍력 발전기가 정지된 상태에서 적용이 유리하거나 또는 가능한 기술들로서, 회전 구조물을 검사함에 있어 효율적이지 못하다.

[0004] 이와 관련하여, 대한민국 등록특허 제1290137호 (발명의 명칭: 열화상을 이용한 결함 검출 장치 및 검출 방법)은, 검사대상체에 주기적으로 복사열을 가하여 대상물의 온도를 변화시키는 열원, 상기 열원에 의해 변화된 온도를 갖는 대상물의 열화상 이미지를 촬영하는 영상 촬영부, 상기 열원을 일정한 주기로 동작하도록 제어하는 디지털신호와 상기 영상 촬영부의 촬영신호를 생성하고, 상기 영상 촬영부에서 촬영한 열화상 이미지를 2D 형태의 아스키(ASCII)코드로 변환한 후 2D 형태의 아스키(ASCII) 코드를 영상으로 변환하여 상기 검사대상체의 결함을 검출하는 제어부, 제어부가 생성한 디지털신호를 아날로그신호로 변환하여 상기 열원으로 전달하고, 상기 열원이 동작하는 일정한 주기와 영상 촬영부를 동기화하는 인터페이스부, 및 상기 인터페이스부의 출력전압으로 상기 열원의 온도를 제어하기 위해 인터페이스부의 출력전압을 상기 열원의 동작전압까지 증폭시키는 증폭수단을 포함하는, 열화상을 이용한 결함 검출 장치를 개시하고 있다.

[0005] 그러나 회전 구조물 모니터링을 위한 열원으로서 할로겐 램프를 사용함에 따른 단점이 존재하였다. 할로겐 램프의 광원은 발산각이 크기 때문에 원거리 가진이 힘들며, 정밀한 위치 및 세기 제어가 어려워 손상 검출 기술로서 정확도 및 정밀도가 떨어지는 문제가 있었다.

[0006] 이러한 문제점들을 보완하고자, 타겟 회전 구조물이 회전 상태일 경우에도 적용 가능한 구조물 모니터링 기술들이 개발되고 있다.

[0007] 예를 들어, 변형률계(strain gauge), 광섬유 센서(optical fiber sensor) 및 압전센서 (PZT)를 사용하는 풍력 발전기 모니터링 기법이 제안되었다. 그러나, 이 기법은 접촉식 센서 기반의 손상 감지 방식으로서 국부적 응답 계측의 한계가 있어 대형 구조물에 적용이 어려우며, 특히 회전 상태 구조물에 적용 시 케이블 설치 등에 문제가 발생된다. 다른 예로서, 비접촉식 레이저 초음파 기법(non-contact laser ulrasonic technique)이 적용될 수 있다. 그러나, 이 기법의 경우 신호대잡음비가 좋지 않으며, 넓은 영역에 레이저를 조사하기 위해 많은 횟수의 레이저 가진과 센싱이 반복적으로 요구되어 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 또 다른 예로서, 수동적 IR 열화상 기법(passive IR thermography technique)은 특별한 열원을 가진하지 않고 자연적으로 발생하는 열방사를 적외선 카메라(IR camera)로 계측하는 방법이다. 그러나 이 기법 또한 구조물의 표면에서 반사된 빛들이 함께 계측되는 등 외부의 노이즈에 취약하여 정밀 구조물 손상 진단에 적용하기에는 제한적이다.

[0008] 따라서, 회전 중인 구조물에 대해서 효과적으로 손상을 계측 및 검사할 수 있는 모니터링 방법의 개발이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 일 실시예는 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 회전 중인 구조물(예를 들어, 풍력 발전기 블레이드(rotating wind turbine blade))에 대하여 육안으로 확인이 불가능한 손상을 시각화 및 정량화할 수 있는, 회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

[0010] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 측면에 따른 회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 장치는, 회전하는 타겟 회전 구조물에 연속파 라인 레이저(Continuous Wave line laser)를 조사하는 라인 레이저 공급부; 고정된 시야 영역에 대해서 상기 라인 레이저에 의해 상기 타겟 회전 구조물에서 방사된 열파(thermal wave)를 임의의 기간 동안 연속 측정하여 열화상 이미지들을 생성하는 열파 센싱부; 및 상기 열화상 이미지들을 수평 공간, 수직 공간 및 시간에 대한 직교 좌표(Cartesian coordinate)에서 회전각, 수직 공간 및 변형된 시간에 대한 극 좌표(Polar coordinate)로 변환하는 시공간 통합 좌표 변환(time-spatial-integrated coordinate transformation) 처리하여 상기 타겟 회전 구조물의 실제 모양에서의 열파 양상을 나타내는 통합 이미지로 재구성하고, 상기 통합 이미지에 대해 직교 좌표에서의 불연속 특성 지점을 검출하여 상기 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지를 추출하고, 상기 추출된 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지에 대해 표면 온도 평균을 소거하여 손상 영역만의 열파 양상을 나타내는 손상 이미지를 획득하며, 상기 손상 이미지에 기초하여 손상의 위치 및 크기 중 적어도 하나를 포함하는 손상 정보를 출력하게 된다.

[0012] 그리고, 본 발명의 다른 측면에 따른 회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법은, 회전하는 타겟 회전 구조물에 연속파 라인 레이저(Continuous Wave line laser)를 조사하는 단계; 고정된 시야 영역에 대해서 상기 라인 레이저에 의해 상기 타겟 회전 구조물에서 방사된 열파(thermal wave)를 임의의 기간 동안 연속 측정하여 열화상 이미지들을 생성하는 단계; 상기 열화상 이미지들을 수평 공간, 수직 공간 및 시간에 대한 직교 좌표(Cartesian coordinate)에서 회전각, 수직 공간 및 변형된 시간에 대한 극 좌표(Polar coordinate)로 변환하는 시공간 통합 좌표 변환(time-spatial-integrated coordinate transformation) 처리하여 상기 타겟 회전 구조물의 실제 회전 모양에서의 열파 양상을 나타내는 통합 이미지로 재구성하는 단계; 상기 통합 이미지에 대해 직교 좌표에서의 불연속 특성 지점을 검출하여 상기 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지를 추출하는 단계; 상기 추출된 타겟 회전 구조물의 관심 영역 통합 이미지에 대해 표면 온도 평균을 소거하여 손상 영역만의 열파 양상을 나타내는 손상 이미지를 획득하는 단계; 및 상기 손상 이미지에 기초하여 손상의 위치 및 크기 중 적어도 하나를 포함하는 손상 정보를 출력하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0013] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 회전 구조물의 손상을 비파괴/비접촉식으로 검사할 수 있고, 회전 구조물의 넓은 검사 범위를 단시간 내 스캐닝할 수 있으며, 회전 구조물의 손상에 대해 낮은 오보율로 자동적이고 직관적인 시각화가 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 장치의 구성을 나타낸 구조도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기 블레이드에서 박리에 의한 손상 영역에서 나타난 상이한 온도 분포를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기 블레이드에 대한 열화상 이미지에서 목표 영역을 식별하는 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기 블레이드의 목표 영역 통합 이미지를 획득하는 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 손상 영역 추출 처리 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 손상 시각화를 위한 통계적 노이즈 제거 처리 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 10㎜의 박리가 포함된 블레이드 영역에서의 열화상 이미지와 유효 열화상 이미지를 나타냈다.

도 8은 도 7의 유효 열화상 이미지로부터 획득된 통합 이미지와, 관심 영역 통합 이미지, 손상 평균 이미지 및 최종 손상 이미지를 나타냈다.

도 9는 모든 블레이드에 대해 각각 두 영역의 최종 손상 이미지를 나타냈다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전 구조물 모니터링을 위한 열화상 처리 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 본 발명을 명확하게 설명하기 위해 도면에서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다. 또한, 도면을 참고하여 설명하면서, 같은 명칭으로 나타낸 구성일지라도 도면에 따라 도면 번호가 달라질 수 있고, 도면 번호는 설명의 편의를 위해 기재된 것에 불과하고 해당 도면 번호에 의해 각 구성의 개념, 특징, 기능 또는 효과가 제한 해석되는 것은 아니다.

[0016] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미하며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0017] 본 명세서에 있어서 '부(部)' 또는 '모듈'이란, 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 실현되는 유닛(unit), 양방을 이용하여 실현되는 유닛을 포함하며, 하나의 유닛이 둘 이상의 하드웨어를 이용하여 실현되어도 되고, 둘 이상의 유닛이 하나의 하드웨어에 의해 실현되어도 된다.

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 장치의 구성을 나타낸 구조도이다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 연속파 라인 레이저 열화상 장치(100)는, 회전 중인 구조물에 연속파 라인 레이저(continuous-wave line laser)를 조사하고, 이에 의해 회전 구조물에서 방사되는 열파를 계측하여 열화상 이미지(infrared image)를 획득하고, 열화상 이미지를 시공간 통합 좌표 변환(time-spatial-integrated coordinate transformation)을 통해 재구성한 후, 기설정된 시그널 및 이미지 프로세싱을 처리하여 회전 구조물에 대한 손상의 발생 여부 및 그 위치(또는 영역)을 표시하는 손상 시각화를 처리한다. 본 발명의 일 실시예에서는 회전 구조물로서 풍력 발전기 블레이드에 대해 손상 추출 및 시각화 프로세스를 처리하는 것을 설명하도록 한다.

[0020] 도 1에 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 연속파 라인 레이저 열화상 장치(100)는 라인 레이저 공급부(110), 열파 센싱부(120) 및 열화상 처리 제어부(130)를 포함한다.

[0021] 라인 레이저 공급부(110)는 타겟 회전 구조물인 회전 상태의 풍력 발전기 블레이드(P10)로 연속파 라인 레이저를 조사한다. 라인 레이저 공급부(110)는 풍력 발전기 블레이드(P10)에 열파(heat wave)를 발생시키는 일종의 가열 장치(heating unit)일 수 있다.

[0022] 라인 레이저 공급부(110)는 연속파 점형 레이저빔(point laser beam)을 발산하는 점형 레이저 출력기(111), 점형 레이저 출력기(111)로부터 출력된 점형 레이저 빔을 라인 레이저 빔으로 형상을 변조시키는 형상 변조 렌즈(112), 형상 변조 렌즈(112)를 거쳐 출력되는 연속파 라인 레이저 빔을 풍력 발전기 블레이드(P10)를 향해 조사하는 라인 레이저 출력 렌즈(113)를 포함한다. 이때, 형상 변조 렌즈(112)는 연속파 점형 레이저 빔을 라인 레이저 빔으로 변조하는 라인 빔 제너레이터(line beam generator)일 수 있으며, 라인 레이저 출력 렌즈(113)는 F-theta 렌즈를 사용할 수 있다. 라인 레이저 공급부(110)는, 열화상 처리 제어부(130)의 제어에 의해, 움직이는 풍력 발전기 블레이드(P10)의 목표하는 위치에 정확하게 라인 레이저를 조사한다.

[0023] 도 1에서와 같이, 라인 레이저 공급부(110)로부터 출력된 연속파 라인 레이저 빔이 회전 하는 풍력 발전기 블레이드(P10)에 조사됨에 따라, 풍력 발전기 블레이드(P10)로부터 열파(예: radiant energy)(P20)가 방사된다.

[0024] 열파 센싱부(120)는 라인 레이저 공급부(110)가 라인 레이저 빔을 조사한 위치에 대응하여 타겟 회전 구조물(P10)로부터 발생된 열파(P20)를 측정한다. 그리고 열파 센싱부(120)는 타겟 회전 구조물(P10)로부터 측정된 열파 형상을 모사하여 열화상 이미지(즉, 열화상 데이터)를 생성하여 열화상 처리 제어부(130)로 전달한다.

[0025] 열파 센싱부(120)는 열화상 카메라(121) 및 포커싱 렌즈(122)를 포함한다. 이때, 열화상 카메라(121)는 포커싱 렌즈(122)를 통해 수신된 타겟 회전 구조물(P10)의 열 전파 형상을 열화상 이미지로 생성한다. 열화상 카메라(121)는 적외선 측정 카메라(IR 카메라)를 사용할 수 있고, 포커싱 렌즈(122)는 F-theta 렌즈를 사용할 수 있다.

[0026] 열파 센싱부(120)는 타겟 회전 구조물에 대하여 고정된 위치를 지속적으로 센싱하며, 이를 통해 계측된 열 전파 양상을 열화상 이미지(이하, "열화상 이미지"라고 지칭함)로 생성한다.

[0027] 열화상 처리 제어부(130)는 라인 레이저 공급부(110) 및 열파 센싱부(120)를 각각 제어 및 동기화시키며, 열파 센싱부(120)로부터 시간에 따라 계측된 열화상 이미지들을 연속적으로 수신한다. 그리고 열화상 처리 제어부(130)는 수신된 열화상 이미지를 손상 검출을 위한 형태로 재구성하고, 사전에 설정된 시그널 및 이미지 프로세싱을 처리하여 손상 추출 및 시각화를 수행한다.

[0028] 도 1에 도시한 바와 같이, 열화상 처리 제어부(130)는 통신부(131), 메모리(132) 및 프로세서(133)를 포함한다.

[0029] 통신부(131)는 라인 레이저 공급부(110) 및 열파 센싱부(120)와 각각 신호를 송수신하며, 열파 센싱부(120)로부터 수신되는 데이터를 프로세서(133)로 전달한다. 또한, 통신부(131)는 연동되는 외부 장치(미도시)와의 통신을 수행할 수도 있다.

[0030] 메모리(132)에는 회전 구조물의 모니터링을 위한 열화상 처리 프로그램이 저장되어 있다. 이러한 메모리는 전원이 공급되지 않아도 저장된 정보를 계속 유지하는 비휘발성 저장장치 또는 저장된 정보를 유지하기 위하여 전력이 필요한 휘발성 저장장치를 통칭하는 것이다.

[0031] 프로세서(133)는 메모리(132)에 저장된 프로그램을 수행하되, 회전 구조물의 모니터링을 위한 열화상 처리 프로그램의 실행에 따라 다음과 같은 처리들을 수행한다.

[0032] 프로세서(133)는 제어 및 동기화 신호를 라인 레이저 공급부(110)로 전송하며, 이와 동시에 라인 레이저 공급부(110)로 전송한 제어 및 동기화 신호에 대응된 제어 및 동기화 신호를 열파 센싱부(120)로 전송한다. 이에 따라, 라인 레이저 공급부(110)는 제어 및 동기화 신호에 기초하여 연속파 레이저빔을 발산시키고, 병렬적으로 열파 센싱부(120)는 라인 레이저 빔에 의해 타겟 회전 구조물(P10)로부터 방사된 열파를 계측한다.

[0033] 그리고, 프로세서(133)는 열파 센싱부(120)로부터 수신된 열화상 이미지(R 이미지)에 대해서, 타겟 회전 구조물(P10)의 표면 및 내부에 발생된 손상 영역에 대한 정보를 추출하여 이를 시각화한다.

[0034] 이하에서는, 프로세서(133)가 회전 구조물의 열화상 이미지로부터 손상 추출 및 시각화를 처리하는 과정에 대해서 상세히 설명하도록 한다.

[0035] 이에 앞서, 본 발명의 일 실시예에 적용된 연속파 라인 레이저에 의한 타겟 회전 구조물에서의 열파 발진 및 전파에 대해서 설명하도록 한다. 본 발명의 일 실시예에서는, 검출하고자 하는 목표 손상이 '층간 박리(delamination)'인 것을 예로서 설명한다.

[0036] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기 블레이드에서 박리에 의한 손상 영역에서 나타난 상이한 온도 분포를 나타낸 도면이다.

[0037] 도 2에서와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 연속파 라인 레이저 열화상 장치(100)를 통해 풍력 발전기 블레이드에 연속파 라인 레이저 빔을 조사하면, 연속파 라인 레이저 빔에 의해 풍력 발전기 블레이드로부터 열파 전파(thermal wave propagation)가 유도된다.

[0038] 이처럼 타겟 회전 구조물의 표면에 단파 레이저 빔이 조사되면, 그 표면 온도는 아래의 수학식 1을 따른다.

[0039] <수학식 1>

$$T(t) = \frac{I_0}{(\pi \rho k t)^{1/2}}$$

[0040]

[0041] 위의 수학식 1에서, I_0는 열파 크기이고, ρ는 밀도이고, k는 열 전도도이며, t는 시간을 나타낸다.

[0042] 타겟 회전 구조물에 손상이 존재하는 경우 k 값이 손상이 없는 영역과 비교하여 다른 값을 나타내며, 따라서 열파는 손상 영역에서 변화된 k 값에 따라 반사된다.

[0043] 이처럼, 손상이 발생된 표면에서의 표면 온도는 아래의 수학식 2를 따른다.

[0044] <수학식 2>

$$T(t) = \frac{I_0}{(\pi \rho k t)^{1/2}}[1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} R^n \exp(\frac{-n^2 L^2}{\alpha t})]$$

[0045]

[0046] 위의 수학식 2에서, R은 손상 영역에서의 열 반사 계수이고, L은 손상 영역의 깊이이고, n은 반사되는 개수이며, α는 열 확산성을 나타낸다.

[0047] 타겟 회전 구조물에 박리가 발생된 경우 박리에 의해 형성된 얇은 부분을 열파가 통과하는 현상이 발생하며, 이에 따라 손상 영역과 비손상 영역에서 발생된 상이한 온도 분포에 의해 박리를 발견할 수 있다.

[0048] 먼저, 도 3 및 도 4를 참조하여 프로세서(133)가 시공간 통합 좌표 변환(time-spatial-integrated coordinate transformation)에 기반하여, 타겟 회전 구조물로부터 획득된 열파(즉, 열화상 데이터)를 손상 추출 및 시각화에 적합한 열화상 이미지로 재구축하는 과정에 대해서 설명하도록 한다.

[0049] 프로세서(133)는 시공간 통합 좌표 변환을 적용하기 이전에, 열화상 이미지마다 목표로 하는 영역(Region of Interest, ROI)을 지정한다. 이때, 목표 영역(ROI)은 열화상 이미지상에서 라인 레이저 빔에 영향을 받는 유효 영역만을 나타낸다.

[0050] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기 블레이드에 대한 열화상 이미지에서 목표 영역을 식별하는 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[0051] 도 3에서는 라인 레이저 빔의 단면적 프로파일(cross-section profile)과, 이러한 라인 레이저빔의 단면적 프로파일로부터 목표 영역(ROI)의 제한 범위가 결정되는 것을 나타내었다.

[0052] 열화상 카메라(121)는 고정되어 있으므로, 고정된 시야 영역(Field of View, FOV) 내에서 시간의 흐름에 따라 풍력 발전기 블레이드의 물리적 영역이 각각 열화상 이미지로 저장된다. 또한, 형상 변조 렌즈(112)를 통과한 라인 레이저 빔의 열파 분포는 가우시안 분포와 유사하며, 이에 따라 열화상 이미지에서의 열파를 가우시안 분포 신뢰구간 95%로 하여 제한하여 목표 영역(ROI)의 이미지를 얻을 수 있다.

[0053] 이때, 목표 영역의 열화상 이미지는 아래 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

[0054] <수학식 3>

$$R^{ROI}(x, y, t) = R(x, l_{center} - h/2 + y, t), where\ 1 \le x \le h$$

[0055]

[0056] 위의 수학식 3에서 R^{ROI}는 목표 영역의 열화상 이미지(이하, "유효 열화상 이미지"라고 지칭함)를 의미하고, h는 목표 영역의 높이를 의미하고, l_{center}는 조사 중심점을 나타내고, x는 공간의 수평 영역이고, y는 공간의 수직 영역이며, t는 시간 영역을 나타낸다.

[0057] 프로세서(133)는 유효 열화상 이미지를 시공간 통합 좌표 변환에 기반하여 유효 열화상 이미지의 통합 이미지(Integrated ROI, I^{ROI})로 변환한다.

[0058] 이때, 목표 영역 통합 이미지는 아래의 수학식 4를 통해 획득된다.

[0059] <수학식 4>

$$\begin{bmatrix}\theta\\ y\\ t^*\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 0 & \omega\\ 0 & 1 & 0\\ \frac{1}{v} & 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\\ t\end{bmatrix}$$

[0060]

[0061] 위의 수학식 4에서 ω는 회전 구조물의 각속도, v 는 회전구조물 대상 위치에서의 선속도를 의미한다.

[0062] 앞서 설명한 유효 열화상 이미지는 직교 좌표(Cartesian coordinate)에서 풍력 발전기 블레이드의 열파 양상을 표현하며, x는 수평 공간 영역을 표현하고, y는 수직 공간 영역을 표현하고, t는 시간 영역을 표현한다.

[0063] 이에 비해, 통합 이미지는 극 좌표(Polar coordinate)에서 풍력 발전기 블레이드의 열파 양상을 표현하며, 이때 θ는 풍력 발전기 블레이드의 회전각을 표현하고, y는 수직 공간 영역을 표현하고, t^*는 변환된 시간 영역을 표현한다. 이러한 통합 이미지는, 풍력 발전기 블레이드의 실제 회전 모양에서 열파 양상을 나타낸다.

[0064] 한편, 연속파 라인 레이저 열화상 장치(100)는 연속하여 열화상 이미지를 취득하므로, 통합 이미지에는 풍력 발전기 블레이드를 제외한 불필요한 부분이 포함된다. 따라서 프로세서(133)는 시공간 통합 좌표 변환을 통해 획득한 통합 이미지를 다시 직교 좌표(Cartesian coordinate)로 이동시켜, 1계 상미분(1^{st} order differential)을 통해 불연속 특성을 갖는 지점(즉, 경계 지점)을 검출하여 풍력 발전기 블레이드 부분만 추출한다. 이를 통해, 프로세서(133)는 최종적으로 풍력 발전기 블레이드마다의 통합(integrated, I) 이미지(이하, "관심 영역 통합 이미지"라고 지칭함)를 획득한다.

[0065] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기 블레이드의 목표 영역 통합 이미지를 획득하는 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[0066] 도 4의 (a)에서와 같이, 회전하는 풍력 발전기 블레이드에 대한 시간에 따른 열화상 이미지들을 획득한다. 그리고 도 4의 (b)에서와 같이, 유효 열화상 이미지들을 시공간 통합 좌표 변환하여 시간에 따른 유효 열화상 이미지의 통합 이미지(즉, I^{ROI})들을 획득한다. 그런 다음, 도 4의 (c)에서와 같이, 통합 이미지를 1계 상미분하여 통합 이미지상에서 블레이드마다의 경계점(boundary point)을 추출한다. 다음으로, 도 4의 (d)에서와 같이, 통합 이미지상에 경계점을 적용하여 블레이드 각각의 목표 영역을 확정(determination of the interest area)함으로써 블레이드 별 통합 이미지(즉, 관심 영역 통합 이미지)를 획득한다.

[0067] 다음으로, 도 5 및 도 6을 참조하여, 프로세서(133)가 손상 추출 및 시각화가 적합한 블레이드 별 I 이미지(즉, 관심 영역 통합 이미지)에 기반하여, 기설정된 시그널 및 이미지 프로세싱을 처리하여 손상 시각화를 처리하는 과정에 대해서 설명하도록 한다.

[0068] 관심 영역 통합 이미지에는 손상에 관한 정보와 함께 노이즈도 포함되어 있다. 따라서, 프로세서(133)는 관심 영역 통합 이미지에서 노이즈를 제거한 다음 손상 영역을 시각화하기 위한 시그널 및 이미지 프로세싱을 수행한다.

[0069] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 손상 영역 추출 처리 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0070] 도 5를 참조하면, 프로세서(133)는 풍력 발전기 블레이드에서 열파가 조사된 영역에서 비손상 영역의 표면 온도 변화를 제거함으로써, 관심 영역 통합 이미지에서 손상 영역의 표면 온도 변화를 획득한다.

[0071] 구체적으로, 프로세서(133)는 각 관심 영역 통합 이미지에서 θ 축의 표면 온도의 평균을 산출하여 온도 평균 데이터(temperature average data, T_{avg})를 획득한다.

[0072] 이러한 온도 평균 데이터는 아래의 수학식 5를 통해 산출할 수 있다.

[0073] <수학식 5>

$$T_{avg}(1,y,t^*) = \sum_{\Theta=1}^{w} I(\Theta,y,t^*)/w$$

[0074]

[0075] 수학식 5에서 w는 관심 영역 통합 이미지의 수평 공간 영역의 폭을 나타낸다.

[0076] 그런 다음, 프로세서(133)는 관심 영역 통합 이미지의 수직 데이터(T_{Θ})에서 온도 평균 데이터(T_{avg})를 소거하여 손상(즉, 박리) 영역의 표면 온도($T_{\Theta diff}$) 데이터를 획득한다.

[0077] 그리고 프로세서(133)는 손상 영역의 표면 온도 데이터에 기초하여 관심 영역 통합 이미지에서 손상 영역에 나타난 열파 양상만을 나타낸 손상(abnormal, A) 영역 이미지를 획득한다.

[0078] 이때, 손상 영역 이미지는 아래의 수학식 6을 통해 획득할 수 있다.

[0079] <수학식 6>

$$A(\Theta,y,t^*) = I(\Theta,y,t^*) - T_{avg}(1,y,t^*)$$

[0080]

[0081] 또한, 프로세서(133)는 손상 영역 이미지를 각 픽셀마다 시간축 t^*에 대하여 평균 처리하여, 점 노이즈 요소들이 일부 제거된 손상 평균(abnormal average, $A\text{-}_{avg}$) 이미지를 획득한다.

[0082] 이러한 손상 평균 이미지는 아래의 수학식 7을 통해 획득할 수 있다.

[0083] <수학식 7>

$$A_{avg}(\Theta,y) = \sum_{t^*=1}^{n} A(\Theta,y,t^*)/n$$

[0084]

[0085] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 손상 시각화를 위한 통계적 노이즈 제거 처리 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0086] 도 6을 참조하면, 프로세서(133)는 손상 평균 이미지에 대해 베이불 분포(Weibull dstribution)에 기초한 이진화 처리 및 중앙값 필터(median filter)를 사용하여 점 노이즈에 대한 추가적인 노이즈 제거 처리를 수행하여, 손상에 대한 이미지만 남긴다.

[0087] 구체적으로, 손상 평균 이미지에서 각 픽셀의 확률 밀도 분포는 베이불 분포(Weibull dstribution)와 유사한 분포를 따른다. 따라서, 프로세서(133)는 논-제로(non-zero) 픽셀 값을 한계값 99%로 추정하여, 손상 평균 이미지를 이진화한다.

[0088] 이때, 손상 평균 이미지의 이진화(binary, B) 이미지는 아래의 수학식 8을 통해 획득할 수 있다.

[0089] <수학식 8>

$$B(\Theta,y) = \begin{cases} 1 \text{ if } A_{avg}(\Theta,y) \geq & Threshold \\ 0 & Otherwise \end{cases}$$

[0090]

[0091] 그런 다음, 프로세서(133)는 B 이미지에 3x3 마스크를 사용한 중앙값 필터를 적용하여 최종(Final, F) 손상 이미지를 획득한다.

[0092] 한편, 프로세서(133)는 최종 손상 이미지를 통해 손상의 정확한 위치를 확인하고, 최종 손상 이미지의 픽셀 수에 기초하여 손상 크기를 추정한다. 그리고 프로세서(133)는 검출된 손상 위치 및 추정된 손상 크기를 포함하는 회전 구조물 모니터링 정보를 기설정된 자체 출력 장치(예: 모니터 등) 또는 연동된 외부 장치(미도시)로 출

력한다.

[0093] 이하, 도 7 내지 도 9를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 열화상 처리 장치(100)를 통한 회전 구조물에 대한 모니터링 정보 제공 효과를 구체적으로 확인하도록 한다. 다만, 본원은 아래의 실시예에 의하여 제한되는 것은 아니다.

[0094] [실시예]

[0095] 본 실시예에서는, 3개의 블레이드를 포함하되 각 블레이드가 6겹의 탄소 섬유로 이루어지고, 길이 500㎜, 폭 200㎜, 두께 3㎜인 풍력 발전기를 처리 대상 구조물로서 사용하였다. 이때, 풍력 발전기의 1번과 3번 블레이드는 노멀 상태이며, 2번 블레이드의 6겹 중 2층과 3층 사이에 10㎜와 20㎜의 테플론 테이프(Teflon tapes)들을 삽입하여 층간 박리를 묘사하였다. 이러한 테플론 테이프(Teflon tapes)들은 스캔되는 블레이드 표면으로부터 1㎜ 깊이와, 블레이드 모터로부터 150㎜와 450㎜ 거리에 각각 삽입되어 있다. 또한, 블레이드는 10 RPM으로 회전하며, 블레이드 끝의 회전 속도는 261㎜/s이다.

[0096] 또한 본 실시예에서는, 파장이 532㎚인 연속파 점 레이저가 발진되고, 이러한 점 레이저가 라인 제너레이터와 F-theta 렌즈를 거쳐 라인 레이저 빔으로 변형되어 블레이드에 열파가 조사된다. 이때, 라인 레이저의 강도는 약 92.31 ㎽/㎟ 이다. 또한, 조사된 라인 레이저를 센싱하는 IR 카메라는 50Hz의 프레임율(frame rate)로 데이터를 취득하며, 스펙트럼 레인지는 3㎛ ~ 5㎛이고, 픽셀 해상도는 640x512이며, 온도 분해능 0.02K 이다.

[0097] 또한 본 실시예에서, 블레이드의 표면으로부터 조사 레이저와 IR 카메라의 거리는 1000㎜ 떨어져 있으며, 이에 따른 IR 카메라의 FOV의 높이, 폭, 공간 해상도는 각각 150㎜, 187㎜, 367㎛ 이다.

[0098] 본 발명의 일 실시예에 따른 연속파 라인 레이저 열화상 장치(100)를 통해 열화상 이미지를 취득하면, 자동으로 영상의 ROI가 정해진다. 이를 통해 도 7에서와 같은 이미지가 획득된다. 이때, ROI의 높이는 150㎜이며, 열화상 이미지는 204개의 픽셀로 이루어진다.

[0099] 도 7은 10㎜의 박리가 포함된 블레이드 영역에서의 열화상 이미지와 유효 열화상 이미지를 나타낸 것이다.

[0100] 도 7의 (a)는 2번 블레이드의 검사 영역에서 획득된 열화상 이미지고, 도 7의 (b)는 (a)로부터 결정된 유효 열화상 이미지다.

[0101] 이때, 취득된 유효 열화상 이미지를 앞서 수학식 4에 나타낸 방정식을 이용해 시공간 통합 변환을 적용하여, 통합 이미지를 취득한다. 다만, 통합 이미지는 극 좌표(polar coordinate)를 따르므로, 다시 직교 좌표(cartesian coordinate)를 따르도록 변환한 후 각 블레이드마다 불연속 특성을 추출해 관심 영역 통합 이미지를 취득한다.

[0102] 도 8은 도 7의 유효 열화상 이미지로부터 획득된 통합 이미지와, 관심 영역 통합 이미지, 손상 평균 이미지 및 최종 손상 이미지를 나타낸 것이다.

[0103] 도 8의 (a)는 10㎜의 박리가 포함된 블레이드 영역의 관심 영역 통합 이미지를 나타낸다. 도 8의 (b)는 10㎜의 박리가 포함된 블레이드 영역의 손상 평균 이미지를 나타내며, 이를 통해 박리에 의한 불균일 지점에서 확연한 색상의 차이를 확인할 수 있다. 도 8의 (c)는 박리만을 나타내기 위해 점 노이즈를 제거한 후의 최종 손상 이미지를 나타낸다. 도 8의 (c)에서 확인된 박리의 크기는, 최종 손상 이미지의 수직축과 수평축에 속하는 픽셀의 수에 기초하여 정량화 가능하다.

[0104] 도 9는 모든 블레이드에 대해 각각 두 영역의 최종 손상 이미지를 나타냈다.

[0105] 도 9의 (a) 내지 (c)는 각각 블레이드 1, 블레이드 2 및 블레이드 3에서의 제 1 검사 영역의 최종 손상 이미지고, 도 9의 (d) 내지 (f)는 각각 블레이드 1, 블레이드 2 및 블레이드 3에서의 제 2 검사 영역의 최종 손상 이미지다. 제 1 및 제 2 검사 영역은 본 실시예에서 2번 블레이드에 묘사한 박리가 발생 된 두 영역에 대응하는 영역이다.

[0106] 도 9에서와 같이, 블레이드 2의 제 1 및 제 2 영역에서 각각 손상(즉, 박리)만이 시각화되었으며, 나머지 블레이드들에서는 손상에 대한 오보가 나타나지 않았다. 참고로, 처리된 손상의 크기는 블레이드의 속도와 IR 카메라의 공간해상도에 의해 결정될 수 있다.

[0107] 이하, 도 10을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 회전 구조물 모니터링을 위한 열화상 처리 방법에 대해서 상세히 설명하도록 한다. 이하에서 설명하는 열화상 처리 방법은 본 발명의 일 실시예에 따른 열화상 처리 장치(100)의 프로세서(133)를 통해 직접 처리되거나 또는 프로세서(133)의 제어에 의한 라인 레이저 공급부(110)

및 열파 센싱부(120)를 통해 처리될 수 있다.

[0108] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전 구조물 모니터링을 위한 열화상 처리 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0109] 먼저, 회전 중인 구조물(즉, 풍력 발전기 블레이드)에 연속파 라인 레이저를 조사한 후(S110), 이에 대응하여 풍력 발전기 블레이드로부터 방사되는 열파를 계측하여 열화상 데이터를 획득한다(S120).

[0110] 그런 다음, 계측된 열파에 따른 열화상 이미지에 대해 손상 추출 및 시각화를 위해 사전에 설정된 열화상 이미지 처리를 수행한다(S130).

[0111] 도 10에서와 같이, 상기 단계 (S130)는 열화상 이미지 재구성을 위한 시공간 통합 좌표 변환 처리 단계(S131) 및 손상 시각화를 위한 시그널 및 이미지 프로세싱 단계(S132)를 포함할 수 있다.

[0112] 먼저, 열화상 이미지 재구성을 위한 시공간 통합 좌표 변환 처리 단계(S131)에 대해서 설명하도록 한다.

[0113] 회전 중인 풍력 발전기 블레이드의 열파를 IR 카메라를 통해 촬영하여 획득된 열화상 이미지는, IR 카메라가 촬영하는 FOV가 고정된 상태에서 시간의 흐름에 따라 열파 양상이 변화하는 과정이 복수의 이미지로 획득된다. 따라서, IR 카메라를 통해 촬영된 복수의 이미지(즉, 열화상 이미지)들을 손상 검출에 적합한 이미지 형태로 통합하여 재구성하는 시공간 통합 좌표 변환 처리를 수행한다.

[0114] 구체적으로, 풍력 발전기 블레이드가 일 회 이상 회전하는 동안의 열화상 이미지들을 획득한다(S311).

[0115] 그런 다음, 획득된 열화상 이미지들에 대해 시공간 통합 좌표 변환을 처리하여(S312), 풍력 발전기 블레이드의 실제 모양에서의 열파 양상을 나타내는 통합 이미지를 획득한다(S313).

[0116] 이때, 타겟 회전 구조물의 열파에 대한 정확성을 높이기 위하여, 원본 열화상 이미지에 대해 목표 영역을 설정하는 단계를 더 수행할 수 있다. 즉, 풍력 발전기 블레이드에 조사된 라인 레이저 빔의 열파 분포와 가우시간 분포가 유사하므로, 가우시안 분포에 기초하여 설정된 신뢰 구간을 원본 열화상 이미지에 적용하여 제한함으로써 유효 열화상 이미지를 획득할 수 있다.

[0117] 그런 다음, 유효 열화상 이미지에 대해 시공간 통합 좌표 변환을 처리하여, 수직 공간 영역, 수평 공간 영역 및 시간 영역에 대한 직교 좌표에서의 유효 열화상 이미지들을 회전각, 수직 공간 영역 및 변형된 시간 영역에 대한 극좌표에서의 통합 이미지로 변환한다.

[0118] 다음으로, 손상 시각화를 위한 시그널 및 이미지 프로세싱 단계(S132)를 설명하도록 한다.

[0119] 상기 단계 (S131)를 거쳐 유효 열화상 이미지가 손상 검출에 적합한 이미지(즉, 통합 이미지)로 재구성되면, 재구성된 열화상 이미지를 기설정된 시그널 및 이미지 프로세싱을 처리하여 손상을 시각화한다.

[0120] 구체적으로, 통합 이미지로부터 실제 목표(즉, 회전 중인 블레이드)들만의 영역을 추출한 관심 영역 통합 이미지를 획득한다(S321).

[0121] 블레이드들이 회전함에 따라 열파가 실제 존재하는 영역 및 불필요한 부분(예: 블레이드 사이 사이의 빈 영역)이 존재한다. 따라서, 통합 이미지로부터 불필요한 부분을 제거하여 블레이드 부분들만 추출한다. 이때, 통합 이미지를 회전각, 수직 공간 영역 및 변형된 시간 영역에 대한 직교 좌표로 이동시켜 1차 상미분 처리하면 불연속 특성을 갖는 지점(경계점)을 검출할 수 있으며, 이러한 경계점 부분들은 블레이드마다의 경계점을 의미한다. 통합 이미지 상에 상기 추출된 경계점들을 적용하여 블레이드 각각의 목표 영역을 확정함으로써 관심 영역 통합 이미지를 획득한다.

[0122] 다음으로, 관심 영역 통합 이미지에 대해 비정상 추출 및 이미지 평균화 처리를 통해 손상 영역만의 열파 양상을 나타내는 손상 영역 이미지를 획득한다(S322).

[0123] 열파가 실제 존재하는 영역(즉, 블레이드의 일 영역) 내에서도 검출하고자 하는 손상 영역 이외에 노이즈 영역 및 정상 영역이 존재한다. 따라서, 관심 영역 통합 이미지 상에서 비손상 영역의 표면 온도 변화를 제거하여 손상 영역만을 추출한다. 이때, 관심 영역 통합 이미지에서 표면 온도 평균을 산출한다. 그리고 관심 영역 통합 이미지에서 표면 온도 평균을 소거하여 손상 영역의 표면 온도를 획득한다. 이러한 손상 영역의 표면 온도에 기초하여 관심 영역 통합 이미지에서 손상 영역의 표면 온도만 나타낸 손상 영역 이미지를 획득한다.

[0124] 그런 다음, 손상 영역 이미지를 이진화 이미지 처리를 통해 노이즈를 제거하여 손상(즉, 박리)에 대한 이미지만

포함하는 최종 손상 이미지를 획득한다(S323).

[0125] 이때, 손상 영역 이미지를 각 픽셀마다 시간 축에 대해 평균 처리하여 점 노이즈들이 일부 제거된 손상 평균 이미지를 먼저 획득할 수 있다. 그리고 손상 평균 이미지에 대해 베이불 분포(Weibull dstribution)에 기초한 이진화 처리 및 중앙값 필터(median filter)를 사용하여 점 노이즈에 대한 추가적인 노이즈 제거 처리를 수행함으로써 손상에 대한 최종 손상 이미지만 남긴다.

[0126] 이상에서 설명한 단계 (S130)를 통한 열화상 이미지 처리의 결과로서 손상 검출 결과 및 손상 정보를 획득할 수 있다.

[0127] 상기 단계(S130)를 처리한 후, 손상 검출 결과 및 손상 정보(즉, 손상 위치 및 크기 등)를 타겟 회전 구조물에 대한 모니터링 정보로서 출력한다(S140).

[0128] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예에 따른 회전 구조물 모니터링을 위한 연속파 라인 레이저 열화상 처리 장치의 열화상 처리 제어부, 및 이를 통한 연속파 라인 레이저 열화상 처리 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 이러한 기록 매체는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함하며, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체를 포함하며, 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다.

[0129] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0130] 또한, 본 발명의 방법 및 시스템은 특정 실시예와 관련하여 설명되었지만, 그것들의 구성 요소 또는 동작의 일부 또는 전부는 범용 하드웨어 아키텍처를 갖는 컴퓨터 시스템을 사용하여 구현될 수도 있다.

[0131] 본 발명의 범위는 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

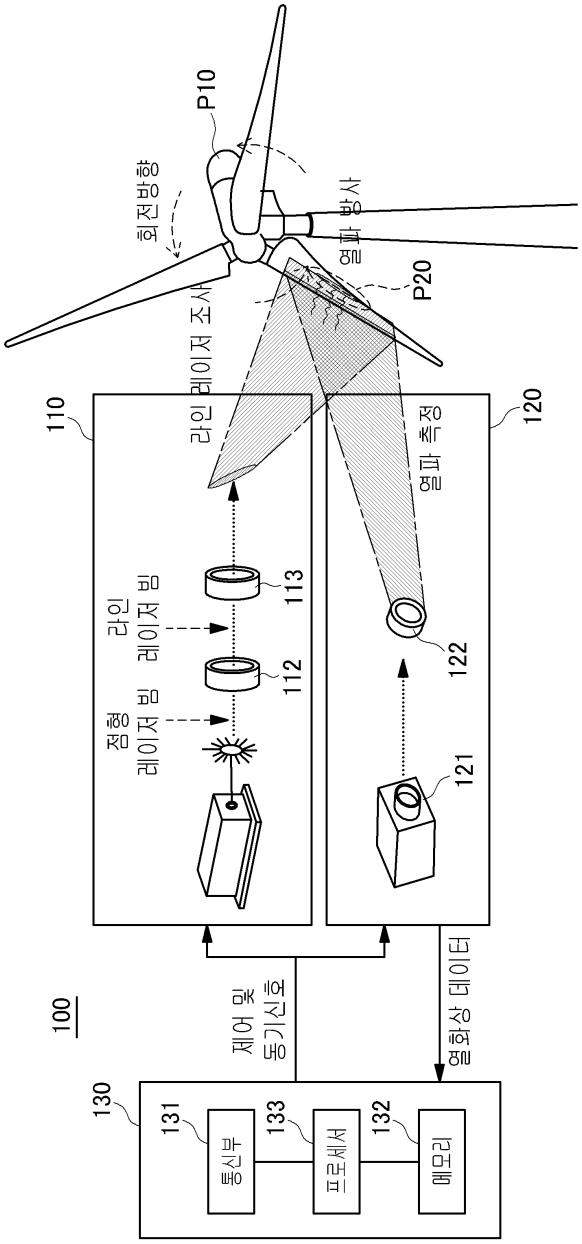
부호의 설명

[0132] 100: 열화상 장치 110: 연속파 라인 레이저 공급부

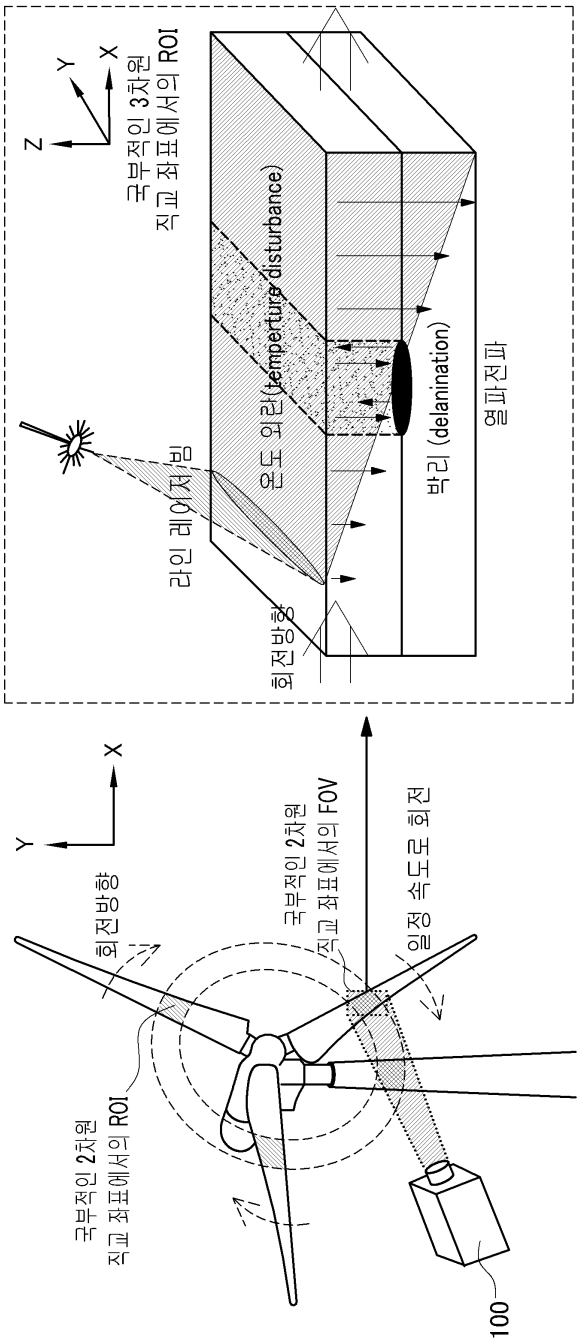
120: 열파 센싱부 130: 열화상 처리 제어부

도면

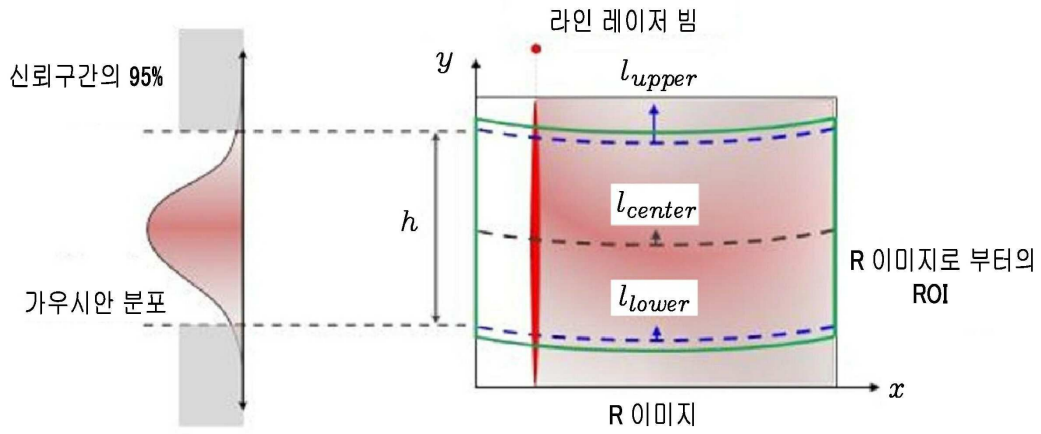
도면1


P10
회전방향
열파 방사
P20
라인 레이저 조사
110
120
라인 레이저 빔
113
112
점형 레이저 빔
열파 측정
122
121
100
제어 및 동기신호
열화상 데이터
130
131
통신부
133
프로세서
132
메모리

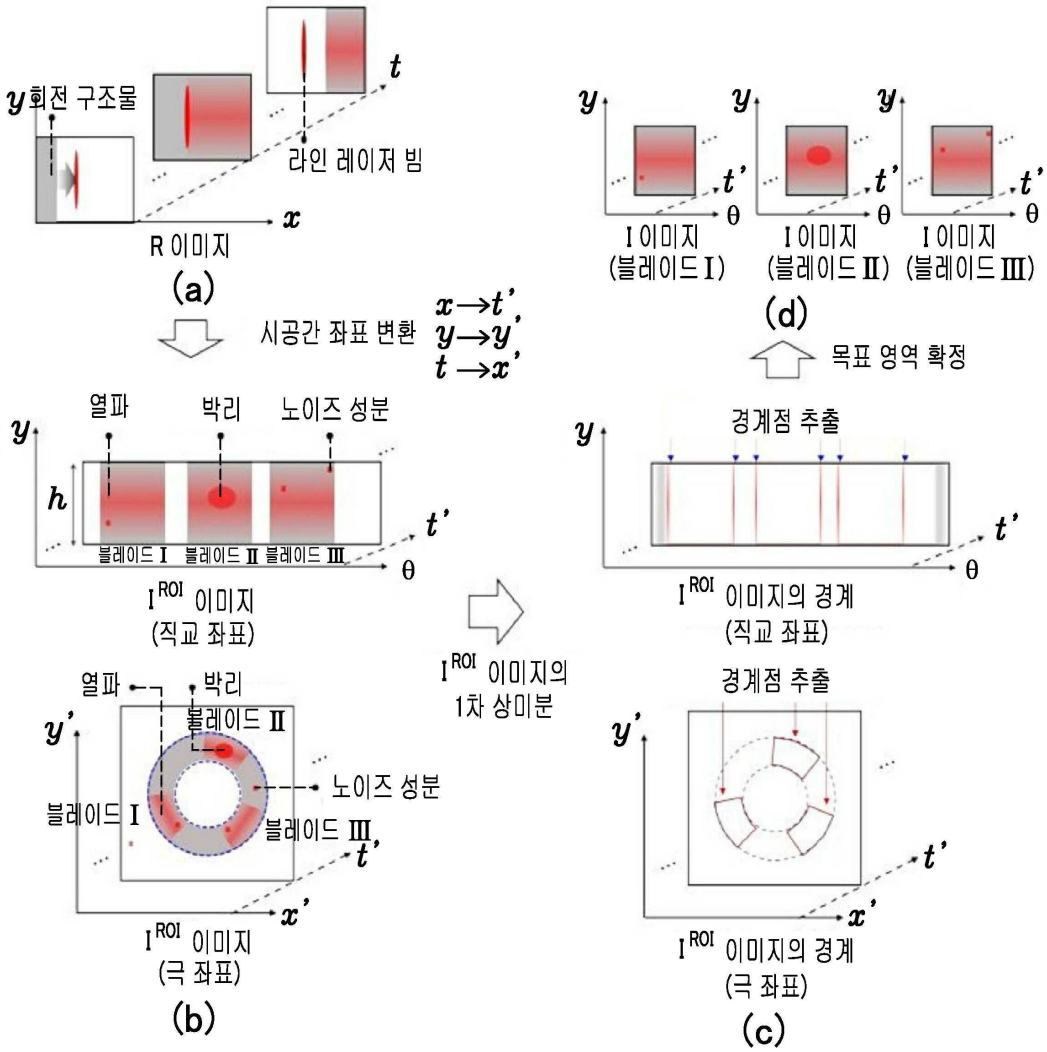
도면2


국부적인 3차원
직교 좌표에서의 ROI
Z
Y
X
라인 레이저빔
온도 외란(temperture disturbance)
박리 (delanination)
열파전파
회전방향
국부적인 2차원
직교 좌표에서의 ROI
회전방향
국부적인 2차원
직교 좌표에서의 FOV
일정 속도로 회전
100

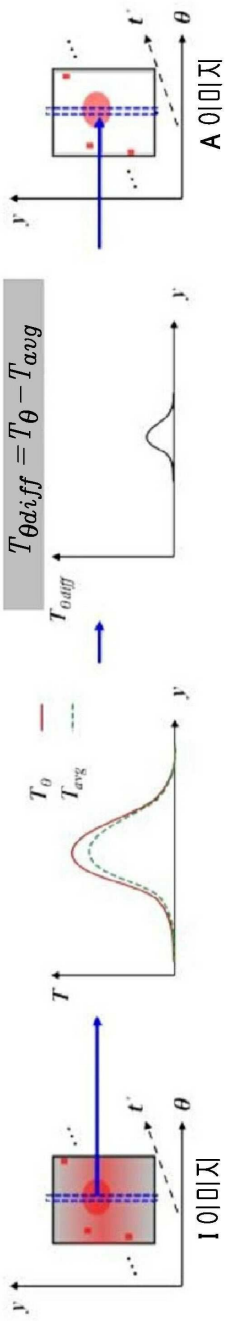
도면3


신뢰구간의 95%
가우시안 분포
라인 레이저 빔
y
l_{upper}
l_{center}
l_{lower}
h
R 이미지로 부터의
ROI
x
R 이미지

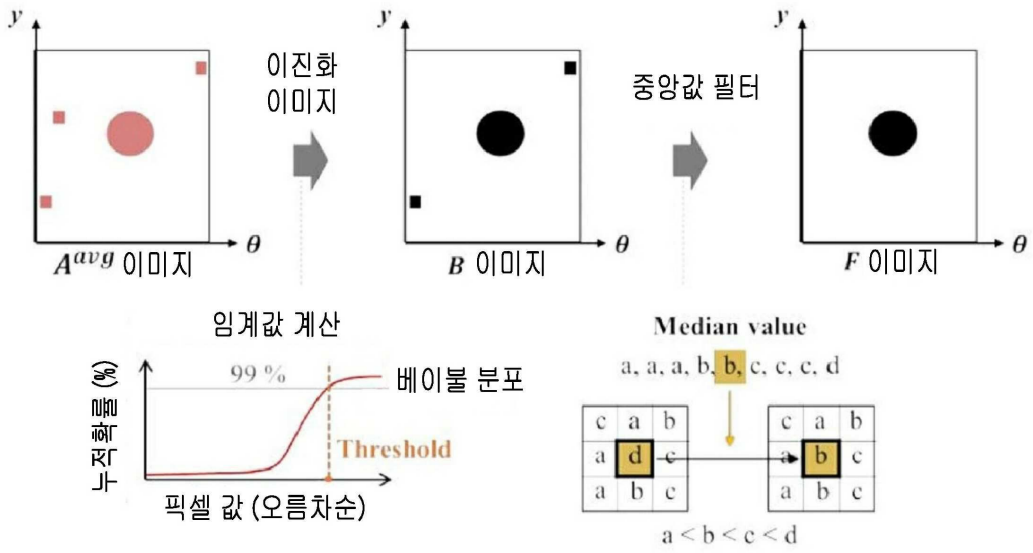
도면4


y
t
회전 구조물
라인 레이저 빔
x
R 이미지
(a)
시공간 좌표 변환
x→t',
y→y',
t →x'
열파
박리
노이즈 성분
h
t'
θ
블레이드 I
블레이드 II
블레이드 III
I ROI 이미지
(직교 좌표)
열파
박리
블레이드 II
노이즈 성분
블레이드 I
블레이드 III
y'
t'
x'
I ROI 이미지
(극 좌표)
(b)
I ROI 이미지의
1차 상미분
I 이미지
(블레이드 I)
I 이미지
(블레이드 II)
I 이미지
(블레이드 III)
(d)
목표 영역 확정
경계점 추출
I ROI 이미지의 경계
(직교 좌표)
경계점 추출
I ROI 이미지의 경계
(극 좌표)
(c)

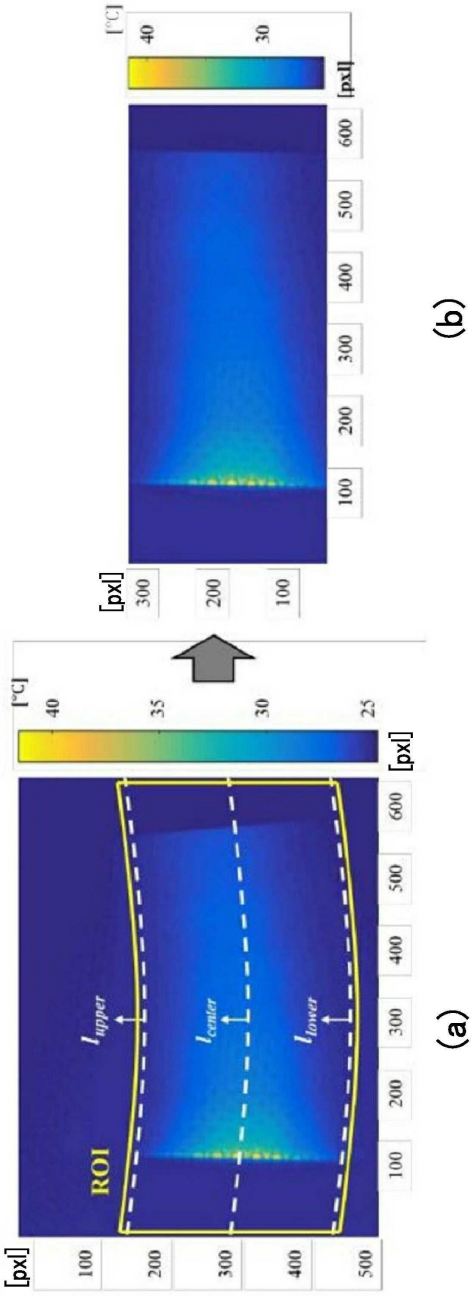
도면5



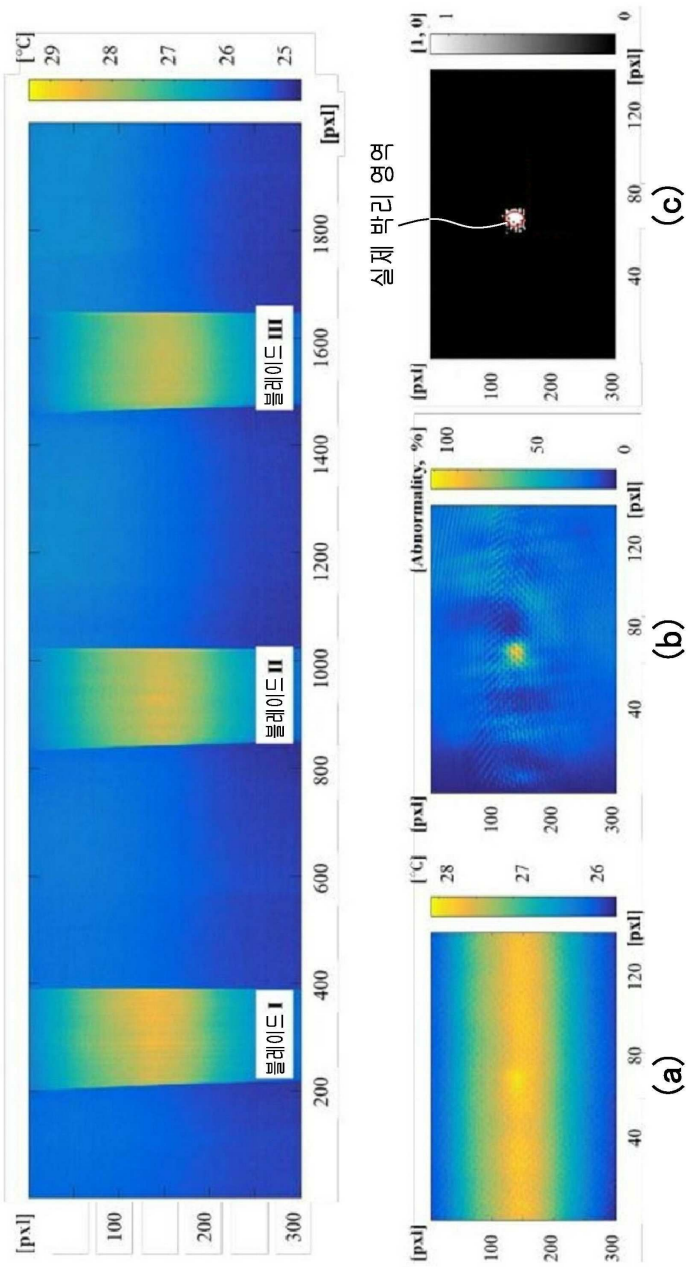
도면6


y
θ
A^{avg} 이미지
이진화
이미지
B 이미지
중앙값 필터
F 이미지
임계값 계산
99 %
베이불 분포
Threshold
픽셀 값 (오름차순)
Median value
a, a, a, b, b, c, c, c, d
a < b < c < d

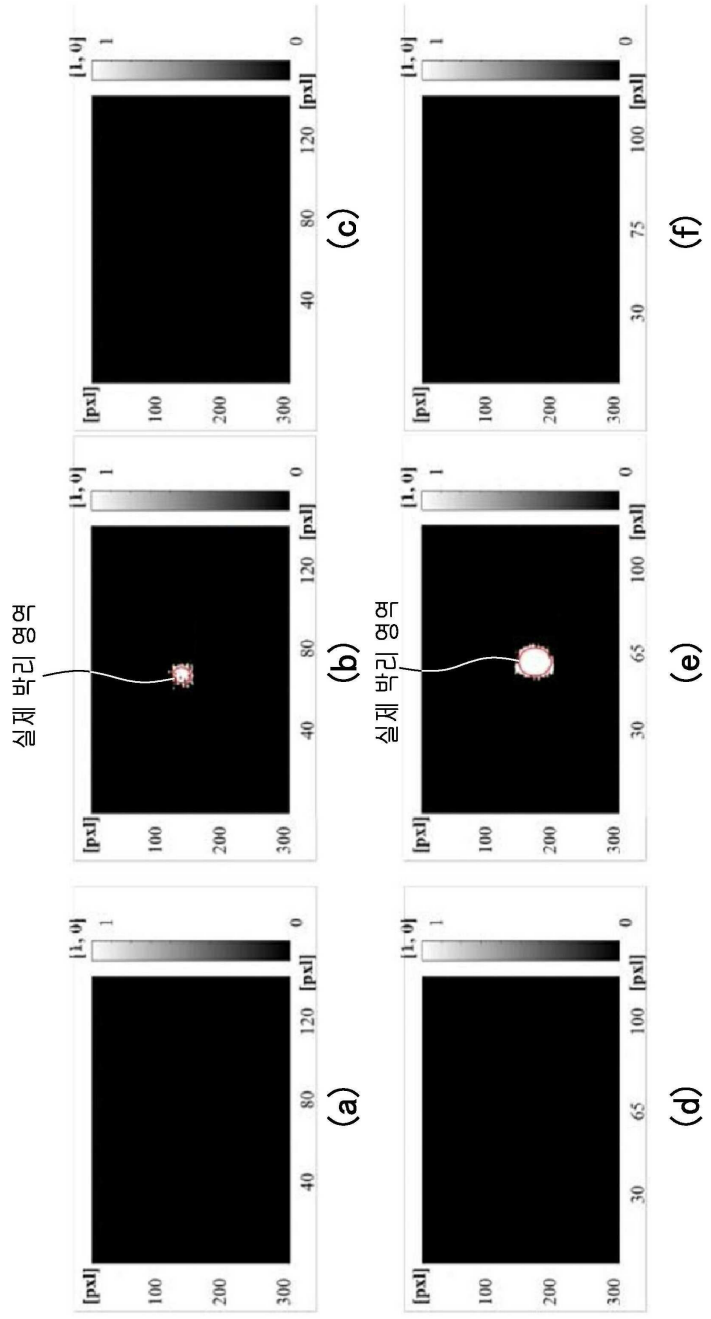
도면7


[℃]
40
35
30
25
[pxl]
600
500
400
300
200
100
[pxl]
100
200
300
400
500
ROI
l_{upper}
l_{center}
l_{lower}
(a)
[℃]
40
30
[pxl]
600
500
400
300
200
100
[pxl]
300
200
100
(b)

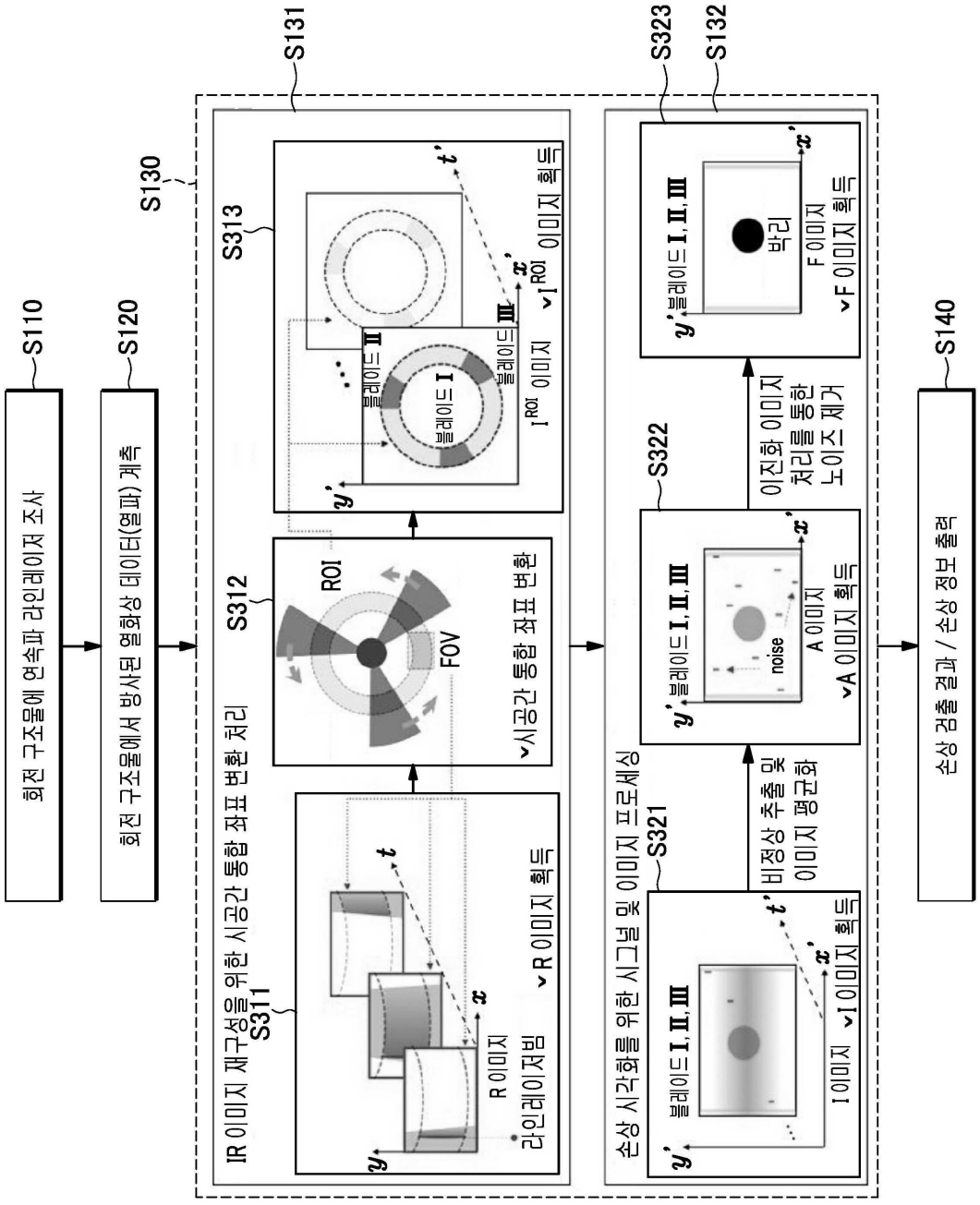
도면8


블레이드 I
블레이드 II
블레이드 III
[pxl]
[℃]
29
28
27
26
25
(a)
(b)
(c)
[Abnormality, %]
100
50
0
[1, 0]
실제 박리 영역

도면9



도면10


S110
회전 구조물에 연속파 라인레이저 조사
S120
회전 구조물에서 방사된 열화상 데이터(열파) 계측
S130
IR 이미지 재구성을 위한 시공간 통합 좌표 변환 처리
S311
R 이미지
라인레이저빔
R 이미지 획득
S312
ROI
FOV
시공간 통합 좌표 변환
S313
블레이드 I
블레이드 II
블레이드 III
이미지 획득
S131
손상 시각화를 위한 시그널 및 이미지 프로세싱
S321
블레이드 I, II, III
I 이미지
I 이미지 획득
비정상 추출 및
이미지 평균화
S322
A 이미지
noise
A 이미지 획득
이진화 이미지
처리를 통한
노이즈 제거
S323
박리
F 이미지
F 이미지 획득
S132
손상 검출 결과 / 손상 정보 출력
S140