(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0065723
(43) 공개일자 2019년06월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 29/04 (2006.01) *G01N 29/12* (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 29/046 (2013.01)
G01N 29/048 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0165182
(22) 출원일자 2017년12월04일
심사청구일자 2017년12월04일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
김찬중
부산광역시 연제구 아시아드대로28번길 9, 106동 1204호(거제동, 대우아파트)
(74) 대리인
남건필, 박종수, 차상윤

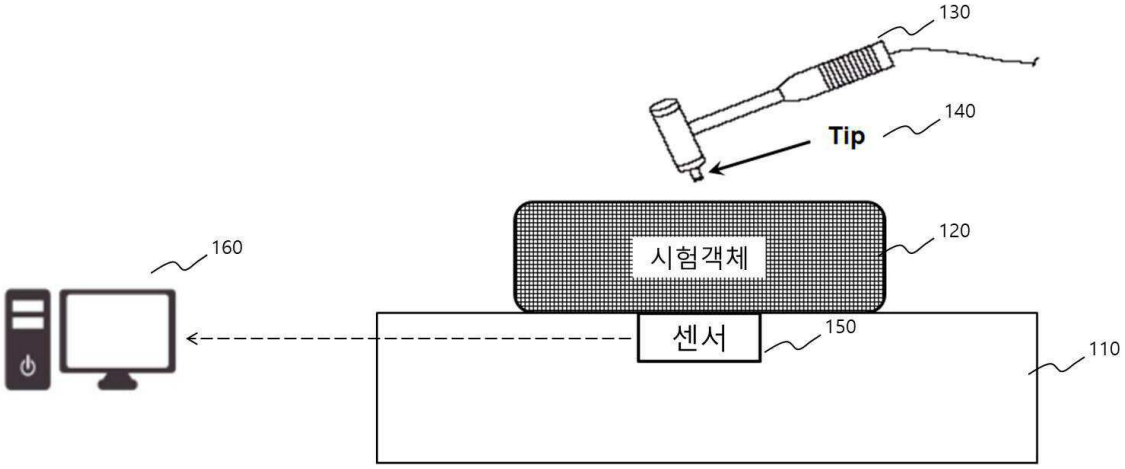
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법**

(57) 요 약

본 발명은 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 미소 크랙 검사 장치는 기 정해진 위치로 놓여진 시험객체를 지지하는 객체 지지부, 제어에 의해 상기 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기, 상기 시험객체의 타측에 접하며, 상기 물리적 힘에 의해 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 센서 및 상기 가진기에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 제1 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 제1 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점과 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점을 비교하여 상기 시험객체의 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 미소 크랙 검출부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 29/12 (2013.01)
G01N 29/4472 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2017EG0520101
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업(산학협력 고도화형)
연구과제명 자동차부품 기존 공정검사 방법 검증
기 여 율 1/1
주관기관 부경대학교
연구기간 2017.04.01 ~ 2018.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

기 정해진 위치로 놓여진 시험객체를 지지하는 객체 지지부;

제어에 의해 상기 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기;

상기 시험객체의 타측에 접하며, 상기 물리적 힘에 의해 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 센서; 및

상기 가진기에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 제1 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 제1 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점과 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점을 비교하여 상기 시험객체의 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 미소 크랙 검출부를 포함하는 미소 크랙 검사 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 가진기는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker)를 포함하는 미소 크랙 검사 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 임팩트 해머는 가진 파트에 팁(tip)을 구비하되, 상기 팁은 상기 미소 크랙 존재 여부 검출에 요구되는 주파수 대역에 따라 교체될 수 있는 미소 크랙 검사 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 시험객체는 해당 객체의 구조적 특징을 기초로 놓여지는 위치가 정해지는 미소 크랙 검사 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 시험객체는 해당 객체에 크랙이 자주 발생하는 방향과 상기 가진기에 의해 물리적 힘이 가해지는 방향이 수직이 되도록 위치가 정해지는 미소 크랙 검사 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 센서는 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 가속도 센서를 포함하는 미소 크랙 검사 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 미소 크랙 검사 장치는 상기 센서와 상기 시험객체를 밀착시키는 밀착부를 더 포함하는 미소 크랙 검사 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 미소 크랙 검출부는 상기 제1 주파수 응답 함수의 공진점에서 제1 관심 주파수 영역을 추출하고, 상기 기측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점에서 제2 관심 주파수 영역을 추출하여, 상기 제1 관심 주파수 영역의 값과 상기 제2 관심 주파수 영역의 값의 코히어런스(coherence) 값을 산출하는 미소 크랙 검사 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제1 관심 주파수 영역과 상기 제2 관심 주파수 영역은 각각 해당 주파수 응답 함수에서 0.9×N(Hz)에서 1.1×N(Hz) 사이인 미소 크랙 검사 장치.

여기에서, N은 공진점 주파수(Hz)

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 미소 크랙 검출부는 하기 수학식 1을 통해 검사 지수를 산출하여 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 미소 크랙 검사 장치.

[수학식 1]

$$Inspection = \sum_{i=0.9N}^{1.1N} C(i)$$

여기에서, Inspection은 검사 지수, C(i)는 주파수 i(Hz)에서의 코히어런스 값.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 미소 크랙 검출부는 하기 수학식 2를 만족하는 시험객체를 미소 크랙이 존재하지 않는 정상 객체로 판별하는 미소 크랙 검사 장치.

[수학식 2]

$$M-\alpha\times(Inspection)\leq 0$$

여기에서, Inspection은 검사 지수, α는 보정계수

청구항 12

가진기가 제어에 의해 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 단계;

센서가 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 단계;

미소 크랙 검출부가 상기 가진기에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 제1 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 제1 주파수 응답 함수에서 공진점을 추출하는 단계; 및

미소 크랙 검출부가 상기 제1 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점과 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점을 비교하여 상기 시험객체의 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 단계를 포함하는 미소 크랙 검사 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 가진기는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker)를 포함하는 미소 크랙 검사 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 센서는 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 가속도 센서를 포함하는 미소 크랙 검사 방법.

청구항 15

제12항에 있어서, 상기 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 단계는

상기 제1 주파수 응답 함수의 공진점에서 제1 관심 주파수 영역을 추출하는 단계;

상기 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점에서 제2 관심 주파수 영역을 추출하는 단계; 및

상기 제1 관심 주파수 영역의 값과 상기 제2 관심 주파수 영역의 값의 코히어런스(coherence) 값을 산출하는 단계를 포함하는 미소 크랙 검사 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 제1 관심 주파수 영역과 상기 제2 관심 주파수 영역은 각각 해당 주파수 응답 함수에서 0.9×N(Hz)에서 1.1×N(Hz) 사이인 미소 크랙 검사 방법.

여기에서, N은 공진점 주파수(Hz)

청구항 17

제15항에 있어서, 상기 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 단계는

하기 수학식 1을 통해 검사 지수를 산출하는 단계를 더 포함하는 미소 크랙 검사 방법.

[수학식 1]

$$Inspection = \sum_{i=0.1}^{1.1} C(i)$$

여기에서, Inspection은 검사 지수, C(i)는 주파수 i(Hz)에서의 코히어런스 값.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 단계는

하기 수학식 2를 기초로 상기 시험객체의 정상 객체 여부를 판별하는 단계를 더 포함하되, 하기 수학식 2를 만족하는 시험객체를 미소 크랙이 존재하지 않는 정상 객체로 판별하는 미소 크랙 검사 방법.

[수학식 2]

$$M - \alpha \times (Inspection) \leq 0$$

여기에서, Inspection은 검사 지수, α는 보정계수

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 주파수 응답 함수를 통해 획득 가능한 대상 물체의 공진점과 기준 물체의 공진점을 비교하여 미소 크랙을 간접적으로 검출할 수 있는 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 냉간단조(Cold forging)는 기계제조 공법 가운데 하나로, 강성을 높인 자동차의 부품 제조를 포함한 많은 산업 분야에서 사용되고 있다. 물체에 발생하는 미소 크랙은 냉간단조 과정에서 필수불가결하게 발생되는 부작용 중 하나이다. 미소 크랙은 해당 물체의 작동 중 내구성에 심각한 영향을 주기 때문에 자동차 회사와 같은 완성품 제조 업체에서는 제조 과정에서 발생한 미소 크랙의 허용치에 엄격한 기준을 두고 있다. 예를 들어, 자동차 변속기에 사용되는 파크 기어(park gear)의 경우, 100㎛ 내외의 크랙 길이에 대한 기준치가 있으며, 자동차 회사는 해당 기준치를 기준으로 부품의 불량 여부를 판단한다. 통상적으로 자동차 회사는 와전류 센서(eddy current sensor)를 이용하여 해당 부품의 합격 여부를 판단하고 있으나, 와전류 센서를 이용한 검사 방법의 경우 100㎛ 이하의 미소 크랙까지는 검출할 수 없는 문제점이 있다. 또한, 와전류 센서를 이용한 검사 방법 외 다른 비파괴 검사 방법들의 경우, 특수 센서를 사용하여 검사 장비가 고가인 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 10-2015-0061907 (2015.06.05), 3쪽 내지 4쪽

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 주파수 응답 함수를 통해 획득 가능한 대상 물체의 공진점과 기준 물체의 공진점을 비교하여 미소 크

랙을 간접적으로 검출할 수 있는 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법을 제공한다.

[0005] 본 발명은 미소 크랙의 깊이에 따라 공진점의 개수가 증가하는 물리적 현상을 이용하여, 직접적인 측정이 매우 까다로운 미소 크랙이 기준치 이상을 넘어서는지 여부를 효과적으로 판단할 수 있는 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법을 제공한다.

[0006] 본 발명은 검사 장치의 구조를 간단히하여 물체의 전수 검사 및 검사의 자동화에 적합한 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명에 따른 미소 크랙 검사 장치는 기 정해진 위치로 놓여진 시험객체를 지지하는 객체 지지부, 제어에 의해 상기 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기, 상기 시험객체의 타측에 접하며, 상기 물리적 힘에 의해 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 센서 및 상기 가진기에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 제1 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 제1 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점과 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점을 비교하여 상기 시험객체의 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 미소 크랙 검출부를 포함한다.

[0008] 일 실시예에서, 상기 가진기는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker)를 포함한다.

[0009] 일 실시예에서, 상기 임팩트 해머는 가진 파트에 팁(tip)을 구비하되, 상기 팁은 상기 미소 크랙 존재 여부 검출에 요구되는 주파수 대역에 따라 교체될 수 있다.

[0010] 일 실시예에서, 상기 시험객체는 해당 객체의 구조적 특징을 기초로 놓여지는 위치가 정해질 수 있다.

[0011] 일 실시예에서, 상기 시험객체는 해당 객체에 크랙이 자주 발생하는 방향과 상기 가진기에 의해 물리적 힘이 가해지는 방향이 수직이 되도록 위치가 정해질 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 상기 센서는 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 가속도 센서를 포함한다.

[0013] 일 실시예에서, 상기 미소 크랙 검사 장치는 상기 센서와 상기 시험객체를 밀착시키는 밀착부를 더 포함한다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 미소 크랙 검출부는 상기 미소 크랙 검출부는 상기 제1 주파수 응답 함수의 공진점에서 제1 관심 주파수 영역을 추출하고, 상기 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점에서 제2 관심 주파수 영역을 추출하여, 상기 제1 관심 주파수 영역의 값과 상기 제2 관심 주파수 영역의 값의 코히어런스(coherence) 값을 산출한다.

[0015] 일 실시예에서, 상기 제1 관심 주파수 영역과 상기 제2 관심 주파수 영역은 각각 해당 주파수 응답 함수에서 0.9×N(Hz)에서 1.1×N(Hz) 사이일 수 있다. 여기에서, N은 공진점 주파수(Hz)

[0016] 일 실시예에서, 상기 미소 크랙 검출부는 하기 수학식 1을 통해 검사 지수를 산출하여 미소 크랙 존재 여부를 검출한다.

[0017] [수학식 1]

[0018] $$Inspection = \sum_{i=0.9N}^{1.1N} C(i)$$

[0019] 여기에서, C(i)는 주파수 i(Hz)에서의 코히어런스 값.

[0020] 일 실시예에서, 상기 미소 크랙 검출부는 하기 수학식 2를 만족하는 시험객체를 미소 크랙이 존재하지 않는 정상 객체로 판별하는 미소 크랙 검사 장치.

[0021] [수학식 2]

[0022] $$M - \alpha \times (Inspection) \leq 0$$

[0023] 여기에서, Inspection은 검사 지수, α는 보정계수

[0024] 본 발명에 따른 미소 크랙 검사 방법은 가진기가 제어에 의해 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 단계, 센

서가 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 단계, 미소 크랙 검출부가 상기 가진기에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 제1 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 제1 주파수 응답 함수에서 공진점을 추출하는 단계 및 미소 크랙 검출부가 상기 제1 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점과 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점을 비교하여 상기 시험객체의 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 단계를 포함한다.

[0025] 일 실시예에서, 상기 가진기는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker)를 포함한다.

[0026] 일 실시예에서, 상기 센서는 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 가속도 센서를 포함한다.

[0027] 일 실시예에서, 상기 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 단계는 상기 제1 주파수 응답 함수의 공진점에서 제1 관심 주파수 영역을 추출하는 단계, 상기 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점에서 제2 관심 주파수 영역을 추출하는 단계 및 상기 제1 관심 주파수 영역의 값과 상기 제2 관심 주파수 영역의 값의 코히어런스(coherence) 값을 산출하는 단계를 포함한다.

[0028] 일 실시예에서, 상기 제1 관심 주파수 영역과 상기 제2 관심 주파수 영역은 각각 해당 주파수 응답 함수에서 0.9×N(Hz)에서 1.1×N(Hz) 사이일 수 있다. 여기에서, N은 공진점 주파수(Hz)

[0029] 일 실시예에서, 상기 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 단계는 하기 수학식 1을 통해 검사 지수를 산출하는 단계를 더 포함한다.

[0030] [수학식 1]

[0031] $$Inspection = \sum_{i=0.9N}^{1.1N} C(i)$$

[0032] 여기에서, C(i)는 주파수 i(Hz)에서의 코히어런스 값.

[0033] 일 실시예에서, 상기 미소 크랙 존재 여부를 검출하는 단계는 하기 수학식 2를 기초로 상기 시험객체의 정상 객체 여부를 판별하는 단계를 더 포함하되, 하기 수학식 2를 만족하는 시험객체를 미소 크랙이 존재하지 않는 정상 객체로 판별한다.

[0034] [수학식 2]

[0035] $$M-\alpha\times(Inspection)\leq 0$$

[0036] 여기에서, Inspection은 검사 지수, α는 보정계수

발명의 효과

[0037] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법은 주파수 응답 함수를 통해 획득 가능한 대상 물체의 공진점과 기준 물체의 공진점을 비교하여 미소 크랙을 간접적으로 검출할 수 있다.

[0038] 본 발명에 따른 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법은 미소 크랙의 깊이에 따라 공진점의 개수가 증가하는 물리적 현상을 이용하여, 직접적인 측정이 매우 까다로운 미소 크랙이 기준치 이상을 넘어서는지 여부를 효과적으로 판단할 수 있다.

[0039] 본 발명에 따른 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법은 검사 장치의 구조를 간단히하여 물체의 전수 검사 및 검사의 자동화에 적합한 검사 장치 및 검사 방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0040] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 미소 크랙 검사 장치의 구성을 나타내는 구성도

도 2는 시험용 샘플의 일 예를 나타내는 도면

도 3은 도 2의 시험용 샘플에 대해 측정된 주파수 응답 함수의 일 예를 나타내는 도면

도 4는 공진점 근처에서의 코히어런스(coherence) 값의 일 예를 나타내는 도면

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 미소 크랙 검사 장치를 이용한 미소 크랙 검사 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041] 이하, 본 발명에 따른 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 미소 크랙 검사 방법을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

[0042] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 미소 크랙 검사 장치의 구성을 나타내는 구성도이다.

[0043] 도 1을 참조하면, 미소 크랙 검사 장치(100)는 객체 지지부(110), 시험객체(120), 가진기(130), 팁(tip)(140), 센서(150) 및 미소 크랙 검출부(160)를 포함할 수 있다.

[0044] 미소 크랙 검사 장치(100)는 미소 크랙(crack)의 깊이에 따라 공진점의 개수가 증가하는 물리적 현상을 이용하여 시험객체(120)에 형성된 미소 크랙을 간접적으로 검출한다. 예를 들어, 미소 크랙 검사 장치(100)는 주파수 응답 함수를 통해 획득 가능한 시험객체(120)의 공진점과 기준객체의 공진점을 비교하여 시험객체(120)에 형성된 미소 크랙의 유무를 검출할 수 있다.

[0045] 객체 지지부(110)는 기 정해진 위치로 놓여진 시험객체(120)를 지지한다. 시험객체(120)는 미소 크랙 존재 여부를 검출하여 정상 여부를 판별하기 위한 대상 객체이다. 일 실시예에서, 시험객체(120)는 자동 이송 장치(미도시)를 통해 객체 지지부(110)에 놓여질 수 있다. 시험객체(120)는 해당 객체의 구조적 특징을 기초로 놓여지는 위치가 정해질 수 있다.

[0046] 예를 들어, 자동차 변속기에 사용되는 파크 기어(park gear)의 경우, 통계적으로 환형의 기어치의 Y축 방향으로 크랙이 다수 존재한다. 따라서, 시험객체(120)가 자동차 변속기에 사용되는 파크 기어인 경우, 시험객체(120)는 해당 객체에 크랙이 자주 발생하는 방향과 가진기(130)에 의해 물리적 힘이 가해지는 방향이 수직이 되도록 객체 지지부(110)에 놓여질 수 있다. 즉, 환형 기어치의 X축 방향으로 물리적 힘이 가해지도록 시험객체(120)가 객체 지지부(110)에 놓여질 수 있다. 다른 실시예에서, 객체 지지부(110)에 놓여진 시험객체(120)의 위치에 따라, 가진기(130)가 위치를 이동하여 이동하여 시험객체(120)에 물리적 힘을 가할 수도 있다. 즉, 가진기(130)가 환형 기어치의 X축 방향으로 물리적 힘이 가할 수 있도록 위치를 이동할 수 있다.

[0047] 가진기(130)는 제어에 의해 상기 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가한다. 가진기(130)는 자동으로 시험객체(120)에 임팩트를 인가할 수 있는 고정식 임팩트 장치를 활용할 수 있다. 일 실시예에서, 가진기(130)는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker) 등을 포함할 수 있다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해, 임팩트 해머를 가진기로 사용하는 경우를 가정하여 설명하기로 한다. 임팩트 해머는 시험객체(120)에 물리적 손상을 일으키지도 않고, 시험을 위한 사전 가공이 필요하지 않으며, 넓은 주파수에 걸쳐 시험객체(120)에 임팩트를 인가할 수 있다.

[0048] 임팩트 해머의 경우, 실제 가진이 되는 부분(임팩트 부분)에는 팁(140)이 구비될 수 있다. 일 실시예에서, 팁(140)은 시험객체(120)의 미소 크랙 존재 여부 검출에 요구되는 주파수 대역에 따라 자동 또는 수동으로 교체될 수 있다. 예를 들어, 시험객체(120)의 공진점 측정을 위해 고주파 대역이 요구되는 경우, 가진기(130)에는 앞쪽이 날카롭고 강성이 큰 스틸(steel) 제품의 팁이 사용될 수 있다. 저주파 대역이 요구되는 경우, 가진기(130)에는 플라스틱, 고무 등의 강성이 작은 팁이 사용될 수 있다.

[0049] 센서(150)는 시험객체(120)의 타측에 접하며, 가진기(130)에 의해 가해진 물리적 힘에 의해 시험객체(120)에서 생성된 신호를 수집한다. 센서(150)의 종류는 수집하고자 하는 물리적 신호의 종류에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 경우 가속도 센서가 사용될 수 있고, 표면 속도(surface velocity)를 측정하는 경우 레이저 센서가 사용될 수 있으며, 변위(displacement)를 측정하는 경우 사진계측(photogrammetry)이나 스트링 팟(string pots)이 사용될 수 있다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해, 센서(150)로 가속도 센서가 사용되어 진동 신호를 수집하는 경우를 가정하여 설명하기로 한다.

[0050] 입력(임팩트) 신호에 따른 응답(진동) 신호는 3축 가속도이므로, 가속도 센서는 3축의 응답을 모두 측정할 수 있도록 구성된다.

[0051] 객체의 전수 검사 시, 센서(150)를 반복적으로 탈부착하는 것은 적합하지 않다. 따라서, 센서(150)는 검사장치의 객체 지지부(110)에 구비하여 일체화시킨 후, 검사 시 시험객체(120)를 센서(150)의 위쪽에 위치시켜 응답을 측정할 수 있도록 장치를 구성한다. 일 실시예에서, 시험객체(120)와 센서(150) 사이에 유격이 발생하는 경우

원하지 않는 진동이 유발될 수 있으므로 검사 장치에는 센서(150)와 시험객체(120)를 밀착시키는 밀착부가 더 포함될 수 있다. 예를 들어, 원하지 않는 진동을 방지하기 위해 강성이 약한 고무 등의 밀착부가 센서(150) 위쪽에 구비될 수 있다.

[0052] 미소 크랙 검출부(160)는 가진기(130)에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 센서(150)에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 주파수 응답 함수를 산출하고, 변환된 주파수 도메인 신호에서 추출된 공진점과 기 측정된 기준객체(reference object)의 주파수 도메인 신호의 공진점을 비교하여 상기 시험객체의 미소 크랙 존재 여부를 검출한다. 일 실시예에서, 기준객체(reference object)는 해당 객체에서 미소 크랙이 없는 무결점 객체에 해당할 수 있다.

[0053] 미소 크랙 검출부(160)는 가진기(130)에 의해 유발된 입력(임팩트) 신호와 센서(150)에서 측정된 응답(진동) 신호를 기초로 주파수 응답 함수(H(jw))를 산출한다.(H(jw) = Y(jw)/X(jw), 여기에서 Y(jw)는 응답 신호, X(jw) 입력 신호, w는 주파수)

[0054] 도 2는 시험용 샘플의 일 예를 나타내는 도면이고, 도 3은 도 2의 시험용 샘플에 대해 측정된 주파수 응답 함수의 일 예를 나타내는 도면이다.

[0055] 도 2를 참조하면, 도 2의 (a)는 CT장비를 이용하여 크랙의 길이가 200㎛인 시험객체를 촬영한 영상이고, 도 2의 (b)는 크랙의 길이가 230㎛인 시험객체를 촬영한 영상이다.

[0056] 도 3은 도 2의 각 시험객체에 대해 가진기(130)에 의해 유발된 입력(임팩트) 신호와 센서(150)에서 측정된 응답(진동) 신호를 기초로 주파수 응답 함수(H(jw))를 산출한 결과를 나타낸다. Specimen 1은 도 2의 (a)(크랙의 길이가 200㎛인 시험객체)의 주파수 응답 함수를 나타내며, Specimen 2는 도 2의 (b)(크랙의 길이가 230㎛인 시험객체)의 주파수 응답 함수를 나타낸다. 우측의 공진점 부근을 확대한 도면을 살펴보면, 미소 크랙의 깊이에 따라 공진점의 개수가 증가한 것을 확인할 수 있다. 즉, Specimen 2의 경우, 피크(peak) 구간에서 2개의 공진점으로 분기되는 현상이 나타난 것을 확인할 수 있다. 기존의 검사 장치 및 검사 방법의 경우 검사 한계가 최소 100㎛인데 반해, 본 발명의 미소 크랙 검사 장치 및 검사 방법은 이를 이용하여 30㎛ 이내까지 미소 크랙을 검출할 수 있다.

[0057] 다시 도 1을 참조하면, 미소 크랙 검출부(160)는 시험객체(120)에서 산출된 제1 주파수 응답 함수의 공진점에서 제1 관심 주파수 영역을 추출하고, 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점에서 제2 관심 주파수 영역을 추출하여, 상기 제1 관심 주파수 영역의 값과 상기 제2 관심 주파수 영역의 값의 코히어런스(coherence) 값을 산출한다. 미소 크랙 검출부(160)는 제1 관심 주파수 영역의 값과 제2 관심 주파수 영역의 값을 각각 제1 입력 값 및 제2 입력 값으로 하여 기 정의된 코히어런스 함수를 통해 코히어런스 값을 산출한다. 산출된 코히어런스 값이 1이면 2개의 입력 값은 완전한 상관관계에 있고, 코히어런스 값이 0이면 2개의 입력 값은 전연 상관이 없는 것을 나타낸다

[0058] 일 실시예에서, 제1 관심 주파수 영역과 상기 제2 관심 주파수 영역은 각각 해당 주파수 응답 함수에서 0.9×N(Hz)에서 1.1×N(Hz) 사이에 해당할 수 있다. 여기에서, N은 공진점 주파수(Hz)를 나타낸다. 시험객체의 주파수 응답 함수 특성에 따라, 관심 주파수 영역의 범위는 변경될 수도 있다.

[0059] 주파수 응답 함수의 경우 신호의 크기 특성에 의해 공진점 근처 부분에서는 코히어런스 값이 1 근처(최대가 1임)로 산출되며, 공진점에서 멀리 떨어진 부분들에서는 신호가 약하고 노이즈 신호에 쉽게 노출되어 코히어런스 값이 상대적으로 낮은 값이 산출된다. 따라서, 본 발명의 미소 크랙 검출부(160)는 공진점의 주파수를 N(Hz)라고 가정을 하면, 0.9*N(Hz)와 1.1*N(Hz) 주파수 대역 사이의 값만을 활용하여 코히어런스 값을 산출함으로써, 미소 크랙 검사의 신뢰도를 높일 수 있다.

[0060] 도 4는 공진점 근처에서의 코히어런스(coherence) 값의 일 예를 나타내는 도면이다.

[0061] 도 4를 참조하면, 케이스 1은 도 3의 Specimen 2에 대해 2번 측정한 주파수 응답 함수 결과를 이용하여 공진점 근처의 코히어런스 값을 산출한 결과를 나타낸다. 케이스 2와 케이스 3은 Specimen 1의 주파수 응답 함수와 2번 측정한 Specimen 2의 주파수 응답 함수를 각각 이용하여 공진점 근처의 코히어런스 값을 산출한 결과를 나타낸다. 케이스 1에서 살펴본 바와 같이, 크랙의 깊이가 동일한 경우에는 공진점 주변에서의 코히어런스 값이 거의 1에 근접한 값이 산출된다. 반면, 케이스2와 케이스3과 같이 크랙의 깊이에 차이가 있는 경우에는 공진점 주변에서의 코히어런스 값이 1의 값에서 현저하게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 도 4를 통해, 30㎛ 정도의 크랙 길이의 차이에도 공진점 근처의 코히어런스 값이 매우 민감하게 반응하고 있음을 확인할 수 있다.

[0062] 다시 도 1을 참조하면, 시험객체(120)의 주파수 응답 함수와 기준객체의 주파수 응답 함수를 이용하여 코히어런스 값이 산출된 경우, 미소 크랙 검출부(160)는 하기 수학식 1을 통해 검사 지수(Inspection)를 산출한다.

[0063] [수학식 1]

[0064] $$Inspection = \sum_{i=0.9N}^{1.1N} C(i)$$

[0065] 여기에서, Inspection은 검사 지수, C(i)는 주파수 i(Hz)에서의 코히어런스 값.

[0066] 크랙이 없는 시험객체(120)가 정상 객체인 경우에는 공진점 근처 구간에서 모두 1 근처의 값을 가지므로, 검사 지수는 분석된 영역(0.9*N ~ 1.1*N)의 주파수의 개수(M)에 근접하는 값이 산출될 수 있다. 시험객체(120)와 기준객체의 크랙의 길이가 다른 경우에는 검사 지수는 주파수 개수(M)보다 현저하게 작아질 수 있다.

[0067] 검사 지수를 산출한 후, 미소 크랙 검출부(160)는 하기 수학식 2를 기초로 시험객체(120)의 정상 객체 여부를 판별한다. 일 실시예에서, 미소 크랙 검출부(160)는 하기 수학식 2를 만족하는 시험객체를 미소 크랙이 존재하지 않는 정상 객체로 판별할 수 있다.

[0068] [수학식 2]

[0069] $$M - \alpha \times (Inspection) \leq 0$$

[0070] 여기에서, Inspection은 검사 지수, α는 보정계수

[0071] 보정계수(α)는 객체의 종류에 따라 달라질 수 있으며, 실험을 통해 산출된 값으로 기 설정될 수 있다. 시험객체(120)와 기준객체의 크랙의 길이가 일정 길이 이상으로 차이가 나는 경우, 검사 지수의 값이 M보다 현저하게 작아지므로, 수학식 2는 충족되지 않는다. 따라서, 미소 크랙 검출부(160)는 수학식 2를 만족하는 시험객체를 정상 객체로 판별하고, 수학식 2를 만족하지 않는 시험객체는 불량 객체로 판별할 수 있다.

[0072] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 미소 크랙 검사 장치를 이용한 미소 크랙 검사 방법을 설명하는 흐름도이다.

[0073] 도 5를 참조하면, 미소 크랙 검사 장치의 가진기(130)가 제어에 의해 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가한다(단계 S510). 일 실시예에서, 가진기(130)는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker)를 포함할 수 있다.

[0074] 시험객체(120)는 미소 크랙 존재 여부를 검출하여 정상 여부를 판별하기 위한 대상 객체로, 자동 이송 장치(미도시)를 통해 객체 지지부(110)에 놓여질 수 있다. 가진기(130)는 객체 지지부(110)에 놓여진 시험객체(120)에 물리적 힘을 가한다. 시험객체(120)는 해당 객체의 구조적 특징을 기초로 놓여지는 위치가 정해질 수 있다.

[0075] 시험객체(120)에 물리적 힘이 가해지면, 센서(150)가 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집한다(단계 S520). 일 실시예에서, 센서(150)는 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 가속도 센서를 포함할 수 있다.

[0076] 미소 크랙 검출부(160)는 가진기(130)에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 센서(150)에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 제1 주파수 응답 함수를 산출하고, 제1 주파수 응답 함수에서 공진점을 추출한다(단계 S530).

[0077] 미소 크랙 검출부(160)는 제1 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점과 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점을 비교하여 시험객체(120)의 미소 크랙 존재 여부를 검출한다(단계 S540). 일 실시예에서, 미소 크랙 검출부(160)는 시험객체(120)에서 산출된 제1 주파수 응답 함수의 공진점에서 제1 관심 주파수 영역을 추출하고, 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수의 공진점에서 제2 관심 주파수 영역을 추출하여, 상기 제1 관심 주파수 영역의 값과 상기 제2 관심 주파수 영역의 값의 코히어런스(coherence) 값을 산출할 수 있다.

[0078] 일 실시예에서, 제1 관심 주파수 영역과 상기 제2 관심 주파수 영역은 각각 해당 주파수 응답 함수에서 0.9×N(Hz)에서 1.1×N(Hz) 사이에 해당할 수 있다. 여기에서, N은 공진점 주파수(Hz)를 나타낸다. 시험객체의 주파수 응답 함수 특성에 따라, 관심 주파수 영역의 범위는 변경될 수도 있다.

[0079] 시험객체(120)의 주파수 응답 함수와 기준객체의 주파수 응답 함수를 이용하여 코히어런스 값이 산출된 경우, 미소 크랙 검출부(160)는 하기 수학식 1을 통해 검사 지수(Inspection)를 산출한다.

[0080] [수학식 1]

[0081] $$Inspection = \sum_{i=0.1}^{1.1} C(i)$$

[0082] 여기에서, Inspection은 검사 지수, C(i)는 주파수 i(Hz)에서의 코히어런스 값.

[0083] 검사 지수를 산출한 후, 미소 크랙 검출부(160)는 하기 수학식 2를 기초로 시험객체(120)의 정상 객체 여부를 판별한다. 일 실시예에서, 미소 크랙 검출부(160)는 하기 수학식 2를 만족하는 시험객체를 미소 크랙이 존재하지 않는 정상 객체로 판별할 수 있다.

[0084] [수학식 2]

[0085] $$M - \alpha \times (Inspection) \leq 0$$

[0086] 여기에서, Inspection은 검사 지수, α는 보정계수

[0087] 개시된 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 검사 방법은 가진기(예를 들어, 임팩트 해머)와 응답 신호를 측정하기 위한 센서(예를 들어, 가속도 센서)만 있으면 되므로 검사 장치를 구축하는 비용이 저렴하고 구성이 간단한 장점이 있다. 또한, 미소 크랙의 존재 여부 검출 시 계산 과정에서 요구되는 주파수 응답 함수와 코히어런스 함수는 계산 시간이 다수 소요되는 복잡한 함수가 아니므로 빠른 연산이 가능한 장점이 있다. 따라서, 개시된 미소 크랙 검사 장치 및 이를 이용한 검사 방법은 대량생산 제품의 전수 검사에 적용하기에 적합한 장점이 있다.

[0088] 도 1 내지 도 5을 통해 설명된 검사 장치 및 검사 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 애플리케이션이나 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수도 있다.

[0089] 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 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.

[0090] 모듈(module)이라 함은 명세서에서 설명되는 각각의 명칭에 따른 기능과 동작을 수행할 수 있는 하드웨어를 의미할 수도 있고, 또한 특정한 기능과 동작을 수행할 수 있는 컴퓨터 프로그램 코드를 의미할 수도 있고, 또한 특정한 기능과 동작을 수행시킬 수 있는 컴퓨터 프로그램 코드가 탑재된 전자적 기록 매체, 예컨대 프로세서를 의미할 수 있다.

[0091] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 검사 장치 및 검사 방법으로 구현할 수 있다.

부호의 설명

[0092] 100 : 미소 크랙 검사 장치

110 : 객체 지지부

120 : 시험객체

130 : 가진기

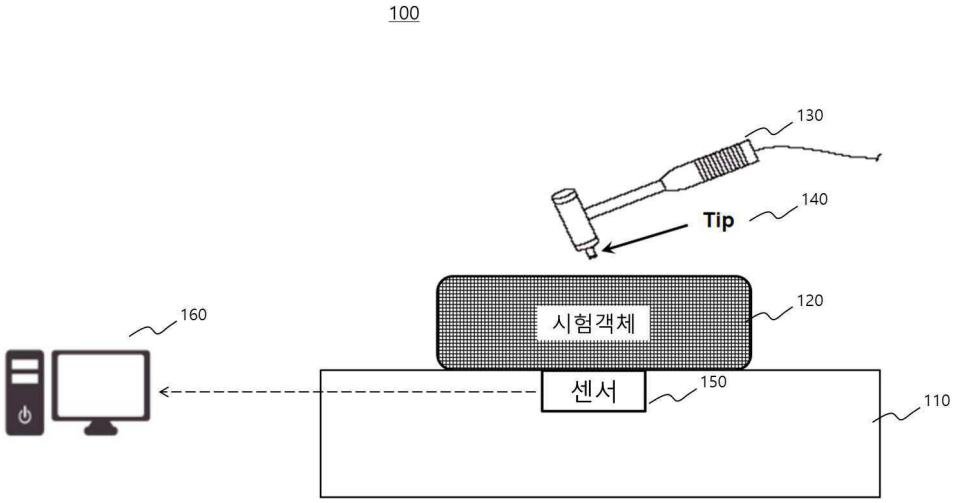
140 : 팁

150 : 센서

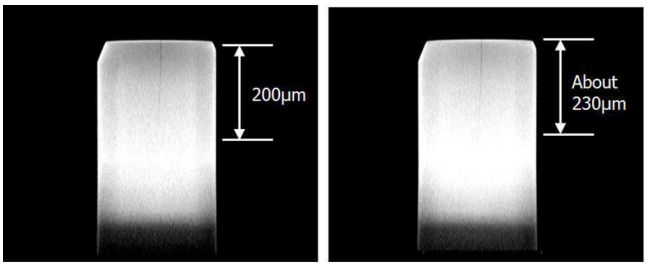
160 : 미소 크랙 검출부

도면

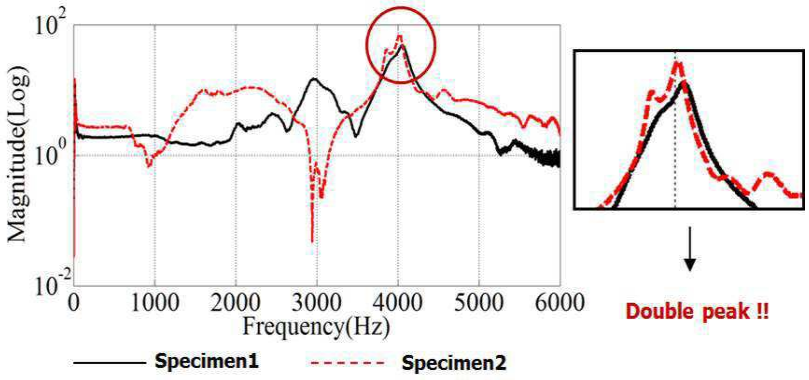
도면1



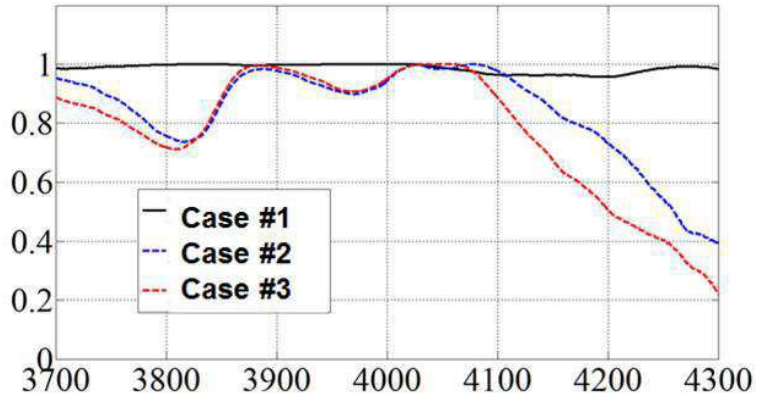
도면2



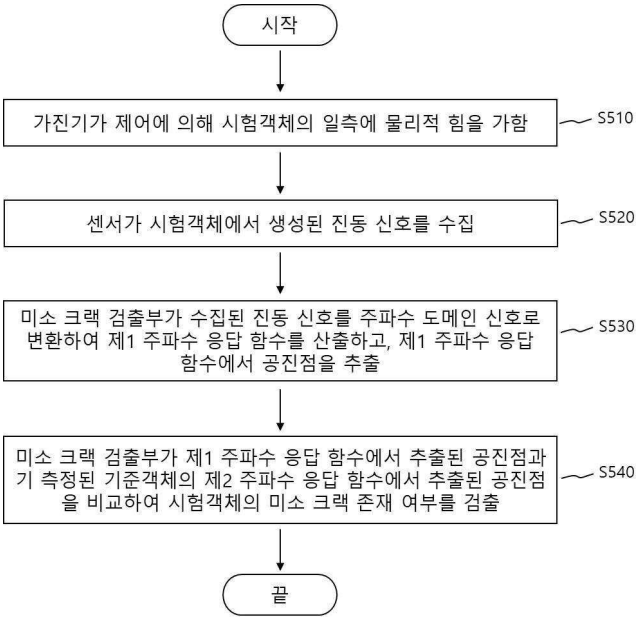
도면3



도면4


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
3700
3800
3900
4000
4100
4200
4300
Case #1
Case #2
Case #3

도면5


시작
가진기가 제어에 의해 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가함
S510
센서가 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집
S520
미소 크랙 검출부가 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 제1 주파수 응답 함수를 산출하고, 제1 주파수 응답 함수에서 공진점을 추출
S530
미소 크랙 검출부가 제1 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점과 기 측정된 기준객체의 제2 주파수 응답 함수에서 추출된 공진점을 비교하여 시험객체의 미소 크랙 존재 여부를 검출
S540
끝