(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0117452
(43) 공개일자 2021년09월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 29/04 (2006.01) *G01N 29/12* (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01) *G01P 15/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 29/045 (2013.01)
G01N 29/048 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0033665
(22) 출원일자 2020년03월19일
심사청구일자 2020년03월19일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
김찬중
부산광역시 연제구 아시아드대로28번길 9, 106동 1204호(거제동, 대우아파트)
(74) 대리인
남건필, 박종수, 김정연, 차상윤

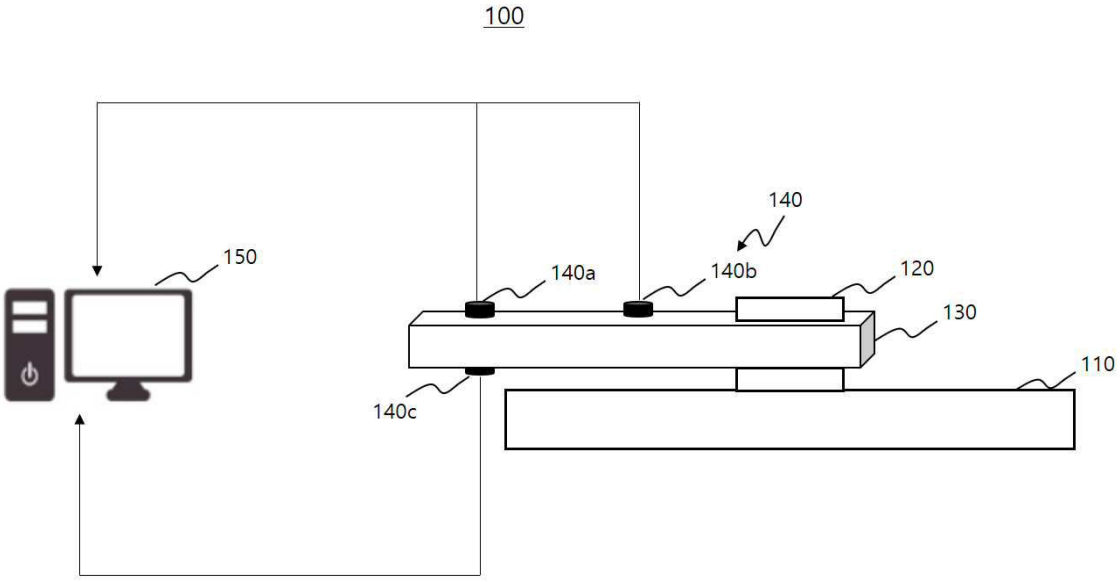
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법**

(57) 요 약

본 발명은 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 객체 손상 검사 장치는 시험객체를 고정하는 고정부, 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 상기 고정된 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기, 상기 시험객체의 일 부위에 접하며, 상기 물리적 힘에 의해 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 센서 및 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 시험객체 측정 주파수 신호와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 기초로 상기 시험객체의 물리적 손상 여부를 검출하는 손상 검출기를 포함하되, 상기 손상 검출기는 상기 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호 사이의 코히어런스 값을 산출하는 코히어런스 산출부 및 상기 산출된 코히어런스 값을 기초로 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출하는 손상 검출부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 29/12 (2013.01)
G01N 29/4472 (2013.01)
G01P 15/08 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2019-BS-RD-0025-01
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 진동스펙트럼 패턴분석을 접목시킨 크랙검사방법을 이용한 전기차 및 하이브리드 2단변속기용 디프렌셜 기어박스 기술개발
연구과제명 연구개발특구육성(R&D) (조사분석사업명 : 연구개발특구육성(R&D))
기 여 율 1/1
과제수행기관명 (주)프로솔
연구기간 2019.05.15 ~ 2020.05.14

명 세 서

청구범위

청구항 1

시험객체를 고정하는 고정부;

제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 상기 고정된 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기;

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

상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 시험객체 측정 주파수 신호와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 기초로 상기 시험객체의 물리적 손상 여부를 검출하는 손상 검출기를 포함하되,

상기 손상 검출기는

상기 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호 사이의 코히어런스 값을 산출하는 코히어런스 산출부; 및

상기 산출된 코히어런스 값을 기초로 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출하는 손상 검출부를 포함하는 객체 손상 검사 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 고정부는 고정지그를 포함하되,

상기 고정지그는 상기 시험객체의 일 끝단을 고정하는 객체 손상 검사 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

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

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 센서는 복수의 센서를 포함하고,

상기 복수의 센서는 상기 시험객체의 복수의 부위에 서로 이격되어 배치되는 객체 손상 검사 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 센서는 상기 시험객체의 각 면에 적어도 하나 이상 배치되는 객체 손상 검사 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 코히어런스 산출부는 하기 수학식 1을 통해 코히어런스 지표를 산출하는 객체 손상 검사 장치.

[수학식 1]

$$I(\omega)=\frac{\left|G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}\right|^2}{G_{R(\omega)R(\omega)}G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}}$$

여기에서, I(w)는 코히어런스 지표, w는 각주파수(=2πf), $G_{R(\omega)R(\omega)}$ 는 기준객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}$ 는 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}$는 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관값, R(w)는 기준객체 측정 주파수 신호, $\tilde{R}(\omega)$는 시험객체 측정 주파수 신호

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 손상 검출부는 상기 산출된 코히어런스 지표값과 기 설정된 값을 비교하여 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출하는 객체 손상 검사 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 코히어런스 산출부는 n개의 센서에서 각각 측정된 신호를 기초로 산출된 n개의 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출하는 객체 손상 검사 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 손상 검출부는 상기 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표값을 각각 기 설정된 값과 비교하여, 상기 시험객체의 물리적 손상여부 및 손상 발생 위치를 검출하는 객체 손상 검사 장치.

청구항 10

가진기가 제어에 의해 시험객체의 일측에 기 설정된 패턴으로 물리적 힘을 가하는 단계;

센서가 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 단계;

손상 검출기가 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 시험객체 측정 주파수 신호와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 기초로 상기 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호 사이의 코히어런스 값을 산출하는 단계; 및

상기 손상 검출기가 상기 산출된 코히어런스 값을 기초로 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출하는 단계를

포함하는 객체 손상 검사 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 코히어런스 값을 산출하는 단계는 하기 수학식 1을 통해 코히어런스 지표를 산출하는 단계를 포함하는 객체 손상 검사 방법.

[수학식 1]

$$I(\omega)=\frac{\left|G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}\right|^2}{G_{R(\omega)R(\omega)}G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}}$$

여기에서, I(w)는 코히어런스 지표, w는 각주파수(=2πf), $G_{R(\omega)R(\omega)}$는 기준객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}$는 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}$는 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관값, R(w)는 기준객체 측정 주파수 신호, $\tilde{R}(\omega)$는 시험객체 측정 주파수 신호

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 손상여부를 검출하는 단계는 상기 산출된 코히어런스 지표값과 기 설정된 값을 비교하여 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출하는 단계를 포함하는 객체 손상 검사 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 코히어런스 값을 산출하는 단계는 n개의 센서에서 각각 측정된 신호를 기초로 산출된 n개의 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출하는 단계를 포함하는 객체 손상 검사 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 손상여부를 검출하는 단계는 상기 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표값을 각각 기 설정된 값과 비교하여, 상기 시험객체의 물리적 손상여부 및 손상 발생 위치를 검출하는 단계를 포함하는 객체 손상 검사 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 검사 대상 시험객체에서 측정된 출력 값만을 이용하여 검사를 수행함으로써 검사 시스템을 보다 단순하게 구성할 수 있는 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 주파수 응답(Frequency Response)은 진폭이 일정한 다양한 주파수의 입력 신호가 어떤 시스템에 입력되었을 때, 해당 시스템에서 출력되는 출력 신호를 주파수 도메인(frequency domain)에서 측정한 것이다.

[0003] 주파수 응답 함수는 특정 시스템에서의 입력 신호와 출력 신호 사이의 상관 관계를 나타낸 식으로, 해당 시스템의 물리적 특성을 분석할 수 있는 중요한 물리적 지표로 사용된다. 예를 들어, 비파괴 검사장치의 경우, 객체의 주파수 응답 함수를 측정하고 분석함으로써 객체를 파괴하지 않고 해당 객체의 물리적 특성을 분석할 수 있다. 따라서, 정확한 주파수 응답 함수를 측정하는 것은 대상 객체의 기계적 신뢰성을 확보하기 위한 사전 정보로 매우 중요하다.

[0004] 그러나, 기존의 주파수 응답 함수를 이용한 검사장치의 경우, 객체의 주파수 응답 함수를 산출하기 위해 입력 신호와 출력 신호를 모두 측정하고, 이를 주파수 도메인 신호로 변환하여야 하므로, 검사장치의 구성이 복잡해질 수밖에 없다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 10-2019-0065723(2019.06.12), 6쪽 내지 10쪽

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 검사 대상 시험객체에서 측정된 출력 값만을 이용하여 검사를 수행함으로써 검사 장치를 보다 단순하게 구성할 수 있는 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법을 제공한다.

[0007] 본 발명은 검사 대상 시험객체의 물리적 손상여부와 함께 손상 위치를 분석할 수 있는 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법을 제공한다.

[0008] 본 발명은 검사 장치의 구성을 단순화함으로써 검사 장치의 비용을 낮추고 검사 시스템의 유지관리를 용이하게 할 수 있는 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명에 따른 객체 손상 검사 장치는 시험객체를 고정하는 고정부, 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 상기 고정된 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기, 상기 시험객체의 일 부위에 접하며, 상기 물리적 힘에 의해 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 센서 및 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 시험객체 측정 주파수 신호와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 기초로 상기 시험객체의 물리적 손상 여부를 검출하는 손상 검출기를 포함하되, 상기 손상 검출기는 상기 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호 사이의 코히어런스 값을 산출하는 코히어런스 산출부 및 상기 산출된 코히어런스 값을 기초로 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출하는 손상 검출부를 포함한다.

[0010] 일 실시예에서, 상기 고정부는 고정지그를 포함하되, 상기 고정지그는 상기 시험객체의 일 끝단을 고정할 수 있다.

[0011] 일 실시예에서, 상기 센서는 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 가속도 센서를 포함할 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 상기 센서는 복수의 센서를 포함하고, 상기 복수의 센서는 상기 시험객체의 복수의 부위에 서로 이격되어 배치될 수 있다.

[0013] 일 실시예에서, 상기 센서는 상기 시험객체의 각 면에 적어도 하나 이상 배치될 수 있다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 코히어런스 산출부는 상기 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관(auto correlation)값, 기준객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값 및 상기 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관(cross correaltion)값을 이용하여 상기 시험객체에 대한 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0015] 일 실시예에서, 상기 코히어런스 산출부는 하기 수학식 1을 통해 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0016] [수학식 1]

$$I(\omega)=\frac{\left|G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}\right|^2}{G_{R(\omega)R(\omega)}G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}}$$

[0017]

[0018] 여기에서, I(w)는 코히어런스 지표, w는 각주파수(=2πf), $G_{R(\omega)R(\omega)}$ 는 기준객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}$ 는 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}$는 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관값, R(w)는 기준객체 측정 주파수 신호, $\tilde{R}(\omega)$는 시험객체 측정 주파수 신호

[0019] 일 실시예에서, 상기 손상 검출부는 상기 산출된 코히어런스 지표값과 기 설정된 값을 비교하여 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출할 수 있다.

[0020] 일 실시예에서, 상기 코히어런스 산출부는 n개의 센서에서 각각 측정된 신호를 기초로 산출된 n개의 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0021] 일 실시예에서, 상기 손상 검출부는 상기 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표값을 각각 기 설정된 값과 비교하여, 상기 시험객체의 물리적 손상여부 및 손상 발생 위치를 검출할 수 있다.

[0022] 본 발명에 따른 객체 손상 검사 방법은 가진기가 제어에 의해 시험객체의 일측에 기 설정된 패턴으로 물리적 힘을 가하는 단계, 센서가 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 단계, 손상 검출기가 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 시험객체 측정 주파수 신호와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 기초로 상기 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호 사이의 코히어런스 값을 산출하는 단계 및 상기 손상 검출기가 상기 산출된 코히어런스 값을 기초로 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출하는 단계를 포함한다.

[0023] 일 실시예에서, 상기 코히어런스 값을 산출하는 단계는 상기 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관(auto correlation)값, 기준객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값 및 상기 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관(cross correaltion)값을 이용하여 상기 시험객체에 대한 코히어런스 지표를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 일 실시예에서, 상기 코히어런스 값을 산출하는 단계는 하기 수학식 1을 통해 코히어런스 지표를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0025] [수학식 1]

$$I(\omega)=\frac{\left|G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}\right|^2}{G_{R(\omega)R(\omega)}G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}}$$

[0026]

[0027] 여기에서, I(w)는 코히어런스 지표, w는 각주파수(=2πf), $G_{R(\omega)R(\omega)}$ 는 기준객체 측정 주파수 신호의 자기

상관값, $G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}$ 는 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}$는 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관값, R(w)는 기준객체 측정 주파수 신호, $\tilde{R}(\omega)$는 시험객체 측정 주파수 신호

[0028] 일 실시예에서, 상기 손상여부를 검출하는 단계는 상기 산출된 코히어런스 지표값과 기 설정된 값을 비교하여 상기 시험객체의 물리적 손상여부를 검출할 수 있다.

[0029] 일 실시예에서, 상기 코히어런스 값을 산출하는 단계는 n개의 센서에서 각각 측정된 신호를 기초로 산출된 n개의 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 일 실시예에서, 상기 손상여부를 검출하는 단계는 상기 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표값을 각각 기 설정된 값과 비교하여, 상기 시험객체의 물리적 손상여부 및 손상 발생 위치를 검출하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0031] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법은 검사 대상 시험객체에서 측정된 출력 값만을 이용하여 검사를 수행함으로써 검사 장치를 보다 단순하게 구성할 수 있다.

[0032] 본 발명에 따른 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법은 검사 대상 시험객체의 물리적 손상여부와 함께 손상 위치를 분석할 수 있다.

[0033] 본 발명에 따른 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법은 검사 장치의 구성을 단순화함으로써 검사 장치의 비용을 낮추고 검사 시스템의 유지관리를 용이하게 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 객체 손상 검사 장치의 구성을 나타내는 구성도

도 2는 주파수 응답 함수를 설명하는 도면

도 3은 시험객체의 일 예를 나타내는 도면

도 4는 객체 손상 검사 장치를 이용하여 시험객체를 시험하는 실험 예를 나타내는 도면

도 5는 시험객체에 설치된 센서의 일 예를 나타내는 도면

도 6은 시험객체에 입력되는 입력 신호의 주파수 성분을 나타내는 도면

도 7은 시험객체에 대한 주파수 응답 함수를 이용하여 산출된 코히어런스(coherence) 지표 값을 나타내는 도면

도 8은 시험객체에 대한 시험객체 측정 주파수 신호를 이용하여 산출된 코히어런스 지표 값을 나타내는 도면

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 객체 손상 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하, 본 발명에 따른 객체 손상 검사 장치 및 이를 이용한 객체 손상 검사 방법을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

[0036] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 객체 손상 검사 장치의 구성을 나타내는 구성도이다.

[0037] 도 1을 참조하면, 객체 손상 검사 장치(100)는 가진기(110), 고정부(120), 시험객체(130), 센서(sensor) (140) 및 손상 검출기(150)를 포함할 수 있다.

[0038] 객체 손상 검사 장치(100)는 시험객체에서 측정된 출력 값만을 이용하여 시험객체(object)(130)의 물리적 손상여부를 검사한다. 예를 들어, 가진기(110)를 통해 시험객체(130)에 가진 신호가 입력되면, 객체 손상 검사 장치(100)는 센서(140)를 통해 시험객체(130)의 진동 신호를 수집한다. 객체 손상 검사 장치(100)는 가진기(110)를

통해 시험객체(130)에 입력된 가진 신호는 사용하지 않고, 센서(140)를 통해 수집된 진동 신호만을 이용하여 시험객체(130)의 물리적 손상 여부를 검사할 수 있다. 일 실시예에서, 객체 손상 검사 장치(100)는 시험객체(130)에 미소 크랙(crack)이 있는 지 여부를 검사할 수 있는 미소 크랙 검사 장치에 해당할 수 있다.

[0039] 이하에서는, 설명의 편의를 위해 객체 손상 검사 장치(100)가 다양한 물리적 손상 가운데 시험객체(130)의 미소 크랙 유무 여부를 검사하는 미소 크랙 검사 장치인 경우를 가정하여 설명하기로 한다.

[0040] 가진기(110)는 손상 검출기(150) 또는 기타 제어장치의 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 시험객체(130)의 일측에 물리적 힘을 가한다. 일 실시예에서, 가진기(130)는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker) 등을 포함할 수 있다. 임팩트 해머의 경우, 시험객체(130)에 물리적 손상을 일으키지 않고, 시험을 위한 사전 가공이 필요하지 않으며, 넓은 주파수에 걸쳐 시험객체(130)에 임팩트를 인가할 수 있다. 임팩트 해머의 경우, 실제 가진이 되는 부분(임팩트 부분)에 팁(tip)이 구비될 수 있으며, 팁은 시험에 요구되는 주파수 대역에 따라 교체될 수 있다.

[0041] 고정부(120)는 시험객체(130)를 고정한다. 일 실시예에서, 고정부(120)는 고정 지그(jig)를 포함하되, 고정 지그는 시험객체(130)의 일 끝단을 고정한다.

[0042] 센서(140)는 시험객체(130)의 일 부위에 접하며, 가진기(110)에 의해 가해진 물리적 힘에 의해 시험객체(130)에서 생성된 진동 신호를 수집한다. 일 실시예에서, 센서(140)는 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 가속도 센서를 포함한다.

[0043] 일 실시예에서, 시험객체(130)에는 복수의 부위에 복수의 센서들(140a, 140b, 140c, …, 140n)이 서로 이격되어 배치될 수 있다. 예를 들어, 시험객체(130)의 각 면에 적어도 하나 이상의 센서(140)가 이격되어 배치될 수 있다. 복수의 센서를 사용하는 경우, 객체 손상 검사 장치(100) 시험객체(130)의 물리적 손상여부(예를 들어, 미소 크랙 유무 여부)와 함께 손상 위치(예를 들어, 미소 크랙 발생 위치)를 분석할 수 있다.

[0044] 손상 검출기(150)는 센서(140)에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인(frequency domain) 신호로 변환한 시험객체 측정 주파수 신호와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 기초로 시험객체(130)의 물리적 손상 여부를 검출한다. 일 실시예에서, 기준객체는 시험객체와 동일한 형태의 객체로 물리적 손상이 없는 객체이고, 기준객체 측정 주파수 신호는 기준객체에서 측정된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 신호이다.

[0045] 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호는 동일한 가진 신호를 입력 신호로 하여, 각각 시험객체와 기준객체에서 측정된 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 신호이다. 일 실시예에서, 손상 검출기(150)는 메모리(미도시)를 포함하고, 시험 대상이 되는 객체의 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 미리 메모리에 저장할 수 있다. 손상 검출기(150)는 사용자의 제어에 따라 이미 산출된 기준객체 측정 주파수 신호를 입력받아 저장하거나, 기준객체 측정 모드에서 기준객체를 가진하여 기준객체 측정 주파수 신호를 산출하고 이를 저장할 수 있다.

[0046] 손상 검출기는(150)는 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호 사이의 코히어런스(coherence) 값을 산출하는 코히어런스 산출부(미도시)와 산출된 코히어런스 값을 기초로 시험객체(130)의 물리적 손상여부를 검출하는 손상검출부(미도시)를 포함한다.

[0047] 코히어런스 산출부는 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관(auto correlation)값, 기준객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값 및 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관(cross correaltion)값을 이용하여 시험객체(130)에 대한 코히어런스 지표를 산출한다.

[0048] 일 실시예에서, 코히어런스 산출부는 하기 수학식 1을 통해 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0049] [수학식 1]

$$I(\omega) = \frac{\left| G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)} \right|^2}{G_{R(\omega)R(\omega)} G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}}$$

[0050]

[0051] 여기에서, I(w)는 코히어런스 지표, w는 각주파수(=2πf), $G_{R(\omega)R(\omega)}$는 기준객체 측정 주파수 신호의 자기

상관값, $G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}$ 는 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}$는 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관값, R(w)는 기준객체 측정 주파수 신호, $\tilde{R}(\omega)$는 시험객체 측정 주파수 신호를 나타낸다.

[0052] 상관값은 하기 수학식 2를 통해 산출될 수 있다.

[0053] [수학식 2]

[0054] $$G_{R(\omega)R(\omega)} = \int_{-\infty}^{\infty} R(w)R(w+\tau)dw$$

[0055] 손상 검출부는 코히어런스 산출부에서 산출된 코히어런스 지표값과 기 설정된 값을 비교하여 시험객체(130)의 물리적 손상여부를 검출한다. 예를 들어, 손상 검출부는 각 주파수에서 산출된 코히어런스 지표값과 기 설정된 값을 비교하여 코히어런스 지표값이 기 설정된 값을 벗어나는 경우 해당 시험객체(130)에 물리적 손상(예를 들어, 미소 크랙)이 존재하는 것으로 출력할 수 있다. 일 실시예에서, 비교 값은 설계자 또는 사용자에 의해 설정될 수 있다.

[0056] 이하에서는, 도 2를 참조하여 수학식 1이 도출되는 과정을 설명하기로 한다.

[0057] 도 2는 주파수 응답 함수를 설명하는 도면이다.

[0058] 시험객체의 입력 신호에 대한 주파수 도메인 신호와 출력 신호에 대한 주파수 도메인 신호를 이용하여 주파수 응답 함수를 산출하는 경우, 객체 손상 검사 장치는 주파수 응답 함수를 이용하여 시험객체의 물리적 손상 여부(예를 들어, 미소 크랙의 유무 여부)를 검사할 수 있다.

[0059] 도 2를 참조하면, 도 2의 (a)는 물리적 손상이 없는 객체(기준 객체)를 가진하여 입력 신호와 출력 신호가 측정되었을 때, 입력 신호와 출력 신호 및 주파수 응답함수 사이의 관계를 나타내는 도면이다. 물리적 손상이 없는 객체(기준 객체)와 물리적 손상이 있는 객체(손상 객체)에 동일한 입력 신호가 가해진 경우를 가정하기로 한다.

[0060] 물리적 손상이 없는 객체(기준 객체)에 대한 주파수 응답 함수(H(w))는 하기 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

[0061] [수학식 3]

[0062] $$H(\omega) = R(\omega)/F(\omega)$$

[0063] 여기에서, F(w)는 입력 신호의 주파수 도메인 변환 신호, R(w)는 출력 신호의 주파수 도메인 변환 신호, w는 각속도를 나타낸다.

[0064] 객체에 물리적 손상이 있는 경우, 예를 들어 객체에 크랙이 존재하는 경우, 객체의 동적 특성이 달라지고 이는 입력 신호에 대한 출력 신호의 변화를 야기한다.

[0065] 도 2의 (b)는 물리적 손상이 있는 객체(손상 객체)를 가진하여 입력 신호와 출력 신호가 측정되었을 때, 입력 신호와 출력 신호 및 주파수 응답함수 사이의 관계를 나타내는 도면이다. 물리적 손상이 있는 객체(손상 객체)에 대한 주파수 응답 함수($\bar{H}(w)$)는 하기 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[0066] [수학식 4]

[0067] $$\bar{H}(w) = \bar{R}(w)/F(w)$$

[0068] 여기에서, F(w)는 입력 신호의 주파수 도메인 변환 신호, $\bar{R}(w)$는 출력 신호의 주파수 도메인 변환신호, w는 각속도를 나타낸다.

[0069] 수학식 3과 수학식 4의 주파수 응답 함수의 코히어런스(coherence) 지표(I(w))는 하기 수학식 5와 같이 나타낼

수 있다. 코히어런스 지표를 통해 물리적 손상이 없는 객체(기준 객체)의 주파수 응답 함수와 물리적 손상이 있는 객체(손상 객체)의 주파수 응답 함수의 유사성을 산출할 수 있다.

[0070] [수학식 5]

[0071] $$I(\omega)=\frac{\left|G_{H(\omega)\bar{H}(\omega)}\right|^2}{G_{H(\omega)H(\omega)}G_{\bar{H}(\omega)\bar{H}(\omega)}}$$

[0072] 여기에서, I(w)는 코히어런스 지표, w는 각주파수(=2πf), $G_{H(\omega)H(\omega)}$ 는 물리적 손상이 없는 객체(기준 객체)의 주파수 응답 함수의 자기 상관값, $G_{\bar{H}(\omega)\bar{H}(\omega)}$ 는 물리적 손상이 있는 객체(손상 객체)의 주파수 응답 함수의 자기 상관값, $G_{H(\omega)\bar{H}(\omega)}$ 는 물리적 손상이 없는 객체(기준 객체)의 주파수 응답 함수와 물리적 손상이 있는 객체(손상 객체)의 주파수 응답 함수의 크로스 상관값을 나타낸다.

[0073] 수학식 5에 수학식 3 및 수학식 4를 대입하면 하기 수학식 6이 도출될 수 있다.

[0074] [수학식 6]

[0075] $$I(\omega)=\frac{\left|G_{[R(\omega)/F(\omega)][\bar{R}(\omega)/F(\omega)]}\right|^2}{G_{[R(\omega)/F(\omega)][R(\omega)/F(\omega)]}G_{[\bar{R}(\omega)/F(\omega)][\bar{R}(\omega)/F(\omega)]}}\approx\frac{\left|G_{R(\omega)\bar{R}(\omega)}\right|^2}{G_{R(\omega)R(\omega)}G_{\bar{R}(\omega)\bar{R}(\omega)}}$$

[0076] 동일한 입력 신호가 가해진다고 가정하는 경우, 수학식 6에 의하면 출력 신호만으로 코히어런스 지표가 산출될 수 있음을 확인할 수 있다.

[0077] 다시 도 1을 참조하면, 일 실시예에서, 코히어런스 산출부는 n개의 센서에서 각각 측정된 신호를 기초로 산출된 n개의 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0078] 예를 들어, 코히어런스 산출부는 제1 센서(140a)에서 측정된 신호를 기초로 산출된 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 제1 센서(140a)에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출하고, 제2 센서(140b)에서 측정된 신호를 기초로 산출된 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 제2 센서(140b)에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출하고, 제n 센서(140n)에서 측정된 신호를 기초로 산출된 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 제n 센서(140n)에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0079] 손상 검출부는 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표값을 각각 기 설정된 값과 비교하여, 시험객체(130)의 물리적 손상여부 및 손상 발생 위치를 검출할 수 있다. 예를 들어, 제2 센서(140b)에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표값이 기 설정된 값의 범위를 벗어나는 경우, 손상 검출부는 시험객체(130)의 각 면 가운데 제2 센서(140b)가 위치하는 면에 물리적 손상(예를 들어, 미세 크랙)이 존재하는 것으로 검출할 수 있다.

[0080] 도 3은 시험객체의 일 예를 나타내는 도면이고, 도 4는 객체 손상 검사 장치를 이용하여 도 3의 시험객체를 시험하는 실험 예를 나타내는 도면이다.

[0081] 도 3은 실험을 위해 제작된 시험객체의 측면도이다. 왼쪽 끝단은 고정부(120)를 통해 고정되는 부분이며, 시험객체의 일측면 중간에 인공적으로 만들어진 미세 크랙이 위치한다.

[0082] 도 4는 도 3의 시험객체를 실제로 제작하여 실험하는 예를 나타내는 도면이다.

[0083] 도 4를 참조하면, 시험객체(130)가 고정부(120)를 통해 가진기(110) 위에 위치하며, 시험객체(130)에는 복수의 센서(140)가 위치하는 것을 확인할 수 있다. 미세 크랙은 시험객체(130)의 우측 중간에 위치하고, 제1 센서(#1)는 시험객체(130)의 우측 중간, 제2 센서(#2)는 시험객체(130)의 우측 끝단, 제3 센서(#3)는 시험객체(130)의 좌측 중간, 제4 센서(#4)는 시험객체(130)의 좌측 끝단, 제5 센서(#5)는 고정부(120) 위에 위치한다.

[0084] 즉, 제1 센서(#1)와 제2 센서(#2)는 미세 크랙이 위치하는 면에 위치하며, 제3 센서(#3)와 제4 센서(#4)는 미세 크랙이 없는 면에 위치한다. 제1 센서(#1)와 제3 센서(#3)는 미세 크랙과 근접한 곳에 위치하며, 제2 센서(#2)와 제4 센서(#4)는 미세 크랙과 떨어진 곳에 위치한다. 제1 센서(#1)와 제2 센서(#2)는 크랙의 영향을 상대적으

로 많이 받는 위치에 있는 센서이며, 제3 센서(#3)와 제4 센서(#4)는 크랙의 영향이 상대적으로 적은 위치에 있는 센서이다.

[0085] 도 5는 시험객체에 설치된 센서의 일 예를 나타내는 도면으로, 미세 크랙이 있는 면에 미세 크랙과 가깝게 설치한 제1 센서(#1)를 나타내는 도면이다.

[0086] 이하는 도 4와 같은 조건에서 임팩트 가진기를 이용하여 시험객체(130)에 가진 신호(입력 신호)를 가하고 각 센서(#1, #2, #3, #4)에서 진동 신호(출력 신호)를 측정한 결과이다.

[0087] 도 6은 시험객체에 입력되는 입력 신호의 주파수 성분을 나타내는 도면이다.

[0088] 도 6은 가진기(110)를 통해 시험객체(130)에 가진 신호를 입력한 후, 시험객체(130)에서 해당 가진 신호를 측정하여 주파수 도메인으로 변환한 신호를 나타낸 도면이다. 도 6을 참조하면, 시험객체(130)에서 측정된 4개의 가진 신호(#1, #2, #3, #4)의 주파수 성분이 거의 유사함을 확인할 수 있다.

[0089] 도 7은 시험객체에 대한 주파수 응답 함수를 이용하여 산출된 코히어런스(coherence) 지표 값을 나타내는 도면이다.

[0090] 도 7은 시험객체(130)에 가해진 가진 신호(입력 신호)와 각 센서(제1 센서(#1), 제2 센서(#2), 제3 센서(#3), 제4 센서(#4))에서 측정된 진동 신호(출력 신호)를 이용하여 각 센서에 대한 주파수 응답 함수(H(w))를 산출하고, 수학식 5를 이용하여 코히어런스 지표 값을 산출한 결과이다. 도 7을 참조하면, 크랙의 영향을 상대적으로 많이 받는 위치에 있는 제1 센서(#1)와 제2 센서(#2)의 코히어런스 지표 값이 1,100hz 이상 영역에서 매우 민감하게 반응함을 확인할 수 있다.

[0091] 도 8은 시험객체에 대한 시험객체 측정 주파수 신호를 이용하여 산출된 코히어런스 지표 값을 나타내는 도면이다.

[0092] 도 8은 시험객체(130)에 각 센서(제1 센서(#1), 제2 센서(#2), 제3 센서(#3), 제4 센서(#4))에서 측정된 진동 신호(출력 신호)를 통해 산출된 각 센서에 대한 시험객체 측정 주파수 신호($\tilde{R}(\omega)$)와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호(R(w))를 이용하여, 수학식 1을 통해 코히어런스 지표 값을 산출한 결과이다. 도 8을 참조하면, 도 7과 마찬가지로 크랙의 영향을 상대적으로 많이 받는 위치에 있는 제1 센서(#1)와 제2 센서(#2)의 코히어런스 지표 값이 1,100hz 이상 영역에서 매우 민감하게 반응함을 확인할 수 있다.

[0093] 손상 검출부는 도 8과 같이 산출된 코히어런스 지표값과 기 설정된 값을 비교하여 시험객체(130)의 물리적 손상 여부(예를 들어, 미소 크랙의 유무 여부)와 손상 발생 위치를 검출할 수 있다. 예를 들어, 도 8과 같이 제1 센서(#1)와 제2 센서(#2)의 코히어런스 지표 값이 기 설정된 값 이하로 내려가는 경우, 손상 검출부는 제1 센서(#1)가 위치하는 면과 제2 센서(#2)가 위치하는 면에 물리적 손상(예를 들어, 미소 크랙)이 있는 것으로 검출할 수 있다.

[0094] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 객체 손상 방법을 설명하는 흐름도이다.

[0095] 도 9를 참조하면, 가진기(110)가 제어에 의해 시험객체(130)의 일측에 기 설정된 패턴으로 물리적 힘을 가한다(단계 S910). 시험객체(130)는 고정부(120)를 통해 가진기(110)에 고정될 수 있다.

[0096] 센서(140)는 가진 신호가 입력된 시험객체(130)에서 생성된 진동 신호를 수집한다(단계 S920). 일 실시예에서, 센서(140)는 가속 진동(acceleration vibration)을 측정하는 가속도 센서를 포함한다. 일 실시예에서, 센서(140)는 복수의 센서를 포함하고, 복수의 센서는 시험객체(130)의 복수의 부위에 서로 이격되어 배치될 수 있다.

[0097] 손상 검출기(150)의 코히어런스 산출부는 센서(140)에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 시험객체 측정 주파수 신호와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 기초로 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호 사이의 코히어런스 값을 산출한다(단계 S930).

[0098] 일 실시예에서, 코히어런스 산출부는 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관(auto correlation)값, 기준객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값 및 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관(cross correaltion)값을 이용하여 시험객체(130)에 대한 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0099] 일 실시예에서, 코히어런스 산출부는 하기 수학식 1을 통해 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0100] [수학식 1]

$$I(\omega) = \frac{\left| G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)} \right|^2}{G_{R(\omega)R(\omega)} G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}}$$

[0101]

[0102] 여기에서, I(w)는 코히어런스 지표, w는 각주파수(=2πf), $G_{R(\omega)R(\omega)}$는 기준객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{\tilde{R}(\omega)\tilde{R}(\omega)}$는 시험객체 측정 주파수 신호의 자기 상관값, $G_{R(\omega)\tilde{R}(\omega)}$는 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호의 크로스 상관값, R(w)는 기준객체 측정 주파수 신호, $\tilde{R}(\omega)$는 시험객체 측정 주파수 신호를 나타낸다.

[0103] 일 실시예에서, 코히어런스 산출부는 n개의 센서에서 각각 측정된 신호를 기초로 산출된 n개의 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호를 이용하여 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표를 산출할 수 있다.

[0104] 손상 검출기(150)의 손상 검출부는 산출된 코히어런스 값을 기초로 시험객체(130)의 물리적 손상여부를 검출한다(단계 S940). 일 실시예에서, 손상 검출부는 산출된 코히어런스 지표값과 기 설정된 값을 비교하여 시험객체(130)의 물리적 손상여부를 검출할 수 있다.

[0105] 복수의 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표가 산출된 경우, 손상 검출부는 각 센서에서 측정된 신호에 대한 코히어런스 지표값을 각각 기 설정된 값과 비교하여, 시험객체(130)의 물리적 손상여부 및 손상 발생 위치를 검출할 수 있다.

[0106] 도 1 내지 도 9을 통해 설명된 객체 손상 검사 장치 및 검사 방법은 컴퓨터에 의해 실행되는 애플리케이션이나 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수도 있다.

[0107] 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.

[0108] 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.

[0109] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 객체 손상 검사 장치 및 검사 방법으로 구현할 수 있다.

부호의 설명

[0110] 100 : 객체 손상 검사 장치

110 : 가진기

120 : 고정부

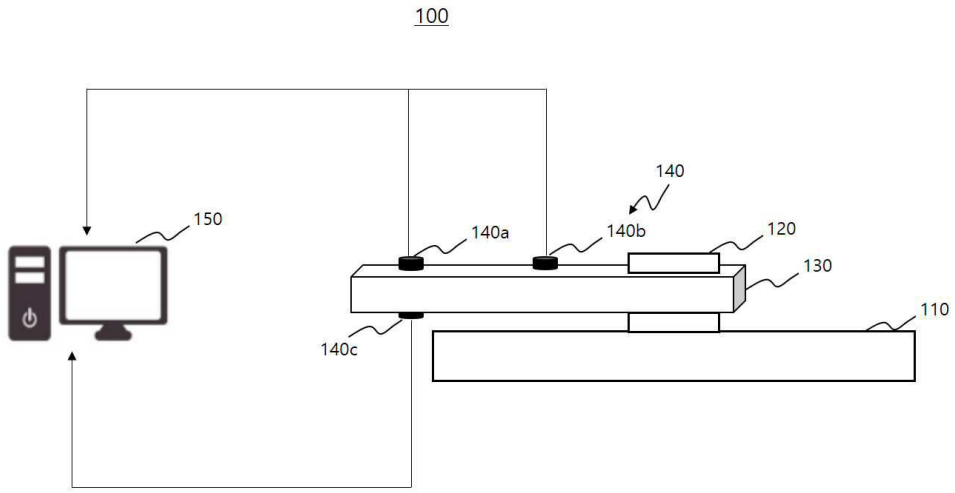
130 : 시험객체

140 : 센서

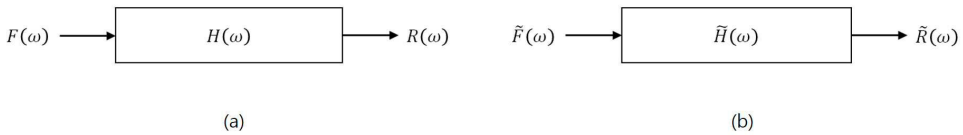
150 : 손상 검출기

도면

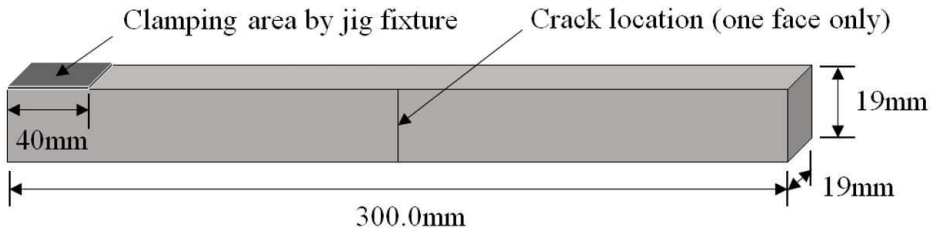
도면1



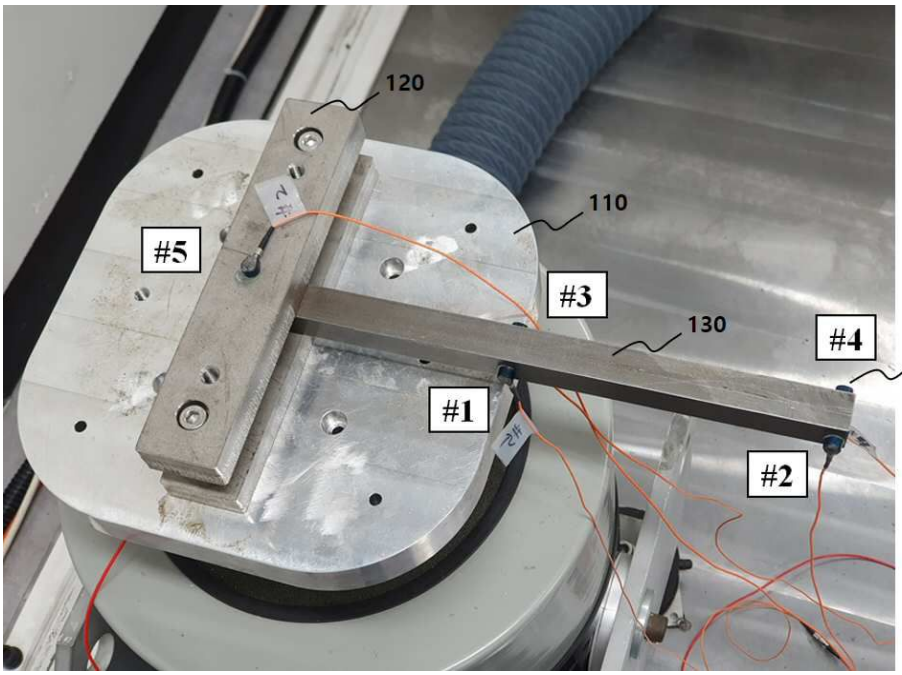
도면2



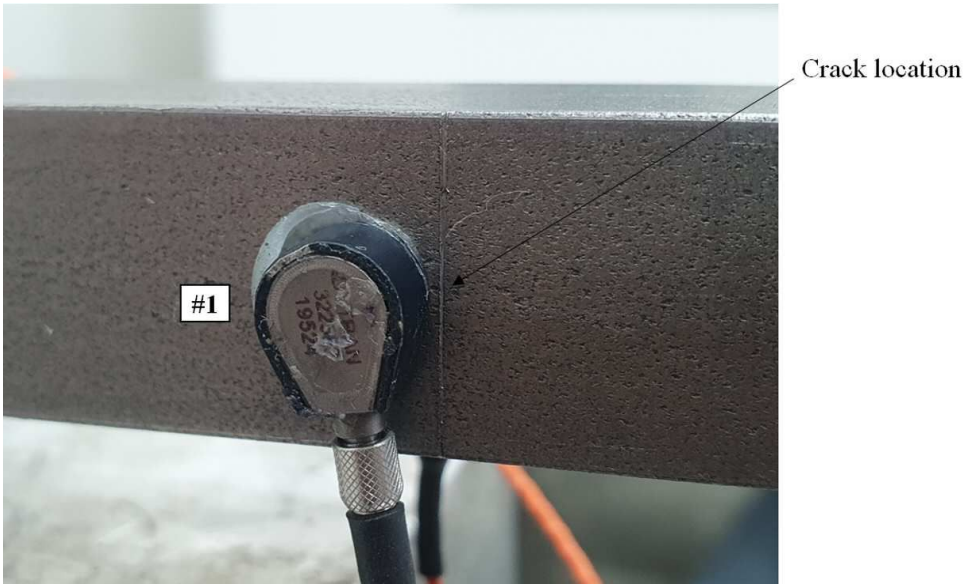
도면3



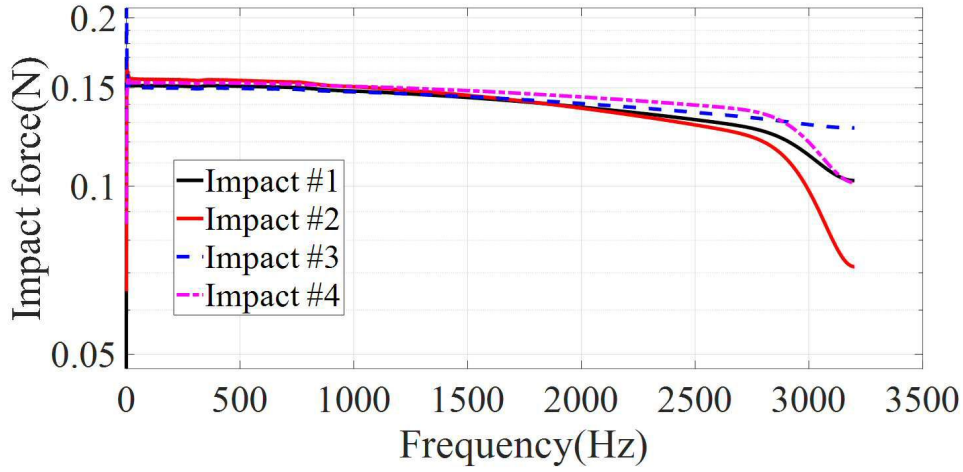
도면4



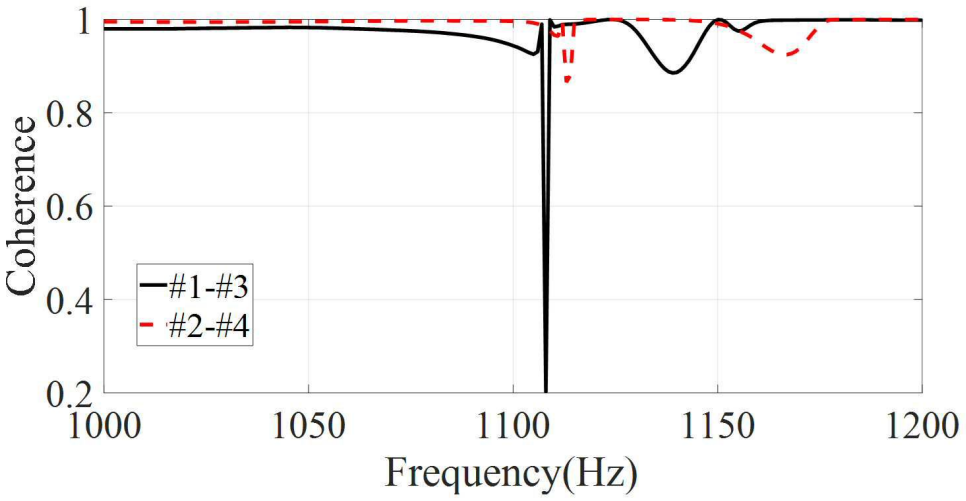
도면5



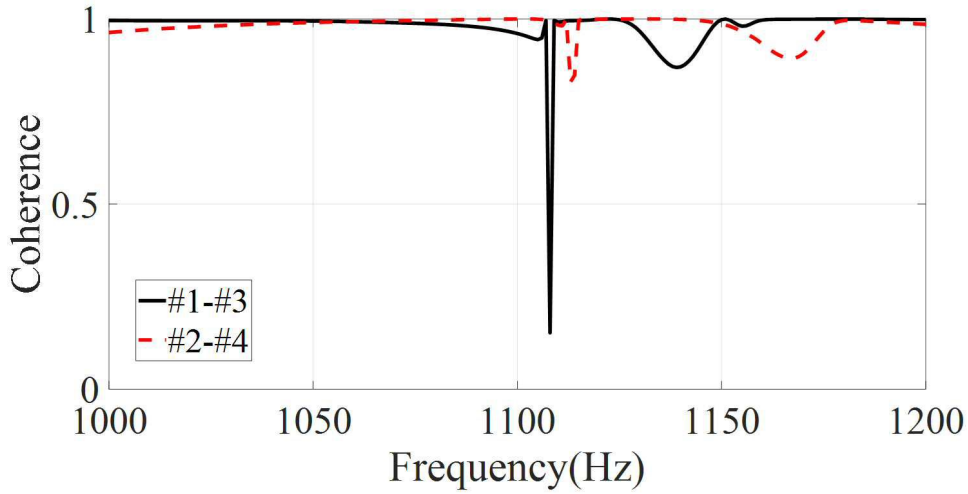
도면6


Impact force(N)
0.2
0.15
0.1
0.05
Impact #1
Impact #2
Impact #3
Impact #4
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
Frequency(Hz)

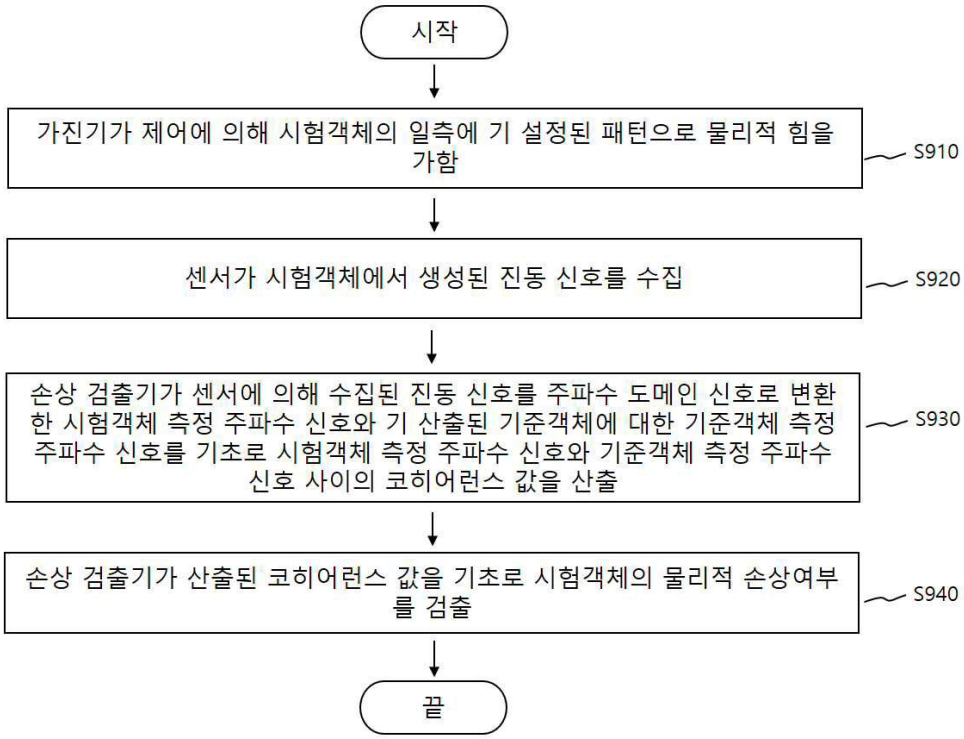
도면7


Coherence
1
0.8
0.6
0.4
0.2
#1-#3
#2-#4
1000
1050
1100
1150
1200
Frequency(Hz)

도면8


Coherence
1
0.5
0
#1-#3
#2-#4
1000
1050
1100
1150
1200
Frequency(Hz)

도면9


시작
가진기가 제어에 의해 시험객체의 일측에 기 설정된 패턴으로 물리적 힘을 가함
S910
센서가 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집
S920
손상 검출기가 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환한 시험객체 측정 주파수 신호와 기 산출된 기준객체에 대한 기준객체 측정 주파수 신호를 기초로 시험객체 측정 주파수 신호와 기준객체 측정 주파수 신호 사이의 코히어런스 값을 산출
S930
손상 검출기가 산출된 코히어런스 값을 기초로 시험객체의 물리적 손상여부를 검출
S940
끝