



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0123897
(43) 공개일자 2019년11월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 29/04 (2006.01) G01B 17/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 29/04 (2013.01)
G01B 17/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0047785
(22) 출원일자 2018년04월25일
심사청구일자 2018년04월25일

(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 16 항

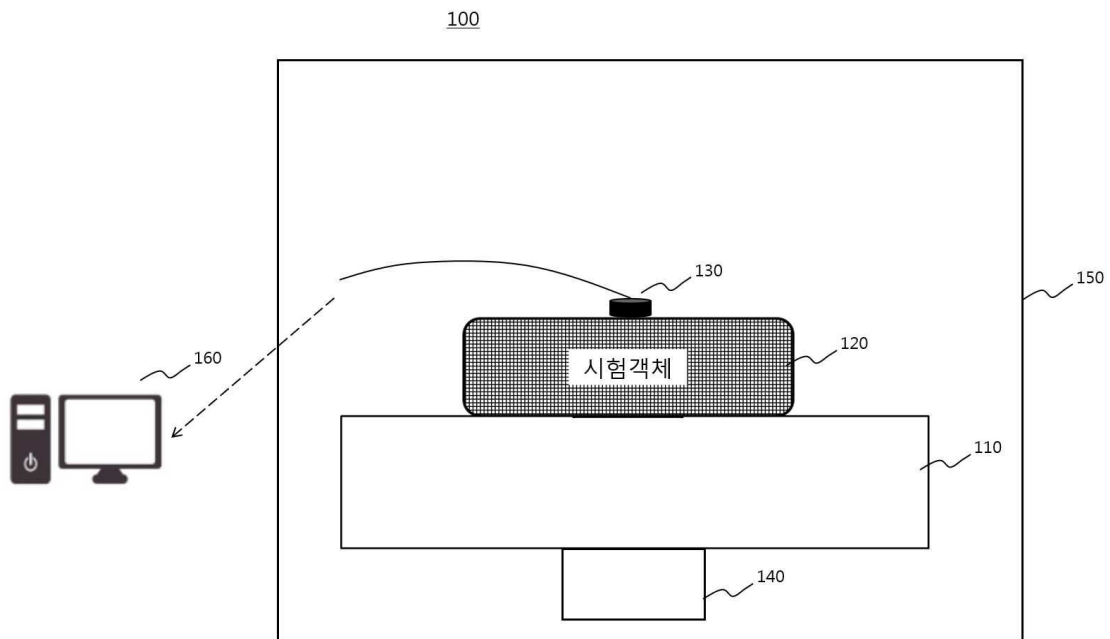
(54) 발명의 명칭 **모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법**

(57) 요약

본 발명은 모달 감쇠 계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠 계수 측정 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 모달 감쇠 계수 측정 장치는 모달 감쇠 계수를 산출하기 위한 시험객체, 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 상기 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기, 상기 시험객체의 타측에 접하며, 상

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



기 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 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 주파수 응답 함수를 기초로 공진점을 추출하여 해당 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 산출부를 포함하되, 상기 가진기는 상기 시험객체에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하고, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 센서에서 수집된 진동 신호를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하고, 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출한다.

(52) CPC특허분류

G01N 2291/015 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

모달 감쇠 계수를 산출하기 위한 시험객체;

제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 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 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 주파수 응답 함수를 기초로 공진점을 추출하여 해당 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 산출부를 포함하되,

상기 가진기는 상기 시험객체에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하고,

상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 센서에서 수집된 진동 신호를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하고, 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 가진기는

적어도 3개 이상의 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하되, 상기 가진 패턴은 랜덤(random) 패턴, 하모닉(harmonic) 패턴 및 임팩트(impact) 패턴을 포함하고 상기 각 패턴은 동일한 주파수 대역을 갖는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 가진기는

전기 진동기(electrodynamic shaker) 또는 임팩트 해머(impact hammer)를 포함하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 가진기는 상기 각 가진 패턴마다 적어도 2회 이상 물리적 힘을 가하며,

상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 각 가진 패턴마다 물리적 힘이 가해진 횟수만큼 주파수 응답 함수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는

상기 산출된 주파수 응답 함수들을 각 가진 패턴별로 평균한 후 주파수 영역에서의 곡선맞춤(curve fitting)을 통해 상기 각 가진 패턴마다 하나의 대표 주파수 응답 함수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는

상기 주파수 응답 함수를 기초로 피크 피킹(peak-picking) 알고리즘을 사용하여 공진점을 추출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는

하기 수학적 식 1과 수학적 식 2를 이용하여 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

[수학적 식 1]

$$\frac{R(\omega)}{F(\omega)} = \sum_{i=1}^N \frac{R_i^e}{-M_i \omega^2 + C_i \omega j + K_i}$$

여기에서, R_i^e 는 i 번째 입력 가진 패턴에서의 주파수 응답 함수 분자 성분, M_i 는 질량 값, C_i 는 모달 감쇠 계수, K_i 는 강성 계수를 나타내며, N 은 입력 가진 패턴 전체의 개수

[수학적 식 2]

$$\frac{\omega_b - \omega_a}{\omega_n} = \eta_i = \frac{C_i}{\omega_n M_i}$$

여기에서, ω_n 은 공진점의 주파수, ω_a 와 ω_b 는 파워가 공진점의 파워($|a|$)의 1/2이 되는 지점($|a|/\sqrt{2}$)의 주파수

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 각 가진 패턴별로 산출된 모달 감쇠 계수를 이용하여, 상기 수학적 식 1으로부터 하기 수학적 식 3을 도출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

[수학적 식 3]

$$\frac{R(\omega, p_j)}{F(\omega, p_j)} = \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{-M_i \omega^2 + C_{i, p_j} \omega j + K_i}$$

여기에서, p_i 는 i 번째 입력 가진 패턴을 나타내며, C_{i, p_i} 는 i 번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 가진기를 통해 복수의 패턴이 섞인 물리적 힘이 가해진 경우,

상기 모달 감쇠 계수 산출부는 하기 수학식 4를 이용하여 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

[수학식 4]

$$C_{ir}p_i = \alpha C_{ir}p_1 + \beta C_{ir}p_2 + \gamma C_{ir}p_3 + \dots + (1 - \alpha - \beta - \gamma - \dots) C_{ir}p_n$$

여기에서, α , β 및 γ 는 선형 보간 계수이며 각각 0에서 1 사이의 값을 가진다. 각 항목의 선형 보간 계수 값을 더하면 1이 된다. C_{i,p_i} 는 i 번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 모달 감쇠 계수 측정 장치는 내부 온도를 조정할 수 있는 챔버를 더 포함하되,

상기 시험객체, 가진기 및 센서는 상기 챔버 내에 구비되는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 챔버는 적어도 하나 이상의 온도로 내부 온도를 다르게 조정하고,

상기 가진기는 상기 각 온도 조건마다 상기 시험객체에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하며,

상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 각 온도 조건 및 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하여 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는

특정 가진 패턴에 대해 온도 조건별 모달 감쇠 계수를 산출하고,

상기 온도 조건별 모달 감쇠 계수를 테일러 시리즈(Taylor's series)로 근사하여 하기 수학식 6을 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

[수학식 6]

$$C_{i,T} = \sum_{i=0}^{\infty} a_i T^i$$

여기에서, C_{i,T_i} 는 i 번째 온도 조건에서 산출된 모달 감쇠 계수 값, a_i 는 테일러 시리즈 상수, T_i 는 i 번째 온도

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는

상기 수학식 6과 하기 수학식 7의 조건을 기초로 온도에 따른 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 장치.

[수학식 7]

$$C_{i,T_{en}} = C_{i,p_i}$$

여기에서, T_{en} 은 상온 온도, C_{i,p_i} 는 i 번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값

청구항 14

가진기가 제어에 의해 시험객체의 일측에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하는 단계;

센서가 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 단계; 및

모달 감쇠 계수 산출부가 상기 가진기에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 주파수 응답 함수를 기초로 공진점을 추출하여 해당 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출하는 단계를 포함하되,

상기 모달 감쇠 계수를 산출하는 단계는 상기 센서에서 수집된 진동 신호를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하고, 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 가진기가 물리적 힘을 가하는 단계는

적어도 3개 이상의 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하되, 상기 가진 패턴은 랜덤 패턴, 하모닉 패턴 및 임팩트 패턴을 포함하고 상기 각 패턴은 동일한 주파수 대역을 갖는 모달 감쇠 계수 측정 방법.

청구항 16

제13항에 있어서, 상기 모달 감쇠 계수 측정 방법은

챔버 내의 온도를 적어도 하나 이상의 온도로 다르게 조정하는 단계를 더 포함하고,

상기 가진기가 물리적 힘을 가하는 단계는

상기 각 온도 조건마다 상기 시험객체에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하며,

상기 모달 감쇠 계수를 산출하는 단계는

상기 각 온도 조건 및 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하여 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 측정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 입력 가진 패턴뿐만 아니라, 온도와 습도까지 고려하여 모달 감쇠계수를 측정함으로써 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있는 모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 감쇠 작용은 외부의 하중 에너지를 재료가 가진 고유 특성을 이용하여 내부에너지로 변화시켜 상쇄시키는 것으

로, 재료의 구조 안전성을 높이고 응답을 줄여 내구성 측면에서 많은 이익을 주는 작용이다. 감쇠 계수(Damping Coefficient)는 시간 영역이나 주파수 영역에서 사용되며, 감쇠 작용을 물리적으로 표현하기 위해 사용된다. 대상 재료 또는 시스템의 기계적 특성을 이해하기 위해 감쇠 계수 값을 정확하게 측정하는 것은 매우 중요하며, 해당 값을 측정하는 다양한 방법이 제시되고 있다. 특히, 주파수 영역에서 측정된 감쇠 계수를 모달 감쇠 계수(Modal Damping Coefficient)라고 하며, 모달 감쇠 계수를 측정하기 위해서는 각각의 공진점(Resonant Point)에서의 주파수 감쇠 값이 필요하다. 해당 주파수 감쇠 값을 얻기 위해 통상 모달 시험이 사용되고 있으나, 해당 물리량이 외부 잡음에 취약하므로 반복 시험을 통해 얻어진 값들의 평균값을 사용하고 있다.

[0003] 모달 감쇠 계수를 측정하기 위한 기존의 모달 시험 방법은 상기와 같이 외부 잡음에 취약하여 근사적인 값을 사용할 수 밖에 없는 단점 이외에도 특정 입력 패턴에 지배를 받는 제한적인 조건에서 측정이 이루어지기 때문에 다양한 외부 입력 패턴에 영향을 받는 실제 상황과 큰 오차를 가질 수 밖에 없는 문제점이 있다. 또한, 기존의 모달 시험 방법은 다른 환경 요인에 의한 영향을 전혀 고려하지 않는 문제점이 있다.

[0004] 정확한 모달 감쇠 계수 값을 측정하는 것은 대상 재료 또는 시스템의 기계적 신뢰성을 확보하기 위한 사전 정보로 매우 중요하다. 예를 들어, 자동차 부품들의 경우 기존의 철강 소재 대비 경량 소재들(예를 들어, 알루미늄, 마그네슘, 엔지니어링 플라스틱, CFRP 등)이 최근 많이 사용되고 있으며, 해당 소재들의 신뢰성 확보를 위해 정확한 모달 감쇠 계수 값을 측정하는 것이 매우 중요하게 되었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 10-2015-0061907 (2015.06.05), 3쪽 내지 4쪽

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 다양한 입력 가진 패턴을 통해 모달 감쇠 계수를 측정함으로써 다양한 외부 입력 패턴에 영향을 받는 실제 상황과의 차이를 줄이고 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있는 모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법을 제공한다.

[0007] 본 발명은 다양한 입력 가진 패턴뿐만 아니라, 시험객체에 영향을 주는 온도까지 고려하여 모달 감쇠계수를 측정함으로써 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있는 모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치는 모달 감쇠계수를 측정하기 위한 시험객체, 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 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 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 주파수 응답 함수를 기초로 공진점을 추출하여 해당 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출하는 모달 감쇠 계수 산출부를 포함하되, 상기 가진기는 상기 시험객체에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하고, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 센서에서 수집된 진동 신호를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하고, 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출한다.

[0009] 일 실시예에서, 상기 가진기는 적어도 3개 이상의 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하되, 상기 가진 패턴은 랜덤(random) 패턴, 하모닉(harmonic) 패턴 및 임팩트(impact) 패턴을 포함하고 상기 각 패턴은 동일한 주파수 대역을 갖는다.

[0010] 일 실시예에서, 상기 가진기는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker)를 포함한다.

[0011] 일 실시예에서, 상기 가진기는 상기 각 가진 패턴마다 적어도 2회 이상 물리적 힘을 가하며, 상기 모달 감쇠 계

수 산출부는 상기 각 가진 패턴마다 물리적 힘이 가해진 횟수만큼 주파수 응답 함수를 산출한다.

[0012] 일 실시예에서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 산출된 주파수 응답 함수들을 각 가진 패턴별로 평균한 후 주파수 영역에서의 곡선맞춤(curve fitting)을 통해 상기 각 가진 패턴마다 하나의 대표 주파수 응답 함수를 산출한다.

[0013] 일 실시예에서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 주파수 응답 함수를 기초로 피크 피킹(peak-picking) 알고리즘을 사용하여 공진점을 추출한다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 하기 수학식 1과 수학식 2를 이용하여 모달 감쇠 계수를 산출한다.

[0015] [수학식 1]

$$\frac{R(\omega)}{F(\omega)} = \sum_{i=1}^N \frac{R_i^e}{-M_i \omega^2 + C_i \omega j + K_i}$$

[0016]

[0017] 여기에서, R_i^e 는 i번째 입력 가진 패턴에서의 주파수 응답 함수 분자 성분, M_i 는 질량 값, C_i 는 모달 감쇠 계수, K_i 는 강성 계수를 나타내며, N은 입력 가진 패턴 전체의 개수

[0018] [수학식 2]

$$\frac{\omega_b - \omega_a}{\omega_n} = \eta_i = \frac{C_i}{\omega_n M_i}$$

[0019]

[0020] 여기에서, ω_n 은 공진점의 주파수, ω_a 와 ω_b 는 파워가 공진점의 파워($|a|$)의 1/2이 되는 지점($|a|/\sqrt{2}$)의 주파수

[0021] 일 실시예에서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 각 가진 패턴별로 산출된 모달 감쇠 계수를 이용하여, 상기 수학식 1으로부터 하기 수학식 3을 도출한다.

[0022] [수학식 3]

$$\frac{R(\omega, p_j)}{F(\omega, p_j)} = \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{-M_i \omega^2 + C_{i,p_j} \omega j + K_i}$$

[0023]

[0024] 여기에서, p_i 는 i번째 입력 가진 패턴을 나타내며, C_{i,p_i} 는 i번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값

[0025] 일 실시예에서, 상기 가진기를 통해 복수의 패턴이 섞인 물리적 힘이 가해진 경우, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 하기 수학식 4를 이용하여 모달 감쇠 계수를 산출한다.

[0026] [수학식 4]

$$C_{i,p_i} = \alpha C_{i,p_1} + \beta C_{i,p_2} + \gamma C_{i,p_3} + \dots + (1 - \alpha - \beta - \gamma - \dots) C_{i,p_n}$$

[0027]

[0028] 여기에서, α , β 및 γ 는 선형 보간 계수이며 각각 0에서 1 사이의 값을 가진다. 각 항목의 선형 보간 계수 값을 더하면 1이 된다. C_{i,p_i} 는 i번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값

[0029] 일 실시예에서, 상기 모달 감쇠 계수 측정 장치는 내부 온도를 조절할 수 있는 챔버를 더 포함하되, 상기 시험 객체, 객체 지지부, 가진기 및 센서는 상기 챔버 내에 구비된다.

[0030] 일 실시예에서, 상기 챔버는 적어도 하나 이상의 온도로 내부 온도를 다르게 조정하고, 상기 가진기는 상기 각 온도 조건마다 상기 시험객체에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하며, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 각 온도 조건 및 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하여 모달 감쇠 계수를 산출한다.

[0031] 일 실시예에서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 특정 가진 패턴에 대해 온도 조건별 모달 감쇠 계수를 산출하고, 상기 온도 조건별 모달 감쇠 계수를 테일러 시리즈(Taylor's series)로 근사하여 하기 수학식 6을 산출한다.

[0032] [수학식 6]

$$C_{i,T} = \sum_{i=0}^{\infty} a_i T^i$$

[0033]

[0034] 여기에서, C_{i,T_i} 는 i 번째 온도 조건에서 산출된 모달 감쇠 계수 값, a_i 는 테일러 시리즈 상수, T_i 는 i 번째 온도

[0035] 일 실시예에서, 상기 모달 감쇠 계수 산출부는 상기 수학식 6과 하기 수학식 7의 조건을 기초로 온도에 따른 모달 감쇠 계수를 산출한다.

[0036] [수학식 7]

$$C_{i,T_{en}} = C_{i,p_j}$$

[0037]

[0038] 여기에서, T_{en} 은 상온 온도, C_{i,p_i} 는 i 번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값

[0039] 본 발명에 따른 모달 감쇠계수 측정 방법은 가진기가 제어에 의해 시험객체의 일측에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하는 단계, 센서가 상기 시험객체에서 생성된 진동 신호를 수집하는 단계 및 모달 감쇠 계수 산출부가 상기 가진기에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 주파수 응답 함수를 산출하고, 상기 주파수 응답 함수를 기초로 공진점을 추출하여 해당 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출하는 단계를 포함하되, 상기 모달 감쇠 계수를 산출하는 단계는 상기 센서에서 수집된 진동 신호를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하고, 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 상기 각 가진 패턴마다 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출한다.

[0040] 일 실시예에서, 상기 가진기가 물리적 힘을 가하는 단계는 적어도 3개 이상의 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하되, 상기 가진 패턴은 랜덤 패턴, 하모닉 패턴 및 임팩트 패턴을 포함하고 상기 각 패턴은 동일한 주파수 대역을 갖는다.

[0041] 일 실시예에서, 상기 모달 감쇠 계수 측정 방법은 챔버 내의 온도를 적어도 하나 이상의 온도로 다르게 조정하는 단계를 더 포함하고, 상기 가진기가 물리적 힘을 가하는 단계는 상기 각 온도 조건마다 상기 시험객체에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하며, 상기 모달 감쇠 계수를 산출하는 단계는 상기 각 온도 조건 및 상기 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하여 모달 감쇠 계수를 산출한다.

발명의 효과

[0042] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법은 다양한 입력 가진 패턴을 통해 모달 감쇠 계수를 측정함으로써 다양한 외부 입력 패턴에 영향을 받는 실제 상황과의 차이를 줄이고 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있다.

[0043] 본 발명에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법은 다양한 입력 가진 패턴뿐만 아니라, 시험객체에 영향을 주는 온도까지 고려하여 모달 감쇠계수를 측정함으로써 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있다.

[0044] 본 발명에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법은 장치의 구조를 간단히하여 물체의 전수 검사 및 자동화에 적합한 측정 장치 및 측정 방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [0045] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치의 구성을 나타내는 구성도
- 도 2는 시험용 샘플의 일 예를 나타내는 도면
- 도 3은 도 2의 시험용 샘플에 대해 측정된 피로 손상도의 일 예를 나타내는 도면
- 도 4는 피크 피킹(peak-picking) 알고리즘을 사용하여 공진점을 추출하고 모달 감쇠 계수를 측정하는 방법의 일 예를 나타내는 도면
- 도 5는 모달 감쇠계수 측정 장치의 구체적인 실험 예를 나타내는 도면
- 도 6 내지 도 12는 각 센서 위치에서 산출된 주파수 응답 함수를 나타내는 도면
- 도 13은 도 6의 주파수 응답 함수에서 공진점을 추출하고 해당 공진점의 모달 감쇠 계수를 산출하는 과정을 나타내는 도면
- 도 14는 입력 가진 패턴에 따라 측정된 모달 감쇠 계수 값을 나타내는 도면
- 도 15는 온도 조건에 따라 측정된 모달 감쇠 계수 값을 나타내는 도면
- 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0046] 이하, 본 발명에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.
- [0047] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치의 구성을 나타내는 구성도이다.
- [0048] 도 1을 참조하면, 모달 감쇠계수 측정 장치(100)는 가진기(110), 시험객체(120), 센서(sensor) (130), 힘 센서(140), 챔버(150) 및 모달 감쇠 계수 산출부(160)를 포함할 수 있다.
- [0049] 모달 감쇠계수 측정 장치(100)는 다양한 입력 가진 패턴뿐만 아니라, 시험객체에 영향을 주는 온도까지 고려하여 시험객체(120)의 모달 감쇠계수를 측정한다. 예를 들어, 모달 감쇠계수 측정 장치(100)는 시험객체(120)에 다양한 입력 가진 패턴을 부가하여 주파수 응답 함수를 산출하고 모달 감쇠계수를 측정할 수 있다. 또한, 모달 감쇠계수 측정 장치(100)는 온도 조건을 달리하여 시험객체(120)에 입력 가진 패턴을 부가한 후 주파수 응답 함수를 산출하고 모달 감쇠계수를 측정할 수 있다.
- [0050] 가진기(110)는 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 시험객체(120)의 일측에 물리적 힘을 가한다. 일 실시예에서, 가진기(110)는 각각 다른 가진 패턴으로 시험객체(120)에 물리적 힘을 가할 수 있다. 가진기(110)는 일 축 방향으로 힘을 가하는 단축 가진기, 2축 방향으로 힘을 가하는 2축 가진기, 3축 방향으로 힘을 가하는 3축 가진기 등을 포함할 수 있다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해 단축 가진기를 가진기(110)로 사용하는 경우를 가정하여 설명하기로 한다. 예를 들어, 가진기(110)는 일 축 방향으로 힘을 가하여 진동 시키는 전기 진동기(electrodynamic shaker) 또는 액추에이터(actuator)를 포함할 수 있다.
- [0051] 다른 실시예에서, 자동으로 시험객체(120)에 임팩트를 인가할 수 있는 고정식 임팩트 장치(예를 들어, 임팩트 해머(impact hammer))를 가진기(110)로 사용할 수도 있다. 임팩트 해머는 시험객체(120)에 물리적 손상을 일으키지 않고, 시험을 위한 사전 가공이 필요하지 않으며, 넓은 주파수에 걸쳐 시험객체(120)에 임팩트를 인가할 수 있다. 임팩트 해머의 경우, 실제 가진이 되는 부분(임팩트 부분)에는 팁(tip)이 구비될 수 있다. 일 실시예에서, 입력 가진 패턴에 요구되는 주파수 대역에 따라 팁은 자동 또는 수동으로 교체될 수 있다. 예를 들어, 고주파 대역의 입력 가진 패턴이 요구되는 경우, 임팩트 해머에는 앞쪽이 날카롭고 강성이 큰 스틸(steel) 제품의 팁이 사용될 수 있다. 저주파 대역의 입력 가진 패턴이 요구되는 경우, 임팩트 해머에는 플라스틱, 고무 등의 강성이 작은 팁이 사용될 수 있다.
- [0052] 시험객체(120)는 입력 가진 패턴을 부가하여 모달 감쇠계수를 측정하기 위한 대상 객체이다. 예를 들어, 시험객체(120)는 자동차 부품에 해당할 수 있다.
- [0053] 일 실시예에서, 시험객체(120)는 자동 이송 장치(미도시)를 통해 가진기(110) 위에 놓여질 수 있다. 시험객체(120)는 해당 객체의 구조적 특징을 기초로 놓여지는 위치가 정해질 수 있다. 예를 들어, 기 수행된 테스트 결과에 따라 모달 감쇠계수 측정에 가장 효율적인 위치에 물리적 힘이 가해지도록 시험객체(120)가 가진기(110)

위에 놓여질 수 있다.

- [0054] 센서(130)는 시험객체(120)의 타측에 접하며, 가진기(110)에 의해 가해진 물리적 힘에 의해 시험객체(120)에서 생성된 신호를 수집한다. 센서(130)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 팻(string pots)이 사용될 수 있다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해, 센서(130)로 가속도 센서가 사용되어 진동 신호를 수집하는 경우를 가정하여 설명하기로 한다. 입력(임팩트) 신호에 따른 응답(진동) 신호는 3축 가속도이므로, 가속도 센서는 3축의 응답을 모두 측정할 수 있도록 구성된다.
- [0055] 일 실시예에서, 시험객체(120)에서 생성된 신호를 수집하기 위해 적어도 하나 이상의 센서(130)가 사용될 수 있다. 예를 들어, 3개의 센서를 이용하여 시험객체(120)의 진동 신호를 수집할 수도 있다.
- [0056] 일 실시예에서, 시험객체(120)와 센서(130) 사이에 유격이 있는 경우 원하지 않는 진동이 유발될 수 있으므로 측정 장치에는 센서(130)와 시험객체(120)를 밀착시키는 밀착부가 더 포함될 수 있다. 예를 들어, 원하지 않는 진동을 방지하기 위해 강성이 약한 고무 등의 밀착부가 시험객체(120)와 센서(130) 사이에 구비될 수 있다.
- [0057] 힘 센서(140)는 가진기(110) 아래에 구비되어, 가진기(110)가 가하는 힘을 측정한다. 힘 센서(140)에서 측정된 신호는 시험객체(120)의 주파수 응답 함수(frequency response function)를 구하는 데 있어서 입력 신호($F(w)$)로 사용될 수 있다.
- [0058] 챔버(chamber)(150)는 적어도 하나 이상의 온도로 내부 온도를 다르게 조정한다. 가진기(110), 시험객체(120), 센서(130) 및 힘 센서(140)는 챔버(150) 내에 구비되어, 설정된 온도 조건에 따라 동작을 수행할 수 있다. 예를 들어, 가진기(110)는 설정된 온도 조건에 따라 챔버(150) 내에서 입력 가진 패턴을 시험객체(120)에 부가할 수 있다.
- [0059] 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 가진기(110)에 의해 가해진 물리적 힘(입력 가진 패턴) 신호와 센서(130)에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인(frequency domain) 신호로 변환하여 주파수 응답 함수(frequency response function, $H(w) = R(w)/F(w)$, 여기에서 $R(w)$ 는 응답 신호, $F(w)$ 입력 신호, $w(=2\pi f)$ 는 주파수))를 산출한다. 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 공진점을 추출하여 해당 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.
- [0060] 일 실시예에서, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 센서(130)에서 수집된 진동 신호를 기초로 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하고, 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 각 가진 패턴마다 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.
- [0061] 예를 들어, 가진기(110)에 입력 가진 패턴이 설정되고, 챔버(150)에 온도 조건이 설정된 경우, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 해당 온도 조건 및 해당 가진 패턴에 대한 주파수 응답 함수를 산출하여 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다. 상기와 같은 방식으로 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 각 온도 조건 및 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하여 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.
- [0062] 이하에서는 도 1의 모달 감쇠 계수 측정 장치(100)를 이용하여 시험객체(120)의 모달 감쇠 계수를 측정하는 과정에 대해 자세히 설명하기로 한다.
- [0063] 모달 감쇠 계수 값에 의해 영향을 받는 가장 대표적인 현상은 공진점 부근에서 급격하게 증가하는 응답의 크기이며, 해당 크기의 차이에 의해 응력 집중 부위에서의 피로 손상도 값이 달라진다.
- [0064] 도 2는 시험용 샘플의 일 예를 나타내는 도면이고, 도 3은 도 2의 시험용 샘플에 대해 측정된 피로 손상도의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0065] 도 2를 참조하면, 도 2의 (a)는 시험객체의 형상을 도식화한 도식도이고, 도 2의 (b)는 실제 시험객체에 가속도 센서(#1, #2, #3, #4)를 부착한 위치와 부착 방식을 예시적으로 나타낸 도면이다. 일 실시예에서, 도 2의 시험객체는 모달 감쇠 계수 값이 비교적 작은 연강(mild steel)인 S45C로 제작된 부품이다.
- [0066] 도 3을 참조하면, 도 3의 (a)는 도 2의 시험객체에 가진 패턴이 부가되었을 때 산출된 피로 손상도로써 280hz 구간에서의 피로 손상도를 나타내는 도면이다. 도 3의 (b)는 도 2의 시험객체에 가진 패턴이 부가되었을 때 산출된 피로 손상도로써 1625hz 구간에서의 피로 손상도를 나타내는 도면이다. 피로 손상도는 시험객체에 대해 산출된 주파수 응답 함수의 크기(magnitude) 값을 기초로 정규화된(normalized) 로그(log) 값으로 산출될 수

있다.

- [0067] 도 3을 참조하면, 도 2의 시험객체에 가해진 가진 패턴의 종류 즉, 랜덤(random) 가진 패턴(실선)과 하모닉(harmonic) 가진 패턴(점선)에 따라 피로 손상도가 명확하게 다르게 나옴을 확인할 수 있다. 즉, 공진점은 동일함에도 피로 손상도가 다르게 나오는 것은 입력 가진 패턴에 따라 모달 감쇠 계수가 다르게 나오기 때문이며, 해당 모달 감쇠 계수가 피로 손상도에 차이를 주기 때문이다.
- [0068] 본 발명에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치는 다양한 입력 가진 패턴을 통해 모달 감쇠 계수를 측정함으로써 다양한 외부 입력 패턴에 영향을 받는 실제 상황과의 차이를 줄이고 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있다.
- [0069] 다시 도 1을 참조하면, 가진기(110)는 시험객체(120)에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가한다. 예를 들어, 가진기(110)는 제어에 따라 적어도 3개 이상의 가진 패턴으로 시험객체(120)에 물리적 힘을 가할 수 있다. 일 실시예에서, 가진 패턴은 랜덤(random) 패턴, 하모닉(harmonic) 패턴 및 임팩트(impact) 패턴을 포함하고 각 패턴은 동일한 주파수 대역을 가질 수 있다. 랜덤 패턴은 임의의 복수 주파수 신호를 포함하는 가진 패턴을 나타내며, 하모닉 패턴은 기본 주파수(fundamental frequency)의 정현파 신호를 포함하는 가진 패턴을 나타낸다. 임팩트 패턴은 임팩트 신호를 포함하는 가진 패턴을 나타낸다. 일 실시예에서, 가진기(110)는 가진 패턴을 기 설정된 순서에 따라 순차적으로 가할 수 있다.
- [0070] 센서(130)는 시험객체(120)에서 생성된 신호를 수집하고, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 센서에서 수집된 진동 신호를 기초로 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출한다. 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 각 가진 패턴마다 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.
- [0071] 일 실시예에서, 가진기(110)는 각 가진 패턴마다 적어도 2회 이상 시험객체(120)에 물리적 힘을 가할 수 있다. 예를 들어, 각 가진 패턴(예를 들어, 랜덤 패턴, 하모닉 패턴 및 임팩트 패턴)마다 3회 가하는 것으로 설정된 경우, 가진기(110)는 랜덤 패턴으로 3회 가진하고, 하모닉 패턴으로 3회 가진하고, 임팩트 패턴으로 3회 가진할 수 있다.
- [0072] 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 각 가진 패턴마다 물리적 힘이 가해진 횟수만큼 주파수 응답 함수를 산출한다. 예를 들어, 각 가진 패턴마다 3회 가하는 것으로 설정된 경우, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 랜덤 패턴, 하모닉 패턴 및 임팩트 패턴마다 3개의 주파수 응답 함수를 산출할 수 있다.
- [0073] 각 가진 패턴마다 물리적 힘이 가해진 횟수만큼 주파수 응답 함수가 산출된 경우, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 산출된 주파수 응답 함수들을 각 가진 패턴별로 평균한 후 주파수 영역에서의 곡선맞춤(curve fitting)을 통해 각 가진 패턴마다 하나의 대표 주파수 응답 함수를 산출한다. 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 다양한 곡선맞춤 알고리즘 가운데 하나를 이용하여 대표 주파수 응답 함수를 산출할 수 있다. 예를 들어, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 대수 피팅(Algebraic fitting) 알고리즘이나, 기하 피팅(Geometric fitting) 알고리즘 가운데 하나를 이용하여 대표 응답 함수를 산출할 수 있다.
- [0074] 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 각 가진 패턴마다 산출된 대표 주파수 응답 함수를 기초로 피크 피킹(peak-picking) 알고리즘을 사용하여 공진점을 추출한다. 예를 들어, 공진점을 추출하는 데에는 스텝 피크 피킹 알고리즘이나 R-피크 피킹 알고리즘 등과 같이 이미 공지된 다양한 피크 피킹 알고리즘 가운데 하나가 선택되어 사용될 수 있다.
- [0075] 도 4는 피크 피킹 알고리즘을 사용하여 공진점을 추출하고 모달 감쇠 계수를 측정하는 방법의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0076] 도 4를 참조하면, 도 4의 좌측 도면은 특정 가진 패턴에 대해 산출된 대표 주파수 응답 함수를 나타내는 도면이며, 도 4의 우측 도면은 피크 피킹 알고리즘을 통해 하나의 공진점이 추출된 것을 나타내는 도면이다.
- [0077] 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 각 가진 패턴에 대해 대표 주파수 응답 함수와 도 4에서와 같이 추출된 공진점을 통해 모달 감쇠 계수를 측정할 수 있다. 예를 들어, 도 4의 대표 주파수 응답 함수는 하기 수학식 1과 같이 나타낼 수 있으며, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 하기 수학식 2를 이용하여 모달 감쇠 계수를 측정할 수 있다.

[0078] [수학식 1]

$$\frac{R(\omega)}{F(\omega)} = \sum_{i=1}^N \frac{R_i^e}{-M_i \omega^2 + C_i \omega j + K_i}$$

[0079]

[0080] 여기에서, R_i^e 는 i 번째 입력 가진 패턴에서의 주파수 응답 함수 분자 성분, M_i 는 질량 값, C_i 는 모달 감쇠 계수, K_i 는 강성 계수를 나타내며, N 은 입력 가진 패턴 전체의 개수를 나타낸다.

[0081] [수학식 2]

$$\frac{\omega_b - \omega_a}{\omega_n} = \eta_i = \frac{C_i}{\omega_n M_i}$$

[0082]

[0083] 여기에서, ω_n 은 공진점의 주파수, ω_a 와 ω_b 는 파워가 공진점의 파워($|a|$)의 1/2이 되는 지점($|a|/\sqrt{2}$)의 주파수를 나타낸다.

[0084] 상기와 같은 방법으로, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 각 가진 패턴마다 모달 감쇠 계수를 측정할 수 있다.

[0085] 도 5는 모달 감쇠계수 측정 장치의 구체적인 실험 예를 나타내는 도면이다.

[0086] 도 5는 실험 목적으로 7개의 센서를 이용하여 실험객체의 신호를 수집하여 분석하도록 구성되어 있다. 도 5를 참조하면, 7개의 센서(#1 ~ #7)가 실험객체 상에 부착되어 있는 것을 확인할 수 있다.

[0087] 이하의 내용은, 하기 표 1의 조건으로 2가지 가진 패턴(랜덤 패턴 및 하모닉 패턴)을 실험객체에 가하여 실험한 경우의 예이다.

표 1

[0088]

가진 패턴	랜덤	하모닉
가진 크기	0.005(g^2/Hz)	0.5(g)
가진 주파수	10Hz ~ 500Hz	10Hz ~ 500Hz

[0089] 표 1에서와 같이 서로 다른 가진 패턴을 사용하였으며 가진 패턴의 가진 주파수 대역은 동일하고 가진 크기는 차이가 난다. 주파수 응답 함수를 얻어내는 과정이기 때문에 가진 크기는 실험 결과에 큰 영향을 주지는 않는다.

[0090] 도 6 내지 도 12는 각 센서 위치에서 산출된 주파수 응답 함수를 나타내는 도면이다.

[0091] 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 각 센서(#1 ~ #7)에서 수집된 진동 신호를 기초로 주파수 응답 함수를 산출한다. 주파수 응답 함수를 산출하는 과정은 가진 패턴에 따라 다르다. 랜덤 패턴의 경우, 주파수 응답 함수를 산출하는 과정에서 유사한 주파수 응답 함수가 여러 개 계산되므로 해당 주파수 응답 함수들의 평균값을 최종 주파수 응답 함수로 도출하였다. 하모닉 패턴의 경우, 시간이 지남에 따라 하나의 가진 주파수에 대한 주파수 응답 함수가 연속적으로 계속이 되므로, 시간에 따라 얻어진 각 가진 주파수에서의 주파수 응답 함수를 중첩하여 최종 주파수 응답 함수로 도출하였다.

[0092] 도 6은 센서 #1(위치 1)에서 수집된 신호를 기초로 산출된 주파수 응답 함수를 나타내며, 도 7은 센서 #2(위치 2)에서 수집된 신호를 기초로 산출된 주파수 응답 함수를 나타내며, 도 8은 센서 #3(위치 3)에서 수집된 신호를 기초로 산출된 주파수 응답 함수를 나타내며, 도 9는 센서 #4(위치 4)에서 수집된 신호를 기초로 산출된 주파수 응답 함수를 나타내며, 도 10은 센서 #5(위치 5)에서 수집된 신호를 기초로 산출된 주파수 응답 함수를 나타내며, 도 11은 센서 #6(위치 6)에서 수집된 신호를 기초로 산출된 주파수 응답 함수를 나타내며, 도 12는 센서 #7(위치 7)에서 수집된 신호를 기초로 산출된 주파수 응답 함수를 나타낸다.

[0093] 도 13은 도 6의 주파수 응답 함수에서 공진점을 추출하고 해당 공진점의 모달 감쇠 계수를 산출하는 과정을 나타내는 도면이다.

[0094] 도 13은 210Hz 부근에서 공진점이 추출된 것을 나타내며, 하기 표 2는 해당 실험을 통해 공진점에서 산출된 모달 감쇠 계수를 정리한 표이다.

표 2

가진 패턴	공진점	모달 감쇠 계수
랜덤 패턴	218.6Hz	$0.5 \times (227.9 - 210.4) / 218.6 = 4.0\%$
하모닉 패턴	218.6Hz	$0.5 \times (229.9 - 210.5) / 218.6 = 4.4\%$

[0096] 상기와 같은 방식으로 센서 #2에서 센서 #7에 대한 주파수 응답 함수에 대해서도 공진점 및 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.

[0097] 도 14는 입력 가진 패턴에 따라 측정된 모달 감쇠 계수 값을 나타내는 도면이다.

[0098] 도 14를 참조하면, 입력 가진 패턴에 따라 서로 다른 모달 감쇠 계수 값이 산출된 것을 확인할 수 있다. 도 5에서 p_i 는 i 번째 입력 가진 패턴을 나타내며, C_{i,p_i} 는 i 번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값을 나타낸다. 예를 들어, p_1 은 랜덤 패턴, p_2 는 하모닉 패턴, p_3 는 임팩트 패턴을 나타내며, C_{i,p_1} 는 랜덤 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값, C_{i,p_2} 는 하모닉 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값, C_{i,p_3} 는 임팩트 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값을 나타낸다.

[0099] 복수의 입력 가진 패턴 각각에 따라 모달 감쇠 계수 값이 달라지는 것을 고려하면, 상기 수학식 1은 하기 수학식 3과 같이 수정될 수 있다. 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 각 가진 패턴별로 산출된 모달 감쇠 계수를 이용하여, 수학식 1으로부터 하기 수학식 3을 도출할 수 있다.

[0100] [수학식 3]

$$\frac{R(\omega, p_j)}{F(\omega, p_j)} = \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{-M_i \omega^2 + C_{i,p_j} \omega j + K_i}$$

[0101]

[0102] 여기에서, p_i 는 i 번째 입력 가진 패턴을 나타내며, C_{i,p_i} 는 i 번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값을 나타낸다.

[0103] 도 14는 복수의 패턴이 섞이지 않고 한번에 하나의 가진 패턴이 각각 시험객체(120)에 가해진 경우 산출된 모달 감쇠 계수 값을 나타내는 도면이다. 그러나, 가진기(110)를 통해 복수의 가진 패턴이 섞인 물리적 힘이 시험객체(120)에 가해지는 경우에는, 도 14와 일치하지 않는 모달 감쇠 계수 값이 산출될 수 있다. 가진기(110)를 통해 복수의 패턴이 섞인 물리적 힘이 시험객체(120)에 가해진 경우, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 하기 수학식 4를 이용하여 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.

[0104] [수학식 4]

$$C_{i,p_i} = \alpha C_{i,p_1} + \beta C_{i,p_2} + \gamma C_{i,p_3} + \dots + (1 - \alpha - \beta - \gamma - \dots) C_{i,p_n}$$

[0105]

[0106] 여기에서, α , β 및 γ 는 선형 보간 계수이며 각각 0에서 1 사이의 값을 가진다. 각 항목의 선형 보간 계수 값을 더하면 1이 된다. C_{i,p_i} 는 i 번째 입력 가진 패턴에 대한 모달 감쇠 계수 값을 나타낸다.

[0107] 예를 들어, 가진기(110)를 통해 랜덤 패턴과 하모닉 패턴이 섞인(sine-on-random) 물리적 힘이 시험객체(120)에 가해진 경우, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 하기 수학식 5를 이용하여 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.

[0108] [수학식 5]

$$C_{i,p_i} = \alpha C_{i,p_1} + (1 - \alpha) C_{i,p_2}$$

[0109]

[0110] 상기와 같은 방식으로, 다양한 입력 가진 패턴을 통해 모달 감쇠 계수를 측정함으로써 모달 감쇠계수 측정 장치(100)는 다양한 외부 입력 패턴에 영향을 받는 실제 상황과의 차이를 줄이고 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있다.

[0111] 실제 상황에서의 경우, 온도도 시험객체의 물리적 변화에 큰 영향을 주는 인자이므로 온도의 변화에 따라 모달 감쇠 계수 값을 산출하여 이를 반영할 필요가 있다.

[0112] 다시 도 1을 참조하면, 챔버(150)는 제어에 따라 적어도 하나 이상의 온도로 내부 온도를 다르게 조정할 수 있다. 가진기(110)는 설정된 각 온도 조건마다 시험객체(120)에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가한다. 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 챔버(150)에 설정된 각 온도 조건 및 가진기(110)에 의해 가해진 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하여 모달 감쇠 계수를 산출한다. 모달 감쇠 계수를 산출하는 과정은 상기에서 설명한 바와 같으며, 단지 온도 조건이 달라질 뿐이다.

[0113] 도 15는 온도 조건에 따라 측정된 모달 감쇠 계수 값을 나타내는 도면이다.

[0114] 도 15를 참조하면, 온도 조건에 따라 서로 다른 모달 감쇠 계수 값이 산출된 것을 확인할 수 있다. 도 15에서 T_i 는 i 번째 온도를 나타내며, C_{i,T_i} 는 i 번째 온도 조건에서 특정 입력 가진 패턴이 가해진 경우 산출된 모달 감쇠 계수 값을 나타낸다. 도 15를 통해 온도 조건에 따라 모달 감쇠 계수 값은 변화하는 것을 확인할 수 있다.

[0115] 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 도 15와 같이 입력 가진 패턴마다 온도 조건별 모달 감쇠 계수를 산출하고, 온도 조건별 모달 감쇠 계수를 테일러 시리즈(Taylor's series)로 근사하여 하기 수학식 6을 산출한다.

[0116] [수학식 6]

$$C_{i,T} = \sum_{i=0}^{\infty} a_i T^i$$

[0117]

[0118] 여기에서, C_{i,T_i} 는 i 번째 온도 조건에서 산출된 모달 감쇠 계수 값, a_i 는 테일러 시리즈 상수, T_i 는 i 번째 온도를 나타낸다. 즉, 수학식 6에 의하면, 모달 감쇠 계수 값은 온도의 함수이다. 또한, 상기 수학식 3 내지 수학식 5을 통해 산출되는 모달 감쇠 계수 값을 상온(T_{en})에서 산출되는 것으로 가정하면, 상기 수학식 6에 대해 하기 수학식 7의 관계가 만족된다.

[0119] [수학식 7]

$$C_{i,T_{en}} = C_{i,p_j}$$

[0120]

[0121] 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 수학식 6과 수학식 7의 조건을 기초로 온도에 따른 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다. 즉, 수학식 7의 조건을 고려하여 수학식 6의 온도에 따른 모달 감쇠 계수 곡선이 산출되면, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 입력 가진 패턴에 따라 모달 감쇠 계수를 산출하는 수학식 3 내지 수학식 5과 온도 조건에 따라 모달 감쇠 계수를 산출하는 수학식 6을 이용하여 시험객체(120)의 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다. 예를 들어, 상온에서 1번째 입력 가진 패턴이 가해진 경우 시험객체(120)의 모달 감쇠 계수는 $C_{i,p_1}(=C_{i,T_{en}})$ 로 산출될 수 있으며, 상온이 아닌 T_1 온도에서 1번째 입력 가진 패턴이 가해진 경우 시험객체(120)의 모달 감쇠 계수는 C_{i,p_1} 이 아닌 수학식 6을 통해 산출된 C_{i,T_1} 이 될 수 있다.

[0122] 상기와 같은 방식으로, 입력 가진 패턴뿐만 아니라 온도 조건에 따라 모달 감쇠 계수를 측정함으로써 모달 감쇠 계수 측정 장치(100)는 입력 가진 패턴뿐만 아니라 온도의 영향을 받는 실제 상황과의 차이를 줄이고 시험객체

의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있다.

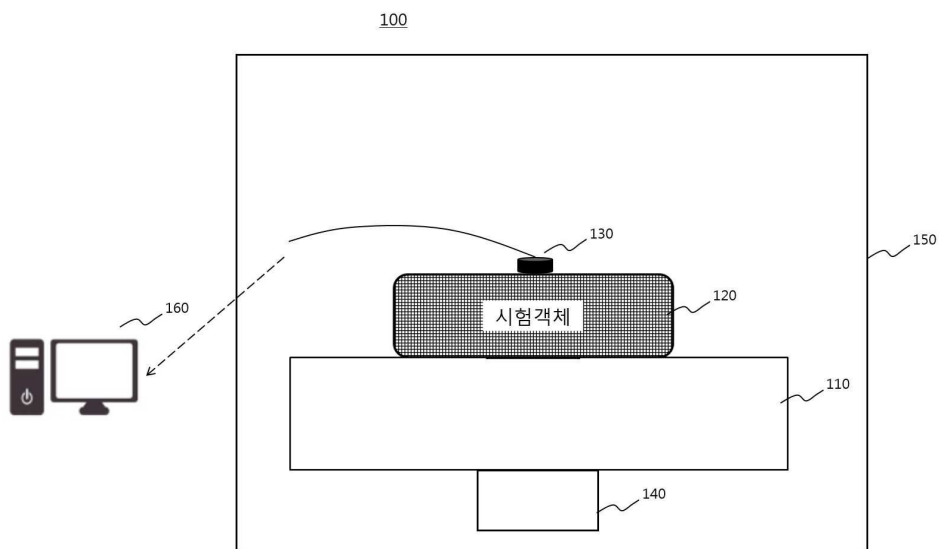
- [0123] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 모달 감쇠계수 측정 장치를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법을 설명하는 흐름도이다.
- [0124] 도 16을 참조하면, 가진기(110)가 제어에 의해 시험객체(120)의 일측에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가한다(단계 S1610). 일 실시예에서, 가진기(110)가 물리적 힘을 가하는 단계는 적어도 3개 이상의 가진 패턴으로 물리적 힘을 가하되, 가진 패턴은 랜덤(random) 패턴, 하모닉(harmonic) 패턴 및 임팩트(impact) 패턴을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 각 패턴은 동일한 주파수 대역을 가질 수 있다.
- [0125] 센서(130)는 시험객체(120)에서 생성된 진동 신호를 수집한다(단계 S1620). 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 가진기(110)에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 센서(130)에 의해 수집된 진동 신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 주파수 응답 함수를 산출하고, 주파수 응답 함수를 기초로 공진점을 추출하여 해당 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출한다(단계 S1630).
- [0126] 일 실시예에서, 모달 감쇠 계수 산출부(160)가 모달 감쇠 계수를 산출하는 단계는 센서(130)에서 수집된 진동 신호를 기초로 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하고, 산출된 주파수 응답 함수를 기초로 각 가진 패턴마다 공진점에 대한 모달 감쇠 계수를 산출하는 단계를 포함한다. 다양한 입력 가진 패턴을 통해 모달 감쇠 계수를 측정함으로써 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 다양한 외부 입력 패턴에 영향을 받는 실제 상황과의 차이를 줄이고 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있다.
- [0127] 모달 감쇠 계수 산출부(160)가 모달 감쇠 계수를 산출하는 과정은 상기에서 설명한 바와 같다. 예를 들어, 모달 감쇠 계수 산출부(160)가 모달 감쇠 계수를 산출하는 과정은 수학적 1 내지 수학적 3에서 설명한 바와 같다.
- [0128] 가진기(110)를 통해 복수의 패턴이 섞인 물리적 힘이 시험객체(120)에 가해진 경우, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 수학적 4 내지 수학적 5를 통해 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.
- [0129] 일 실시예에서, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 온도의 변화에 따라 모달 감쇠 계수 값을 산출할 수 있다.
- [0130] 모달 감쇠계수 측정 장치(100)는 제어에 따라 챔버(150) 내의 온도를 적어도 하나 이상의 온도로 다르게 조정하고, 가진기(110)는 각 온도 조건마다 시험객체(120)에 각각 다른 가진 패턴으로 물리적 힘을 가한다. 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 각 온도 조건 및 각 가진 패턴마다 주파수 응답 함수를 산출하여 모달 감쇠 계수를 산출한다. 일 실시예에서, 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 가진 패턴에 대해 온도 조건별 모달 감쇠 계수를 산출하고, 산출된 온도 조건별 모달 감쇠 계수를 테일러 시리즈(Taylor's series)로 근사하여 수학적 6을 산출할 수 있다. 모달 감쇠 계수 산출부(160)는 수학적 6과 수학적 7의 조건을 기초로 온도에 따른 모달 감쇠 계수를 산출할 수 있다.
- [0131] 도 1 내지 도 16을 통해 설명된 모달 감쇠 계수 측정 장치 및 측정 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 애플리케이션이나 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수도 있다.
- [0132] 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.
- [0133] 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.
- [0134] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 모달 감쇠 계수 측정 장치 및 측정 방법으로 구현할 수 있다.

부호의 설명

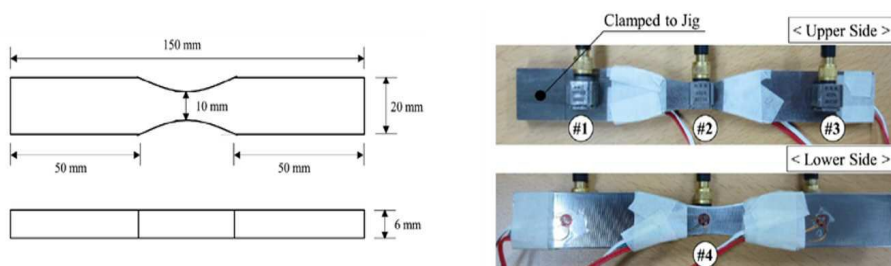
- [0135]
- 100 : 모달 감쇠 계수 측정 장치
 - 110 : 가진기
 - 120 : 시험객체
 - 130 : 센서
 - 140 : 힘 센서
 - 150 : 챔버
 - 160 : 컴퓨터
 - 170 : 데이터베이스

도면

도면1



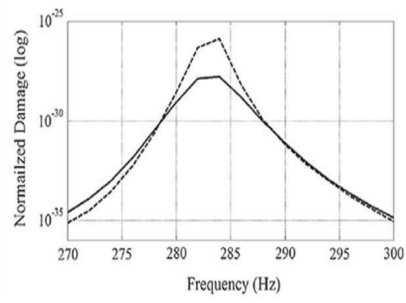
도면2



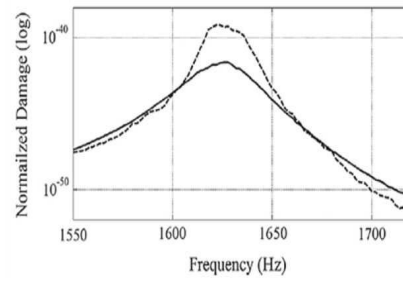
(a)

(b)

도면3

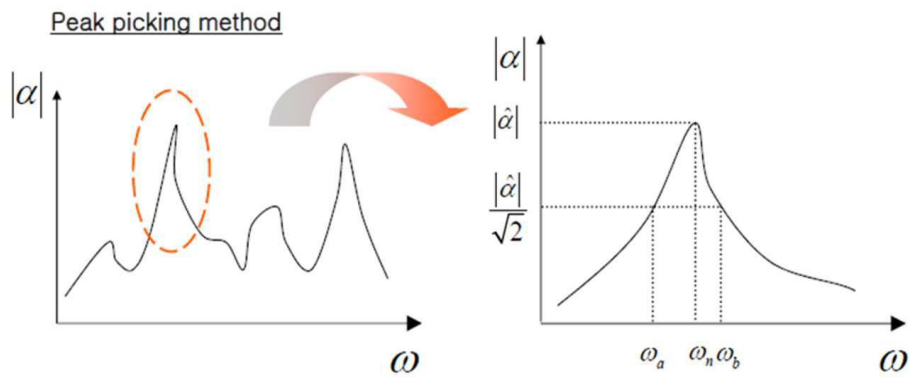


(a)

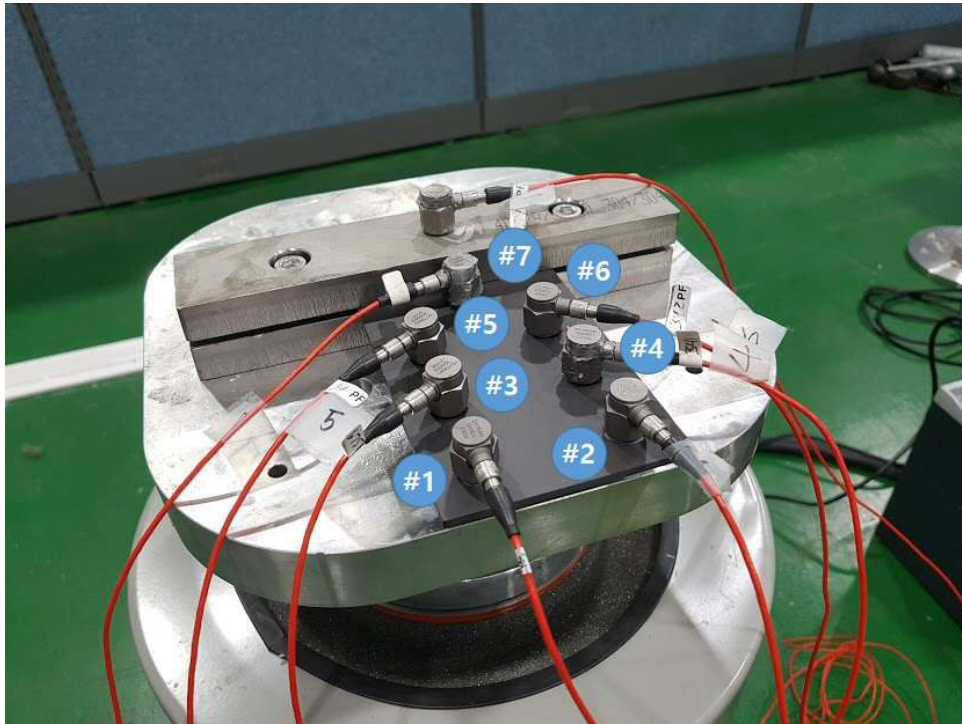


(b)

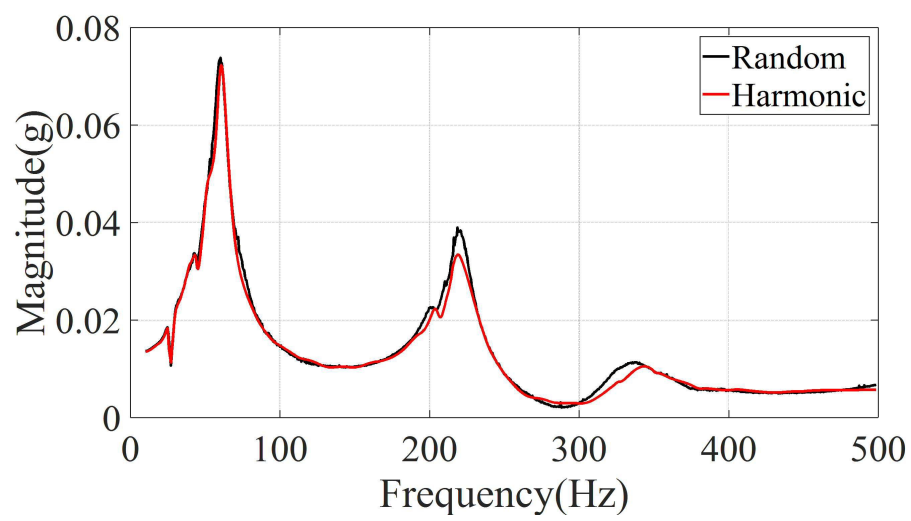
도면4



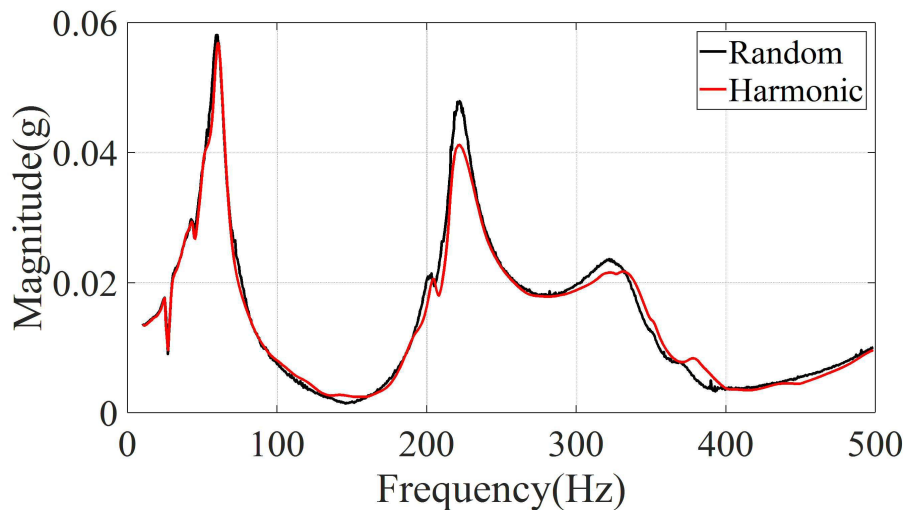
도면5



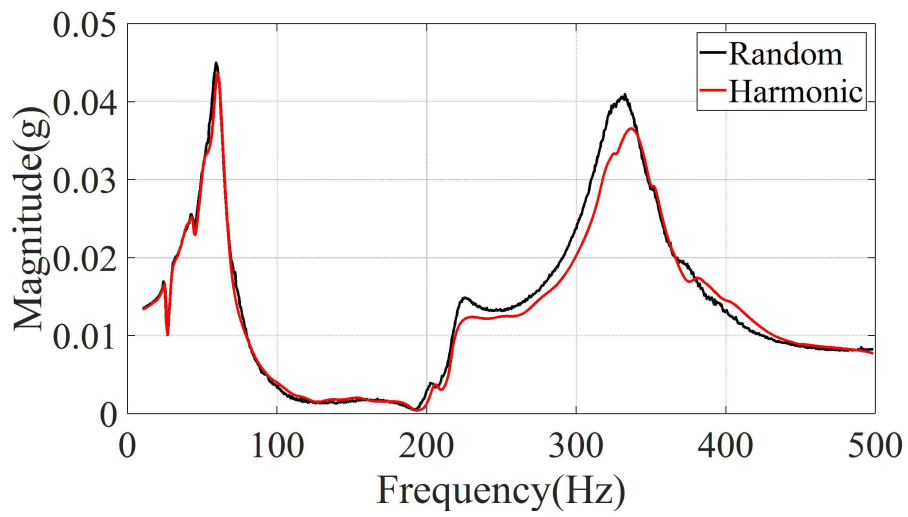
도면6



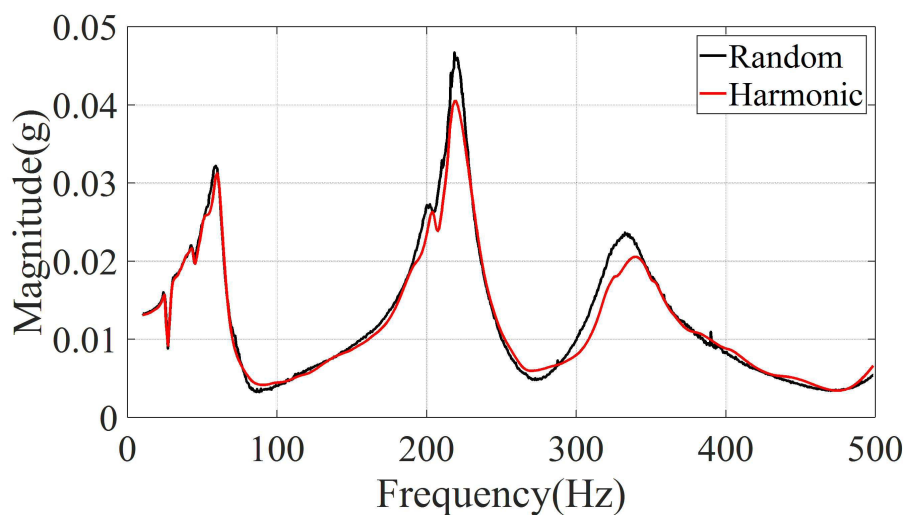
도면7



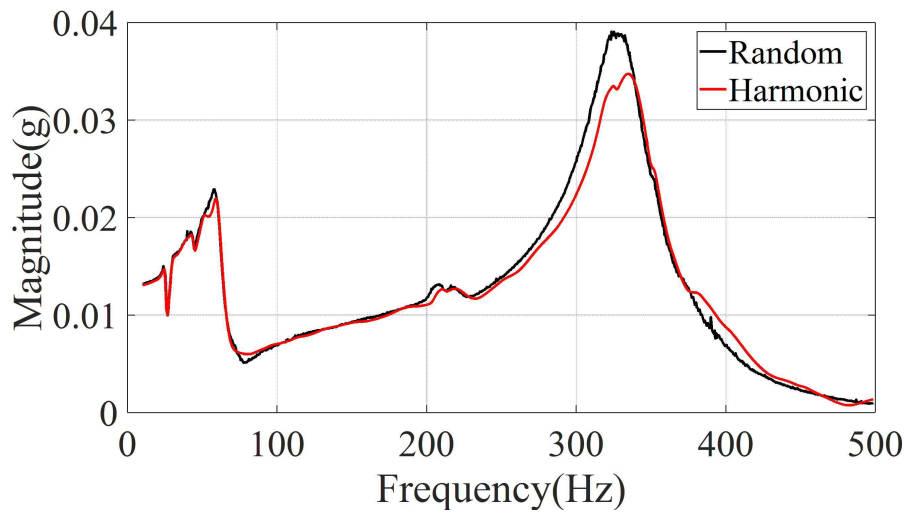
도면8



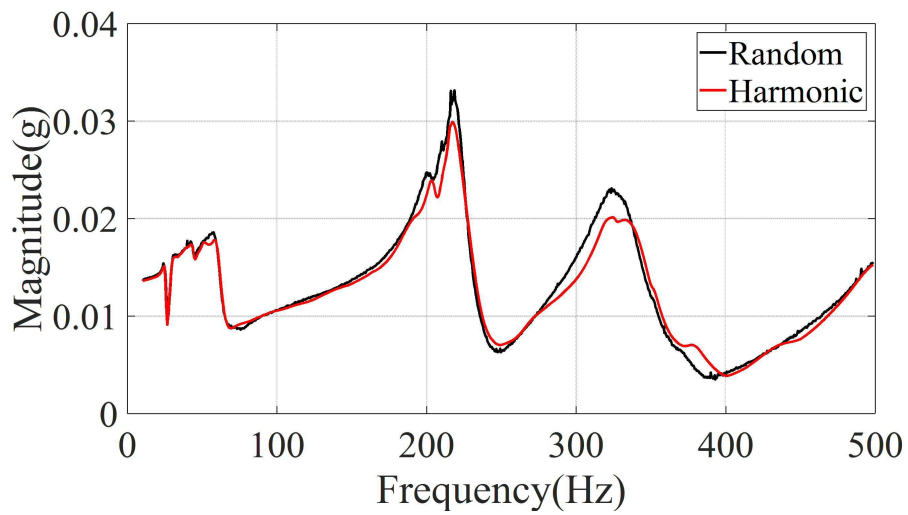
도면9



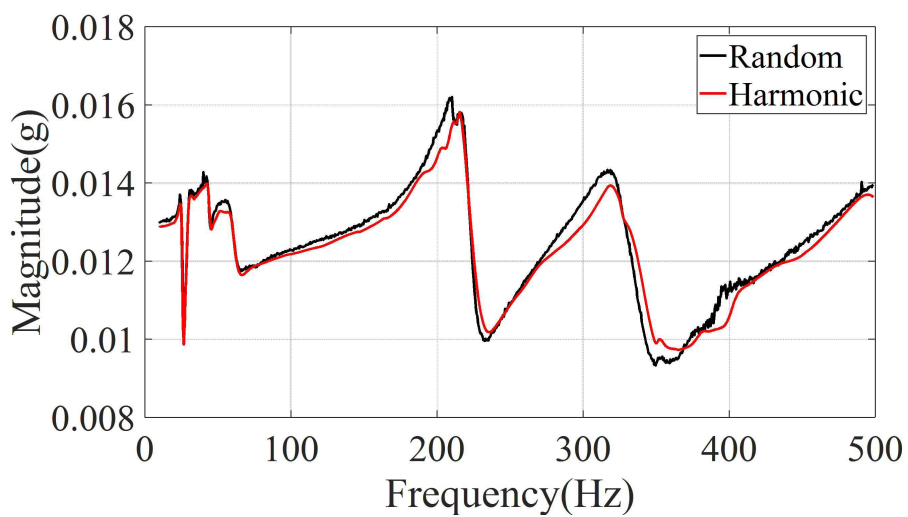
도면10



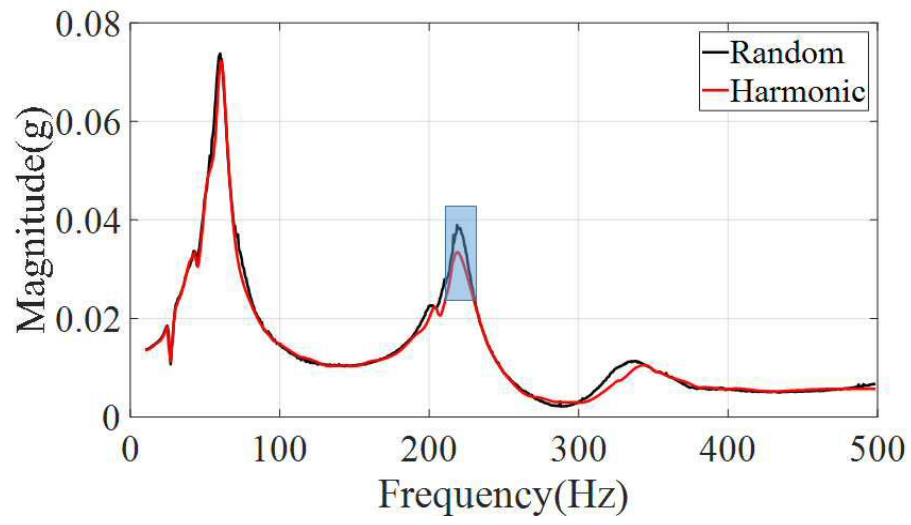
도면11



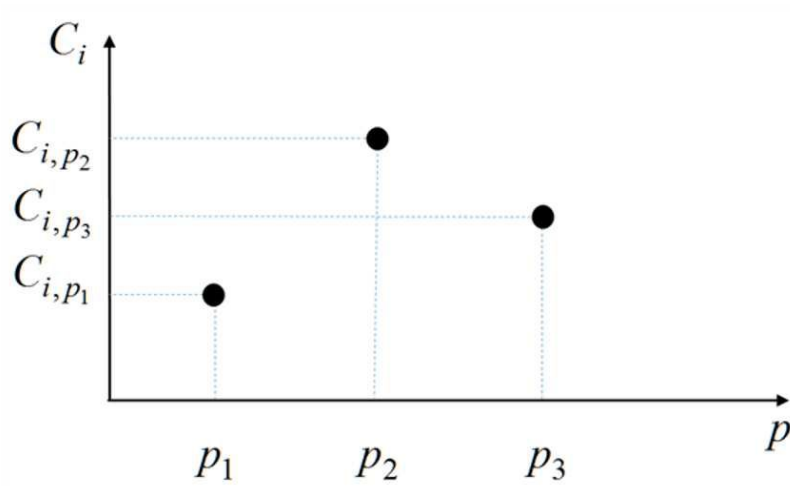
도면12



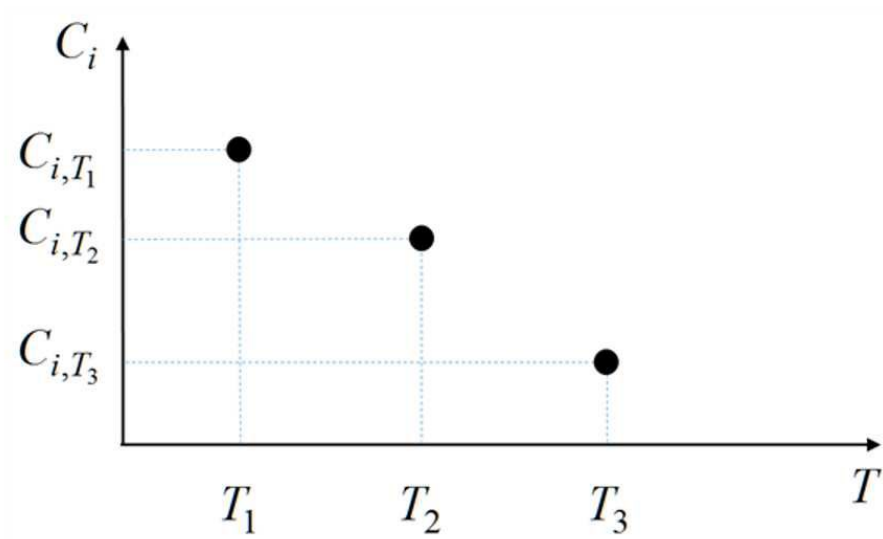
도면13



도면14



도면15



도면16

