



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0166945
(43) 공개일자 2022년12월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 3/40 (2006.01) G01N 3/30 (2006.01)
G01N 3/34 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 3/405 (2013.01)
G01N 3/30 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0075856
(22) 출원일자 2021년06월11일
심사청구일자 2021년06월11일

(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, 차상윤

전체 청구항 수 : 총 13 항

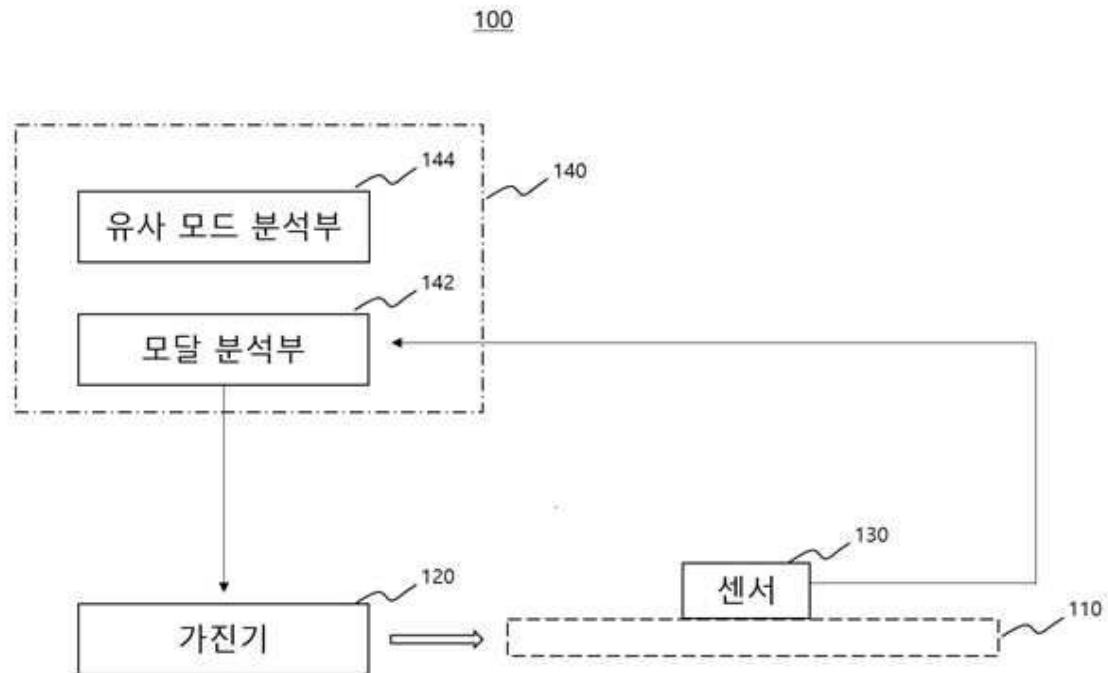
(54) 발명의 명칭 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치

(57) 요약

본 발명은 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치에 관한 것으로, 본 발명에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치는 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 이방성 소재 시편의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기, 기 설정된 위치에서 상기 물리적 힘에 의해 상기 이방성 소재

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



시편에 생성된 진동 신호를 수집하는 센서, 상기 이방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 모달 분석하여, 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 상기 각 모드별 제2 공진점 및 상기 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득하는 모달 분석부 및 기 저장된 등방성 소재 시편의 제1 모달 파라미터(M개의 모드, 상기 각 모드별 제1 공진점 및 상기 각 제1 공진점별 제1 감쇠 계수를 포함)와 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터를 기초로 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 유사 모드 분석부를 포함한다.

상기 유사 모드 분석부는 상기 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터와 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터를 이용하여 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드(N개의 모드)별 모드 신뢰 기준값(MAC: Modal Assurance Criterion)을 획득하고, 상기 등방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제1 공진점 및 제1 감쇠 계수와 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제2 공진점, 제2 감쇠 계수 및 모드 신뢰 기준값(MAC)을 기초로, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득한다.

(52) CPC특허분류

G01N 3/34 (2013.01)

G01N 2203/0039 (2013.01)

G01N 2203/0096 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1425145819
과제번호	S2969570
부처명	중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명	중소기업기술정보진흥원
연구사업명	중소기업기술혁신개발(R&D)
연구과제명	빅데이터 기반 스마트제조라인을 적용한 전기차 및 하이브리드 차동장치용 크라운
월세트 기어 기술개발	
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세일단조(주)
연구기간	2020.11.30 ~ 2021.11.29

명세서

청구범위

청구항 1

등방성 소재 시편의 일측에 기설정된 제1 패턴의 물리적 힘을 가진하는 단계;

상기 등방성 소재 시편의 기 설정된 위치에서 상기 물리적 힘에 의해 생성된 진동 신호를 수집하는 단계;

상기 등방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 상기 등방성 소재 시편에서 측정된 신호를 모달 분석하여, 상기 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터(M개의 모드, 상기 각 모드별 제1 공진점 및 상기 각 제1 공진점별 제1 감쇠 계수를 포함)를 획득하는 단계;

이방성 소재 시편의 일측에 기설정된 제2 패턴의 물리적 힘을 가진하는 단계;

상기 이방성 소재 시편의 기 설정된 위치에서 상기 물리적 힘에 의해 생성된 진동 신호를 수집하는 단계;

상기 이방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 상기 이방성 소재 시편에서 측정된 신호를 모달 분석하여, 상기 이방성 소재 시편에 대한 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 상기 각 모드별 제2 공진점 및 상기 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득하는 단계;

상기 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터와 상기 이방성 소재 시편에 대한 제2 모달 파라미터들을 이용하여, 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드(N개의 모드)별 모드 신뢰 기준값(MAC: Modal Assurance Criterion)을 획득하는 단계; 및

상기 등방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제1 공진점 및 제1 감쇠 계수와 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제2 공진점, 제2 감쇠 계수 및 모드 신뢰 기준값(MAC)을 기초로, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 단계를 포함하는 이방성 소재의 동적 모드의 변화를 분석하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 이방성 소재 시편은

특정 각도(θ 로 일 방향성을 갖도록 배열된 탄소 섬유(Carbon fiber)를 포함하여 형성된 탄소복합소재인 이방성 소재의 동적 모드의 변화를 분석하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 탄소복합소재는

0도, 30도, 45도, 60도 및 90도 가운데 하나의 각도(θ 로 탄소 섬유가 배열된 탄소복합소재인 이방성 소재의 동적 모드의 변화를 분석하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 이방성 소재 시편에 대한 제2 모달 파라미터를 획득하는 단계는

상기 탄소 섬유가 배열된 방향이 다른 복수의 탄소복합소재 각각에 대해 각각 제2 모달 파라미터를 획득하는 단계를 포함하는 이방성 소재의 동적 모드의 변화를 분석하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드별 모드 신뢰 기준값을 획득하는 단계는

상기 탄소 섬유가 배열된 방향이 다른 복수의 탄소복합소재 각각에 대해 각각 모드 신뢰 기준값을 획득하는 단계를 포함하고,

상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 단계는

상기 탄소 섬유 배열된 방향이 다른 복수의 탄소복합소재 각각에 대해 각각 모드별로 유사 모드를 획득하는 단

계를 포함하는 이방성 소재의 동적 모드의 변화를 분석하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 모드 신뢰 기준값을 획득하는 단계는

상기 등방성 소재 시편의 M개의 모드 각각과 상기 이방성 소재 시편의 N개의 모드 간에 교차 계산하여 모드 신뢰 기준값을 산출하는 단계를 포함하는 이방성 소재의 동적 모드의 변화를 분석하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 모드 신뢰 기준값을 획득하는 단계는

하기 수학적 식 1을 통해 모드 신뢰 기준값을 산출하는 이방성 소재의 동적 모드의 변화를 분석하는 방법.

[수학적 식 1]

$$MAC(i,j)=\frac{\left|(\psi_i)^T(\psi_j)^*\right|^2}{\left((\psi_i)^T(\psi_j)^*\right)\left((\psi_j)^T(\psi_i)^*\right)}$$

여기에서, $(\psi_i)^T$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 전치 행렬(transpose matrix), $(\psi_i)^*$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 켤레 행렬(conjugate matrix), $(\psi_j)^T$, $(\psi_j)^*$ 는 각각 j번째 모드 형상 ψ_j 의 전치 행렬 및 켤레 행렬

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 단계는

상기 등방성 소재 시편의 각 모드별 모드 형상 정보를 참조 데이터로하여, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별로 모드 형상과 유사한 등방성 소재 시편의 모드 형상을 획득하되,

MAC 값, 공진점 및 감쇠 계수를 기초로 유사성이 큰 모드를 획득하는 이방성 소재의 동적 모드의 변화를 분석하는 방법.

청구항 9

제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 이방성 소재 시편의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기;

기 설정된 위치에서 상기 물리적 힘에 의해 상기 이방성 소재 시편에 생성된 진동 신호를 수집하는 센서;

상기 이방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 모달 분석하여, 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 상기 각 모드별 제2 공진점 및 상기 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득하는 모달 분석부; 및

기 저장된 등방성 소재 시편의 제1 모달 파라미터(M개의 모드, 상기 각 모드별 제1 공진점 및 상기 각 제1 공진점별 제1 감쇠 계수를 포함)와 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터를 기초로 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 유사 모드 분석부를 포함하되,

상기 유사 모드 분석부는

상기 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터와 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터를 이용하여 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드(N개의 모드)별 모드 신뢰 기준값(MAC: Modal Assurance Criterion)을 획득하고,

상기 등방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제1 공진점 및 제1 감쇠 계수와 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제2 공진점, 제2 감쇠 계수 및 모드 신뢰 기준값(MAC)을 기초로, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 이방성 소재 시편은

특정 각도(θ)로 일 방향성을 갖도록 배열된 탄소 섬유(Carbon fiber)를 포함하여 형성된 탄소복합소재인 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 탄소복합소재는

0도, 30도, 45도, 60도 및 90도 가운데 하나의 각도(θ)로 탄소 섬유가 배열된 탄소복합소재인 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치.

청구항 12

제9항에 있어서, 상기 유사 모드 분석부는

상기 등방성 소재 시편의 M개의 모드 각각과 상기 이방성 소재 시편의 N개의 모드 간에 교차 계산하여 모드 신뢰 기준값을 산출하는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 유사 모드 분석부는

하기 수학적 식 1을 통해 모드 신뢰 기준값을 산출하는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치.

[수학적 식 1]

$$MAC(i,j)=\frac{|(\psi_i)^T(\psi_j)^*|^2}{((\psi_i)^T(\psi_j)^*)((\psi_j)^T(\psi_i)^*)}$$

여기에서, $(\psi_i)^T$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 전치 행렬(transpose matrix), $(\psi_i)^*$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 켤레 행렬(conjugate matrix), $(\psi_j)^T$, $(\psi_j)^*$ 는 각각 j번째 모드 형상 ψ_j 의 전치 행렬 및 켤레 행렬

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 이방성(Anisotropy) 소재에서 나타나는 동적 모드의 변화 현상을 분석할 수 있는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 분석 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 물질의 고유한 재료 물성치(Material Property), 예를 들어 탄성 계수(Young's modulus), 프와송비(Poisson's

Ratio), 열전달계수(Thermal Conductivity) 등이 물질 내 모든 방향으로 그 값이 변하지 않는 경우를 등방성(Isotropy)이라 하며, 어떤 한 지점을 기준으로 방향에 따라 물질의 재료 물성치가 달라지는 경우를 이방성(Anisotropy)이라 한다.

[0003] 실제로 지구상에서 엄밀하게 등방성인 물질은 존재하지 않으며, 통상적으로 등방성 물질은 거시적(Macroscopic)인 측면에서 방향에 따라 물성 계수의 변화가 미미하여 등방성으로 가정된 이상적인 경우를 의미한다. 임의 물질의 물성 계수들은 물질을 구성하는 미소 입자들의 크기, 형상, 배열 방향, 및 분포 형태 등에 크게 영향을 받는다. 물질을 전자 현미경으로 확대해 보면 입자들의 이러한 특성들이 일정하지 않고 매우 불규칙적임을 확인할 수 있다.

[0004] 다시 말해, 미시적(Microscopic)인 관점에서는 거의 모든 재질은 이방성 재료에 해당된다. 물질을 정의하기 위해 등방성과 함께 자주 사용되는 용어에 균질성(Homogeneity)이 있다. 물질이 균질하다는 것은 물성 계수들이 재료 내 어떠한 점에서도 일정한 경우를 말한다. 그리고 그렇지 않은 경우를 비균질성(Inhomogeneity)이라 한다. 단일 입자로 구성된 금속은 대표적인 균질 등방성 물질이고, 두 개 이상의 서로 다른 종류의 입자로 구성된 복합재(Composite Material)는 대표적인 비균질 이방성 물질이다.

[0005] 등방성을 갖는 재료의 경우에는 측정된 다수의 주파수 응답 성분만을 활용하여 첨점(peak)만을 선택하여도 복잡한 형상을 가진 구조가 아닌 경우, 각 모드를 선택하는 데 어려움이 없다. 그러나, 탄소복합소재(Carbon Fiber Reinforced Material)의 경우에는 탄소섬유(Carbon Fiber)에 따라 이방성을 가진 재료의 특성으로 인해 동적 특성이 달라지기 때문에 모달 시험 결과인 공진점(Resonance Frequency)과 모드 형상(Mode Shape)에 변화가 생기게 된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 JP2015-032295(2015.02.16), 2쪽 내지 4쪽

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 등방성 소재와 달리 이방성 소재에서 나타나는 동적 모드의 순서가 달라지는 현상에 대응하여 이방성 소재의 모드 변화를 분석할 수 있는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치를 제공한다.

[0008] 본 발명은 모드 신뢰 기준값(MAC, Modal Assurance Criterion)뿐만 아니라 공진점(Resonance Frequency), 모달 감쇠 계수(Modal Damping Coefficient)를 이용하여 이방성 소재의 모드 변화를 분석함으로써 정확도를 높일 수 있는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치를 제공한다.

[0009] 본 발명은 이방성 소재의 모드 변화 분석을 통해 이방성 소재의 물리적 특성을 추론할 수 있는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법은 등방성 소재 시편의 일측에 기설정된 제1 패턴의 물리적 힘을 가지는 단계, 상기 등방성 소재 시편의 기 설정된 위치에서 상기 물리적 힘에 의해 생성된 진동 신호를 수집하는 단계, 상기 등방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 상기 등방성 소재 시편에서 측정된 신호를 모달 분석하여, 상기 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터(M개의 모드, 상기 각 모드별 제1 공진점 및 상기 각 제1 공진점별 제1 감쇠 계수를 포함)를 획득하는 단계, 이방성 소재 시편의 일측에 기설정된 제2 패턴의 물리적 힘을 가지는 단계, 상기 이방성 소재 시편의 기 설정된 위치에서 상기 물리적 힘에 의해 생성된 진동 신호를 수집하는 단계, 상기 이방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 상기 이방성 소재 시편에서 측정된 신호를 모달 분석하여, 상기 이방성 소재 시편에 대한 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 상기 각 모드별 제2 공진점 및 상기 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득하는 단계, 상기 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터와 상기 이방성 소재 시편에 대한 제2 모달 파라미터들을 이용하여, 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모

드(N개의 모드)별 모드 신뢰 기준값(MAC: Modal Assurance Criterion)을 획득하는 단계 및 상기 등방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제1 공진점 및 제1 감쇠 계수와 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제2 공진점, 제2 감쇠 계수 및 모드 신뢰 기준값(MAC)을 기초로, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 단계를 포함한다.

[0011] 일 실시예에서, 상기 이방성 소재 시편은 특정 각도(θ 로 일 방향성을 갖도록 배열된 탄소 섬유(Carbon fiber)를 포함하여 형성된 탄소복합소재를 포함할 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 상기 탄소복합소재는 0도, 30도, 45도, 60도 및 90도 가운데 하나의 각도(θ 로 탄소 섬유가 배열된 탄소복합소재를 포함할 수 있다.

[0013] 일 실시예에서, 상기 모드 신뢰 기준값을 획득하는 단계는 상기 등방성 소재 시편의 M개의 모드 각각과 상기 이방성 소재 시편의 N개의 모드 간에 교차 계산하여 모드 신뢰 기준값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 모드 신뢰 기준값을 획득하는 단계는 하기 수학식 1을 통해 모드 신뢰 기준값을 산출할 수 있다.

[0015] [수학식 1]

$$MAC(i,j)=\frac{|(\psi_i)^T(\psi_j)^*|^2}{((\psi_i)^T(\psi_j)^*)((\psi_j)^T(\psi_i)^*)}$$

[0016]

[0017] 여기에서, $(\psi_i)^T$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 전치 행렬(transpose matrix), $(\psi_i)^*$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 켤레 행렬(conjugate matrix), $(\psi_j)^T$, $(\psi_j)^*$ 는 각각 j번째 모드 형상 ψ_j 의 전치 행렬 및 켤레 행렬

[0018] 일 실시예에서, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 단계는 상기 등방성 소재 시편의 각 모드별 모드 형상 정보를 참조 데이터로 하여, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별로 모드 형상과 유사한 등방성 소재 시편의 모드 형상을 획득하되, MAC 값, 공진점 및 감쇠 계수를 기초로 유사성이 큰 모드를 획득할 수 있다.

[0019] 본 발명에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치는 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 이방성 소재 시편의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기, 기 설정된 위치에서 상기 물리적 힘에 의해 상기 이방성 소재 시편에 생성된 진동 신호를 수집하는 센서, 상기 이방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 상기 센서에 의해 수집된 진동 신호를 모달 분석하여, 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 상기 각 모드별 제2 공진점 및 상기 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득하는 모달 분석부 및 기 저장된 등방성 소재 시편의 제1 모달 파라미터(M개의 모드, 상기 각 모드별 제1 공진점 및 상기 각 제1 공진점별 제1 감쇠 계수를 포함)와 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터를 기초로 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 유사 모드 분석부를 포함하되, 상기 유사 모드 분석부는 상기 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터와 상기 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터를 이용하여 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드(N개의 모드)별 모드 신뢰 기준값(MAC: Modal Assurance Criterion)을 획득하고, 상기 등방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제1 공진점 및 제1 감쇠 계수와 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제2 공진점, 제2 감쇠 계수 및 모드 신뢰 기준값(MAC)을 기초로, 상기 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득한다.

[0020] 일 실시예에서, 상기 이방성 소재 시편은 특정 각도(θ 로 일 방향성을 갖도록 배열된 탄소 섬유(Carbon fiber)를 포함하여 형성된 탄소복합소재를 포함할 수 있다.

[0021] 일 실시예에서, 상기 탄소복합소재는 0도, 30도, 45도, 60도 및 90도 가운데 하나의 각도(θ 로 탄소 섬유가 배열된 탄소복합소재를 포함할 수 있다.

[0022] 일 실시예에서, 상기 유사 모드 분석부는 상기 등방성 소재 시편의 M개의 모드 각각과 상기 이방성 소재 시편의 N개의 모드 간에 교차 계산하여 모드 신뢰 기준값을 산출할 수 있다.

[0023] 일 실시예에서, 상기 유사 모드 분석부는 하기 수학적 식 1을 통해 모드 신뢰 기준값을 산출할 수 있다.

[0024] [수학적 식 1]

$$MAC(i,j)=\frac{|(\psi_i)^T(\psi_j)^*|^2}{((\psi_i)^T(\psi_j)^*)((\psi_j)^T(\psi_i)^*)}$$

[0025]

[0026] 여기에서, $(\psi_i)^T$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 전치 행렬(transpose matrix), $(\psi_i)^*$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 켤레 행렬(conjugate matrix), $(\psi_j)^T$, $(\psi_j)^*$ 는 각각 j번째 모드 형상 ψ_j 의 전치 행렬 및 켤레 행렬

발명의 효과

[0027] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치는 등방성 소재와 달리 이방성 소재에서 나타나는 동적 모드의 순서가 달라지는 현상에 대응하여 이방성 소재의 모드 변화를 분석할 수 있다.

[0028] 본 발명에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치는 모드 신뢰 기준값(MAC, Modal Assurance Criterion)뿐만 아니라 공진점(Resonance Frequency), 모달 감쇠 계수(Modal Damping Coefficient)를 이용하여 이방성 소재의 모드 변화를 분석함으로써 정확도를 높일 수 있다.

[0029] 본 발명에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치는 이방성 소재의 모드 변화 분석을 통해 이방성 소재의 물리적 특성을 추론할 수 있는 정보를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치의 구성을 나타내는 구성도

도 2는 복수의 센서를 포함하는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치의 구성을 예시적으로 나타낸 구성도

도 3(a)는 등방성 소재 시편 및 센서 부착 위치의 일 예를 나타내는 도면

도 3(b)는 복수의 센서가 부착된 등방성 소재 시편의 일 예를 나타내는 도면

도 4는 등방성 소재 시편에 대한 실험적 모달 해석을 통해 얻어진 모드 형상을 나타내는 도면

도 5는 유한요소 모델을 이용하여 등방성 소재 시편에 대한 이론적 모달 해석을 통해 얻어진 모드 형상을 나타내는 도면

도 6(a)는 이방성 소재 시편의 일 예를 나타내는 도면

도 6(b)는 이방성 소재인 탄소복합소재 시편의 일 예를 나타내는 도면

도 6(c)는 복수의 센서가 부착된 이방성 소재 시편의 일 예를 나타내는 도면

도 7은 탄소섬유의 방향이 증가함에 따라 모드(굽힘 모드, 비틀림 모드)에 따른 공진점의 변화를 나타내는 도면

도 8은 탄소섬유의 방향이 증가함에 따라 모드(굽힘 모드, 비틀림 모드)에 따른 모달 감쇠 계수의 변화를 나타내는 도면

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하, 본 발명에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치를 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치의 구성을 나타내는 구성도이다.
- [0034] 도 1을 참조하면, 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 가진기(120), 센서(130) 및 모드 변화 분석부(140)를 포함할 수 있다.
- [0035] 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 등방성 소재와 달리 이방성 소재에서 나타나는 동적 모드의 순서가 달라지는 현상에 대응하여 이방성 소재의 모드 변화를 분석할 수 있다. 예를 들어, 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 모드 신뢰 기준값(MAC, Modal Assurance Criterion), 공진점(Resonance Frequency) 및 모달 감쇠 계수(Modal Damping Coefficient)를 이용하여 이방성 소재 시편의 각 모드별로 유사한 등방성 소재 시편의 모드를 획득할 수 있다. 즉, 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 등방성 소재 시편에 대한 모드 형상 정보를 참조 데이터로 하고, 이방성 소재 시편에 대한 모드 형상과 비교하여 이방성 소재 시편의 모드와 유사성이 큰 등방성 소재 시편의 모드를 획득할 수 있다.
- [0036] 가진기(120)는 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 시편(110)의 일측에 물리적 힘을 가한다. 일 실시예에서, 가진기(120)는 시편(110)의 기 설정된 위치에 물리적 힘을 가할 수 있다.
- [0037] 가진기(120)는 자동으로 시편(110)에 임팩트를 인가할 수 있는 고정식 임팩트 장치를 활용할 수 있다. 일 실시예에서, 가진기(120)는 임팩트 해머(impact hammer) 또는 전기 진동기(electrodynamic shaker) 등을 포함할 수 있다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해, 임팩트 해머(5800B3/dytran)를 가진기로 사용하는 경우를 가정하여 설명하기로 한다. 임팩트 해머는 시편(110)에 물리적 손상을 일으키지도 않고, 시험을 위한 사전 가공이 필요하지 않으며, 넓은 주파수에 걸쳐 시편(110)에 임팩트를 인가할 수 있다. 임팩트 해머의 경우, 실제 가진이 되는 부분(임팩트 부분)에 팁(tip)이 구비될 수 있다.
- [0038] 센서(130)는 시편(110)의 기 설정된 위치에 접하며, 가진기(120)에 의해 가해진 물리적 힘에 의해 시편(110)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.
- [0039] 모드 변화 분석부(140)는 모달 분석부(142) 및 유사 모드 분석부(144)를 포함한다. 모달 분석부(142)는 시편(110)에 가해진 물리적 힘과 센서(130)에 의해 수집된 진동 신호를 모달 분석하여, 시편(110)의 모달 파라미터(N개의 모드(모드 형상), 각 모드별 공진점 및 각 공진점별 감쇠 계수를 포함)를 획득한다. 일 실시예에서, 이방성 소재 시편(110)의 경우, 모달 분석부(142)는 이방성 소재 시편(110)에 가해진 물리적 힘과 센서(130)에 의해 수집된 진동 신호를 모달 분석하여, 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터(N개의 모드(모드 형상), 각 모드별 제2 공진점 및 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득할 수 있다.
- [0040] 유사 모드 분석부(144)는 기 저장된 등방성 소재 시편의 제1 모달 파라미터(M개의 모드(모드 형상), 각 모드별 제1 공진점 및 각 제1 공진점별 제1 감쇠 계수를 포함)와 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터를 기초로 이방성 소재 시편의 각 모드별로 유사성이 큰 등방성 소재 시편의 모드(이하, 유사 모드)를 획득할 수 있다.
- [0042] 도 2는 복수의 센서를 포함하는 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치의 구성을 예시적으로 나타낸 구성도이다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해 도 1과 차이가 있는 부분을 중심으로 설명하기로 한다.
- [0043] 도 2를 참조하면, 시편(110)의 일 측에는 복수의 센서(130a, 130b, 130c, 130d, ...)가 위치할 수 있다. 복수의 센서(130a, 130b, 130c, 130d, ...)를 사용하여 시편(110)의 진동을 수집하는 구성 외에 나머지 구성은 도 1과 동일하다. 센서의 수와 위치는 구현 예에 따라 달라질 수 있다.
- [0044] 복수의 센서(130a, 130b, 130c, 130d, ...)의 위치는 기 설정된 위치일 수도 있고, 사용자에게 의해 정해진 위치일

수도 있다. 복수의 센서(130a, 130b, 130c, 130d, ...들은 해당 위치에서 시편(110)의 진동을 수집하여 모드 변화 분석부(140)로 전송한다.

[0046] 이하에서는, 도 1내지 도 8을 참조하여, 등방성 소재 시편에 대한 제1 모드 파라미터와 이방성 소재 시편에 대한 제2 모드 파라미터를 획득하고, 모드 신뢰 기준값(MAC, Modal Assurance Criterion), 공진점(Resonance Frequency) 및 모드 감쇠 계수(Modal Damping Coefficient)를 이용하여 이방성 소재 시편의 각 모드별로 유사한 등방성 소재 시편의 모드를 획득하는 과정을 구체적인 예시를 들어 설명하기로 한다.

[0048] 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 등방성 소재 시편에 물리적 힘을 가하여 등방성 소재 시편에 대한 제1 모드 파라미터(M개의 모드, 각 모드별 제1 공진점 및 각 제1 공진점별 제1 감쇠 계수를 포함)를 획득한다.

[0049] 가진기(120)는 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 등방성 소재 시편(110)의 일측에 물리적 힘을 가한다. 일 실시예에서, 가진기(120)는 등방성 소재 시편(110)의 기 설정된 위치에 물리적 힘을 가할 수 있다. 센서(130)는 등방성 소재 시편(110)의 기 설정된 위치에 접하며, 가진기(120)에 의해 가해진 물리적 힘에 의해 등방성 소재 시편(110)에서 생성된 신호를 수집한다.

[0050] 도 3(a)는 등방성 소재 시편 및 센서 부착 위치의 일 예를 나타내는 도면이고, 도 3(b)는 복수의 센서가 부착된 등방성 소재 시편의 일 예를 나타내는 도면이다.

[0051] 도 3(a)와 도 3(b)를 참조하면, 도 3(a)와 도 3(b)의 구현 예에서는 등방성의 SS275 소재로 만들어진 시편(110)의 일측 7군데 위치(#1, #2, #3, #4, #5, #6, #7)에 가속도 센서(130)를 부착하였다. 구현 예에서, A는 3.0 mm, B는 10.0mm, C는 37.5mm, D는 30.0mm로 설정되었다. 일 실시예에서, 센서의 위치와 센서의 수는 구현 예에 따라 달라질 수 있다. 일 실시예에서, 센서는 인접하는 센서와 사이가 일정 간격으로 이격되어 등방성 소재 시편(110) 상에서 균일하게 분포될 수 있다.

[0052] 가진기(120)는 제어에 의해 #4 위치에 -Z축 방향으로 물리적 힘을 가하고, #1~#7 위치의 센서(130)는 진동 신호를 수집하여 모드 변화 분석부(140)로 전송한다. 모드 분석부(142)는 등방성 소재 시편(110)에 가해진 물리적 힘과 센서(130)에 의해 수집된 진동 신호를 모드 분석하여, 등방성 소재 시편(110)에 대한 제1 모드 파라미터를 획득한다. 유사 모드 분석부(144)는 등방성 소재 시편(110)에 대한 제1 모드 파라미터를 저장할 수 있다.

[0053] 구현 예에서는 Test Lab 분석 소프트웨어를 이용하여 모드 분석(modal analysis)을 통해 모드 형상, 공진점 및 감쇠 계수 등 모드 파라미터를 산출하였다. 모드 분석은 진동 문제에 대한 고유 진동수를 해석하는 것을 말한다.

[0054] 일 실시예에서, 등방성 소재 시편(110)은 자유경계 상태(free-free)에 놓일 수 있으며, 모드 분석부(142)는 자유경계 상태에 놓인 등방성 소재 시편(110)을 모드 분석할 수 있다. 예를 들어, 도 3(b)의 실험 예에서는 자유경계 상태(free-free)를 얻기 위해 강성이 매우 낮은 고무줄에 등방성 소재 시편(110)을 올려서 등방성 소재 시편(110)에 대한 모드 분석을 수행하였다.

[0055] 하기 표 1은 도 3(b)의 등방성 소재 시편에 대한 실험적 모드 분석을 수행하여 얻어진 제1 모드 파라미터를 나타낸 예이다.

[표 1]

Mode	Resonance frequency (Hz)	Modal damping coefficient	Mode shape
1	698.5	0.23 (%)	Bending
2	805.0	0.28 (%)	Twisting
3	1,776.1	0.24 (%)	Twisting
4	1,914.6	0.17 (%)	Bending
5	2,474.4	0.65 (%)	Bending

[0057]

[0058] 일 실시예에서, 모달 분석부(142)는 등방성 소재 시편(110)의 형상에 대한 유한요소 모델(Finite Element Model)을 이용하여 이론적 모델 해석을 수행하여, 등방성 소재 시편(110)에 대한 이론적인 모달 파라미터(모드, 공진점, 및 모달 감쇠 계수)도 획득한다. 일 실시예에서, 등방성 소재 시편(110)의 형상에 대한 유한요소 모델은 사용자에게 의해 입력될 수 있다.

[0059] 하기 표 2는 표 1의 등방성 소재 시편(110)에 대한 실험적 모달 분석을 수행하여 얻어진 각 모드별 공진점 값(Experiment)과 등방성 소재 시편(110)의 형상에 대한 이론적 모델 해석을 수행하여 얻어진 각 모드별 공진점 값(FE model) 사이를 비교한 결과이다.

[0060] [표 2]

Mode	Resonance frequency (Hz)			MAC
	Experiment	FE model	Error(%)	
1	698.5	697.8	0.1	0.99
2	805.0	860.9	6.5	0.65
3	1,776.1	1,807.5	1.7	0.96
4	1,914.6	1,914.4	0.0	0.99
5	2,474.4	2,523.3	1.9	0.95

[0061]

[0062] 표 2를 참조하면, 등방성 소재 시편(110)에 대한 도 3(b)와 같은 등방성 소재 시편에 대한 실험적 모달 분석을 수행하여 얻어진 제1 모달 파라미터와 이론적 모델 해석을 수행하여 얻어진 제1 모달 파라미터 사이를 비교하기 위해, 각 모드별로 수치 오차(Error, %)와 모드 신뢰 기준값(MAC, Modal Assurance Criterion)을 산출하였다. 일 실시예에서, 모드 신뢰 기준값은 하기 수식 1의 Modal Assurance Criterion(MAC) 함수를 통해 산출될 수 있다.

[0063] [수식 1]

$$MAC(i,j)=\frac{\left|(\psi_i)^T(\psi_j)^*\right|^2}{\left((\psi_i)^T(\psi_j)^*\right)\left((\psi_j)^T(\psi_i)^*\right)}$$

[0064]

[0065] 여기에서, $(\psi_i)^T$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 전치 행렬(transpose matrix), $(\psi_i)^*$ 는 i번째 모드 형상 ψ_i 의 켤레 행렬(conjugate matrix)을 나타낸다. 또한, $(\psi_j)^T$, $(\psi_j)^*$ 는 각각 j번째 모드 형상 ψ_j 의 전치 행렬 및 켤레 행렬을 각각 나타낸다.

[0066] 표 2를 참조하면, 이론적 모델 해석을 수행하여 얻어진 제1 모달 파라미터의 경우, 2번째 모드에서 약간의 오차는 있으나, 실험적 모달 분석을 수행하여 얻어진 제1 모달 파라미터와 이론적 모델 해석을 수행하여 얻어진 제1 모달 파라미터가 5개의 모드에 대해 신뢰성이 높다고 판단할 수 있다.

[0068] 도 4는 도 3(b)의 등방성 소재 시편에 대한 실험적 모달 분석을 통해 얻어진 모드 형상을 나타내는 도면이고, 도 5는 유한요소 모델을 이용하여 등방성 소재 시편에 대한 이론적 모달 분석을 통해 얻어진 모드 형상을 나타내는 도면이다.

[0069] 표 2와 도 4 및 도 5를 참조하면, 모드 1은 1차 굽힘(Bending) 모드, 모드 2는 1차 비틀림(Twisting) 모드, 모드 3은 2차 비틀림 모드, 모드 4는 2차 굽힘 모드, 모드 5는 3차 굽힘 모드로 모드 형상이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

- [0071] 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 등방성 소재 시편과 동일한 경계 상태 조건에서 다시 이방성 소재 시편에 물리적 힘을 가하여 이방성 소재 시편에 대한 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 각 모드별 제2 공진점 및 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득한다.
- [0072] 가진기(120)는 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진 패턴에 따라 이방성 소재 시편(110)의 일측에 물리적 힘을 가한다. 일 실시예에서, 가진기(120)는 이방성 소재 시편(110)의 기 설정된 위치에 물리적 힘을 가할 수 있다. 센서(130)는 이방성 소재 시편(110)의 기 설정된 위치에 접하며, 가진기(120)에 의해 가해진 물리적 힘에 의해 이방성 소재 시편(110)에서 생성된 신호를 수집한다.
- [0073] 도 6(a)는 이방성 소재 시편의 일 예를 나타내는 도면, 도 6(b)는 이방성 소재인 탄소복합소재 시편의 일 예를 나타내는 도면, 도 6(c)는 복수의 센서가 부착된 이방성 소재 시편의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0074] 도 6(a)를 참조하면, 이방성 소재 시편(110)은 탄소 섬유(Carbon fiber)가 특정 각도(θ)로 일 방향성을 갖도록 배열되어 형성된 탄소복합소재에 해당할 수 있다. 예를 들어, 탄소복합소재는 y축을 기준으로 특정 각도(θ)로 탄소 섬유가 배열되어 형성된 탄소복합소재에 해당할 수 있다. 일 실시예에서, 탄소 섬유의 각도(θ)는 0도, 30도, 45도, 60도 및 90도 가운데 하나일 수 있다. 일 실시예에서, 탄소복합소재는 탄소섬유강화플라스틱(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)에 해당할 수 있다.
- [0075] 구현 예에서는, 5가지 탄소섬유 방향($\theta=0$ 도, 30도, 45도, 60도 및 90도)을 가진 탄소복합소재를 시편으로 사용하여 모달 분석을 수행하였다. 도 6(b)의 구현 예에서는, 탄소복합소재인 프리프레그 USN 250A(SK 케미칼, 탄소 섬유: T700, 결합제: 에폭시 레진)를 12겹 적층하여 핫 프레스(hot pressing)한 모재를 제조한 후, 해당 모재를 서로 다른 5가지 방향($\theta=0$ 도, 30도, 45도, 60도 및 90도)으로 절단하여 5가지 탄소복합소재 시편을 만들었다. 일 실시예에서, 탄소복합소재 시편은 두께 약 0.258mm의 프리프레그 복합소재가 12겹으로 일방향(UD: Unidirectional)으로 적층된 두께 약 3mm의 직사각형 형태의 시편으로 형성될 수 있다.
- [0076] 도 6(c)를 참조하면, 탄소섬유 방향이 다른 5개의 탄소복합소재($\theta=0$ 도, 30도, 45도, 60도 및 90도) 각각에 대해 등방성 소재 시편과 동일하게 일측 7군데 위치(#1, #2, #3, #4, #5, #6, #7)에 가속도 센서(130)를 부착하여 시험을 수행하였다. 일 실시예에서, 센서의 위치와 센서의 수는 등방성 소재 시편과 동일하게 설정될 수 있다. 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 탄소섬유 방향이 다른 5개의 탄소복합소재($\theta=0$ 도, 30도, 45도, 60도 및 90도) 각각에 대해 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 각 모드별 제2 공진점 및 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득할 수 있다.
- [0077] 가진기(120)는 제어에 의해 #4 위치에 -Z축 방향으로 물리적 힘을 가하고, #1~#7 위치의 센서(130)는 진동 신호를 수집하여 모드 변화 분석부(140)로 전송한다. 모달 분석부(142)는 이방성 소재 시편(탄소복합소재)(110)에 가해진 물리적 힘과 센서(130)에 의해 수집된 진동 신호를 모달 분석하여, 이방성 소재 시편(110)에 대한 제2 모달 파라미터를 획득한다. 실험 예에서는 Test Lab 분석 소프트웨어를 이용하여 모달 분석(modal analysis)을 통해 모드 형상, 공진점 및 감쇠 계수 등 모달 파라미터를 산출하였다.
- [0078] 일 실시예에서, 이방성 소재 시편(110)은 자유경계 상태(free-free)에 놓일 수 있으며, 모달 분석부(142)는 자유경계 상태에 놓인 이방성 소재 시편(110)을 모달 분석할 수 있다.
- [0079] 하기 표 3은 탄소섬유 방향이 다른 5개의 탄소복합소재 각각에 대한 실험적 모달 분석을 수행하여 얻어진 제2 모달 파라미터 가운데 공진점과 감쇠 계수를 나타낸 예이다.

[0080] [표 3]

Specimen	Resonance frequency (Hz)	Modal damping coefficient (%)
Specimen 1 ($\theta = 0^\circ$)	951.0	5.3
	1,149.1	0.4
	1,276.0	2.6
	1,368.5	1.3
	2,162.3	2.0
	2,990.9	1.3
	3,282.0	1.2
Specimen 2 ($\theta = 30^\circ$)	360.7	1.8
	754.5	1.5
	941.1	1.2
	1,450.4	1.5
	1,657.5	1.5
	2,427.8	1.8
	2,502.0	4.1
Specimen 3 ($\theta = 45^\circ$)	330.4	1.3
	595.6	1.4
	878.0	1.0
	1,568.8	1.2
	1,749.3	1.5
	2,267.3	2.1
	2,419.6	3.8
Specimen 4 ($\theta = 60^\circ$)	310.6	1.1
	458.0	1.5
	835.0	0.9
	979.0	1.3
	1,522.0	1.0
	1,589.2	2.0
	2,176.5	1.6
	2,690.4	3.9
Specimen 5 ($\theta = 90^\circ$)	305.2	0.9
	380.0	1.7
	824.1	0.9
	1,388.5	1.5
	1,504.0	1.3
	1,938.5	3.7
	2,625.6	2.1
	3,305.1	5.3

[0081]

[0083] 유사 모드 분석부(144)는 기 저장된 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터와 이방성 소재 시편의 제2 모달 파라미터를 이용하여, 이방성 소재 시편에 대한 각 모드(N개의 모드)별 모드 신뢰 기준값(MAC)을 획득한다. 유사 모드 분석부(144)는 등방성 소재 시편의 M개의 모드 각각과 이방성 소재 시편의 N개의 모드 간에 교차 계산하여 모드 신뢰 기준값을 산출할 수 있다.

[0084] 일 실시예에서, 유사 모드 분석부(144)는 등방성 소재 시편의 M개의 모드 형태 가운데 i번째($1 \leq i \leq M$) 모드 형태에서의 제1 모달 파라미터와 탄소복합소재 시편의 N개의 모드 형태 중 j번째($1 \leq j \leq N$) 모드 형태에서의 제2 모달 파라미터를 매칭하기 위해, 각각의 모달 파라미터에 대응하는 모드 형상 벡터 정보들의 직교성을 활용하여 모드 신뢰 기준값(MAC)을 산출한다. 일 실시예에서, 유사 모드 분석부(144)는 상기 수학식 1을 이용하여, 탄소복합소재 시편에 대한 각 모드(N개의 모드)별 $MAC(i, j)$ 를 산출할 수 있다. 일 실시예에서, 유사 모드 분석부(144)는 탄소섬유 방향이 다른 5개의 탄소복합소재 각각에 대해 각 모드(N개의 모드)별 $MAC(i, j)$ 를 산출할 수 있다.

[0085] 유사 모드 분석부(144)는 등방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제1 공진점 및 제1 감쇠 계수와 이방성 소재 시편

에 대한 각 모드별 제2 공진점, 제2 감쇠 계수 및 모드 신뢰 기준값(MAC)을 기초로, 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득한다. 일 실시예에서, 유사 모드 분석부(144)는 공진점, 감쇠 계수 및 모드 신뢰 기준값(MAC)에 대해 기 설정된 각 모드별 유사 모드 분류 기준을 기초로 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득할 수 있다.

[0086] 예를 들어, 실험 예에서 3개의 굽힘(Bending) 모드의 경우, 탄소 섬유 각도가 0도, 60도 및 90도인 시편에서 유사 모드의 MAC 값이 높은 값을 가지는 것으로 확인되었다. 따라서, 탄소 섬유의 각도(θ)(또는, 방향)가 0도, 60도 및 90도인 탄소복합소재의 경우, MAC 값을 이용하여 각 굽힘 모드의 유사 모드를 획득할 수 있다. 그러나, 3개의 굽힘 모드의 경우, 탄소 섬유의 각도가 30도, 45도인 시편에서는, 유사 모드의 MAC 값이 낮아서 해당 값만으로는 각 굽힘 모드의 유사 모드를 획득하기 어려운 것으로 확인되었다.

[0087] 2개의 비틀림(Twisting) 모드의 경우, 탄소 섬유의 각도가 30도, 45도인 시편에서 유사 모드의 MAC 값이 상대적으로 높은 값을 보이거나, 해당 MAC 값이 유사 모드를 획득하기 위한 명확한 분류 기준이 되기는 어려운 것으로 확인되었다.

[0088] 반면, 공진점의 변화의 경우, 2차 비틀림 모드를 제외하고 1차 비틀림 모드는 탄소 섬유의 각도가 증가할수록 공진점이 주파수가 감소하는 경향이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 탄소복합소재의 비틀림 모드의 유사 모드를 분류하는 경우, MAC 값보다는 공진점의 변화 경향을 이용하는 것이 보다 효율적이다.

[0089] 그러나, 2차 비틀림 모드의 경우 탄소 섬유의 각도가 30도인 시편에서 가장 낮은 공진점 주파수를 갖고, 탄소 섬유의 각도가 증가하거나 감소하는 경우 공진점 주파수가 증가하는 경향이 나타나는 것으로 확인되었다.

[0090] 감쇠 계수(모달 감쇠 계수)의 변화는 탄소복합소재의 2개의 비틀림 모드의 유사 모드를 획득하는데 모두 효율적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 2개의 비틀림 모드의 경우 탄소 섬유의 각도가 45도인 시편에서 모두 가장 낮은 감쇠 계수 값을 가지며, 탄소 섬유의 각도가 증가하거나 감소하는 경우에 모달 감쇠 계수 값이 증가하는 경향이 나타나는 것으로 확인되었다.

[0091] 상기와 같은 실험적 결과를 통해, MAC 값, 공진점 변화 및 감쇠 계수 변화 가운데 하나만 이용하는 경우에는 이방성 소재 시편에 대한 각 모드(예를 들어, 3개의 굽힘 모드 및 2개의 비틀림 모드)와 유사한 유사 모드를 획득하는 것이 어려우며, MAC 값, 공진점 변화 및 감쇠 계수 변화 3개의 지표를 종합적으로 고려하는 경우 신뢰성 높은 유사 모드를 획득할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0093] 하기 표 4는 등방성 소재 시편의 5개 모드를 기준으로 등방성 소재 시편의 5개 모드와 유사한 탄소복합소재 시편의 모드(유사 모드)를 분류한 결과이다. 표 4는 탄소섬유 방향이 다른 5개의 탄소복합소재 각각에 대해 등방성 소재 시편의 5개 모드와 유사한 탄소복합소재 시편의 모드를 분류하였다.

[0094] [표 4]

SS 275		Specimen 1			Specimen 2			Specimen 3			Specimen 4			Specimen 5		
Freq. (Hz)	Shape	Freq.	Damp.	MAC	Freq.	Damp.	MAC	Freq.	Damp.	MAC	Freq.	Damp.	MAC	Freq.	Damp.	MAC
698.6	Bending	1,149.1	0.4	0.85	360.6	1.8	0.39	330.4	1.3	0.62	310.6	1.1	0.91	305.1	0.9	0.98
805.0	Twisting	1,276.1	2.5	0.02	754.5	1.5	0.21	595.6	1.4	0.40	458.5	1.5	0.50	380.0	1.7	0.25
1,776.1	Twisting	1,368.7	1.3	0.4	941.1	1.2	0.82	878.0	1.0	0.53	979.0	1.3	0.75	1,938.5	3.7	0.06
1,914.6	Bending	2,990.9	1.3	0.99	1,657.6	1.5	0.01	1,568.9	1.2	1.21	835.0	0.9	0.83	824.1	0.9	0.98
2,474.4	Bending	951.0	5.3	0.86	1,450.4	1.5	0.55	1,749.2	1.5	1.47	2,690.4	3.9	0.59	3,305.1	5.3	0.67

[0095]

[0096] 상기 표 4를 참조하면, 등방성 소재 시편(SS275)을 기준으로 5개의 각 모드에 대한 유사 모드가 반드시 모드 신뢰 기준값(MAC)이 유사성을 보이는 것은 아님을 확인할 수 있다. 또한 등방성 소재 시편(SS275)의 3차 굽힘 모드(2,474 Hz)와 유사한 유사 모드를 살펴보면, 첫번째 탄소복합소재 시편(Specimen 1, $\theta=0^\circ$)에서 가장 낮은 공진점(951.0 Hz)을 가지는 1차 모드와 유사함을 확인할 수 있다. 즉, 등방성 소재 시편의 5번째 모드(3차 굽힘 모드(2,474 Hz))가 이방성의 탄소복합소재 시편에서는 1번째 모드로 모드 변화가 급격하게 나타날 수 있다. 도 5의 모드 형상을 참조하면, 이는 탄소섬유의 방향 값(θ)이 작은 경우, Y축 방향으로 매우 취약한 강성을 보이는 때문이다.

[0097] 상기와 같이 이방성 소재에서 모드 변화를 보다 정확하게 분석하기 위해서는 모드 형상 정보인 모드 신뢰 기준

값(MAC) 이외에 공진점, 모달 감쇠 계수도 동시에 고려하는 것이 필요하며, 많은 수의 모드들을 관측하는 것이 바람직하다.

- [0099] 도 7은 탄소섬유의 방향이 증가함에 따라 모드(굽힘 모드, 비틀림 모드)에 따른 공진점의 변화를 나타내는 도면이고, 도 8은 탄소섬유의 방향이 증가함에 따라 모드(굽힘 모드, 비틀림 모드)에 따른 모달 감쇠 계수의 변화를 나타내는 도면이다.
- [0100] 도 7의 (a)를 참조하면, 공진점의 경우, 굽힘 모드를 기준으로 1차 굽힘 모드($\ominus$)와 2차 굽힘 모드($\equiv$)는 탄소섬유 방향 값(θ)이 증가함에 따라 공진점의 주파수가 작아지고 있으며, 이와 반대로 3차 굽힘 모드($\times$)는 공진점의 주파수가 증가하고 있음을 확인할 수 있다.
- [0101] 도 7의 (b)를 참조하면, 공진점의 경우, 비틀림 모드를 기준으로 모드에 따라서 공진점이 서로 다른 경향을 보여주고 있는 것을 확인할 수 있다. 1차 비틀림 모드($\ominus$)의 경우, 탄소섬유 방향 값(θ)이 45° 인 경우(Specimen 3)를 최저점으로 하여 탄소섬유 방향 값(θ)이 증가하거나 감소하면서 공진점의 주파수가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 반면, 2차 비틀림 모드($\equiv$)의 경우, 탄소섬유 방향 값(θ)이 증가함에 따라 공진점의 주파수가 계속적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다.
- [0102] 모달 감쇠 계수의 경우, 도 7의 공진점의 경우와 달리 뚜렷한 경향성을 확인하기 어렵다. 도 8의 (a)를 참조하면, 1차 굽힘 모드($\ominus$)와 2차 굽힘 모드($\equiv$)는 탄소섬유 방향 값(θ)이 30° 인 경우(Specimen 2)까지는 모달 감쇠 계수가 다소 증가하다가 탄소섬유 방향 값(θ)이 증가하면서 모달 감쇠 계수가 줄어드는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 3차 굽힘 모드($\times$)는 탄소섬유 방향 값(θ)이 30° , 45° 인 경우(Specimen 2, Specimen 3)에서 모달 감쇠 계수가 줄어들다가 탄소섬유 방향 값(θ)이 더 증가한 60° , 90° 인 경우(Specimen 4, Specimen 5)에서 모달 감쇠 계수가 다시 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0103] 도 8의 (a)를 참조하면, 2개의 비틀림 모드가 비슷한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 있는데, 1차 비틀림 모드($\ominus$)와 2차 비틀림 모드($\equiv$)의 경우, 탄소섬유 방향 값(θ)이 45° 인 경우(Specimen 3)에서 모달 감쇠 계수가 가장 낮으며, 45° 를 기준으로 탄소섬유 방향 값(θ)이 증가하거나 감소하면서 모달 감쇠 계수가 커지는 것을 확인할 수 있다.
- [0105] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법을 설명하는 흐름도이다.
- [0106] 도 9를 참조하면, 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 가진기(120)를 통해 등방성 소재 시편의 일측에 기설정된 제1 패턴의 물리적 힘을 가진하고(단계 S910), 센서(130)를 통해 등방성 소재 시편의 기 설정된 위치에서 물리적 힘에 의해 생성된 진동 신호를 수집한다(단계 S920).
- [0107] 모드 변화 분석부(140)는 등방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 등방성 소재 시편에서 측정된 신호를 모달 분석하여, 등방성 소재 시편에 대한 제1 모달 파라미터(M개의 모드, 상기 각 모드별 제1 공진점 및 상기 각 제1 공진점별 제1 감쇠 계수를 포함)를 획득한다(단계 S930).
- [0108] 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 가진기(120)를 통해 이방성 소재 시편의 일측에 기설정된 제2 패턴의 물리적 힘을 가진하고(단계 S940), 센서(130)를 통해 이방성 소재 시편의 기 설정된 위치에서 물리적 힘에 의해 생성된 진동 신호를 수집한다(단계 S950).
- [0109] 모드 변화 분석부(140)는 이방성 소재 시편에 가해진 물리적 힘과 이방성 소재 시편에서 측정된 신호를 모달 분석하여, 이방성 소재 시편에 대한 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 상기 각 모드별 제2 공진점 및 상기 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득한다(단계 S960).
- [0110] 일 실시예에서, 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 등방성 소재 시편과 동일한 경계 상태 조건에서 다시 이방성 소재 시편에 물리적 힘을 가하여 이방성 소재 시편에 대한 제2 모달 파라미터(N개의 모드, 각 모드별 제2 공진점 및 각 제2 공진점별 제2 감쇠 계수를 포함)를 획득할 수 있다. 일 실시예에서, 동적 모드 변화 분석 장치(100)는 탄소섬유 방향이 다른 복수의 탄소복합소재 각각에 대해 각각 제2 모달 파라미터를 획득할 수 있다.
- [0111] 모드 변화 분석부(140)는 제1 모달 파라미터와 제2 모달 파라미터들을 이용하여, 이방성 소재 시편에 대한 각

모드(N개의 모드)별 모드 신뢰 기준값(MAC: Modal Assurance Criterion)을 획득한다(단계 S970). 일 실시예에서, 모드 변화 분석부(140)는 탄소섬유 방향이 다른 복수의 탄소복합소재 각각에 대해 각각 모드 신뢰 기준값을 획득할 수 있다.

[0112] 모드 변화 분석부(140)는 등방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제1 공진점 및 제1 감쇠 계수와 상기 이방성 소재 시편에 대한 각 모드별 제2 공진점, 제2 감쇠 계수 및 모드 신뢰 기준값을 기초로, 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득한다(단계 S980). 일 실시예에서, 모드 변화 분석부(140)는 탄소섬유 방향이 다른 복수의 탄소복합소재 각각에 대해 각각 모드별로 유사 모드를 획득할 수 있다.

[0113] 등방성 소재 시편과 이방성 소재 시편에 대한 모달 파라미터를 획득하는 내용과 모드 신뢰 기준값을 획득하는 내용, 각 이방성 소재 시편의 각 모드별 유사 모드를 획득하는 내용은 상기 도 1 내지 도 8에서 설명한 바와 같다.

[0115] 도 1 내지 도 9을 통해 설명된 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치는, 컴퓨터에 의해 실행되는 애플리케이션이나 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수도 있다.

[0116] 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.

[0117] 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.

[0118] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치로 구현할 수 있다.

부호의 설명

[0119] 100 : 이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 장치

110 : 시편

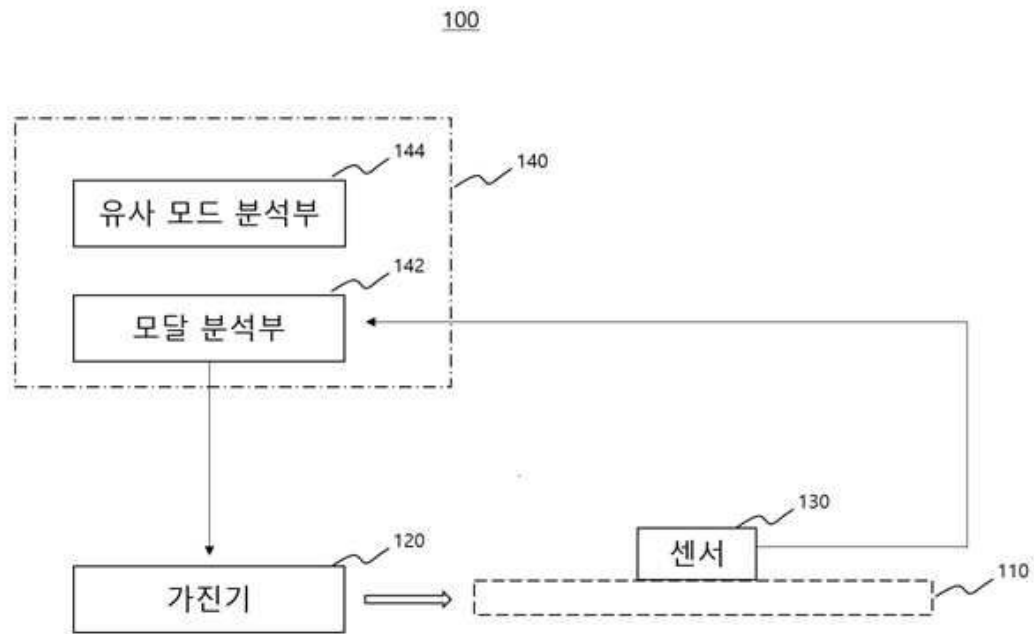
120 : 가진기

130 : 센서

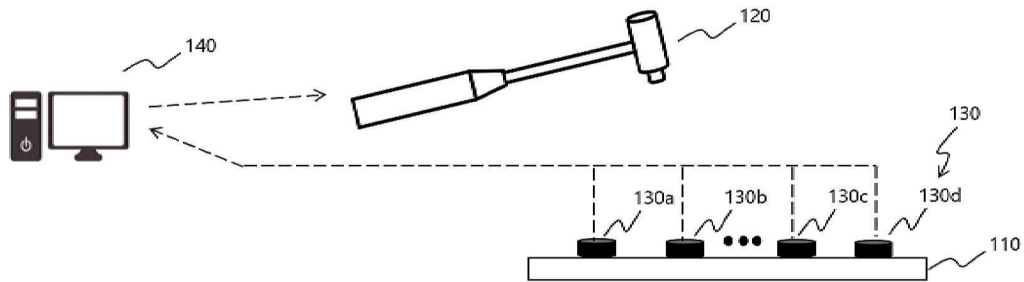
140 : 모드 변화 분석부

도면

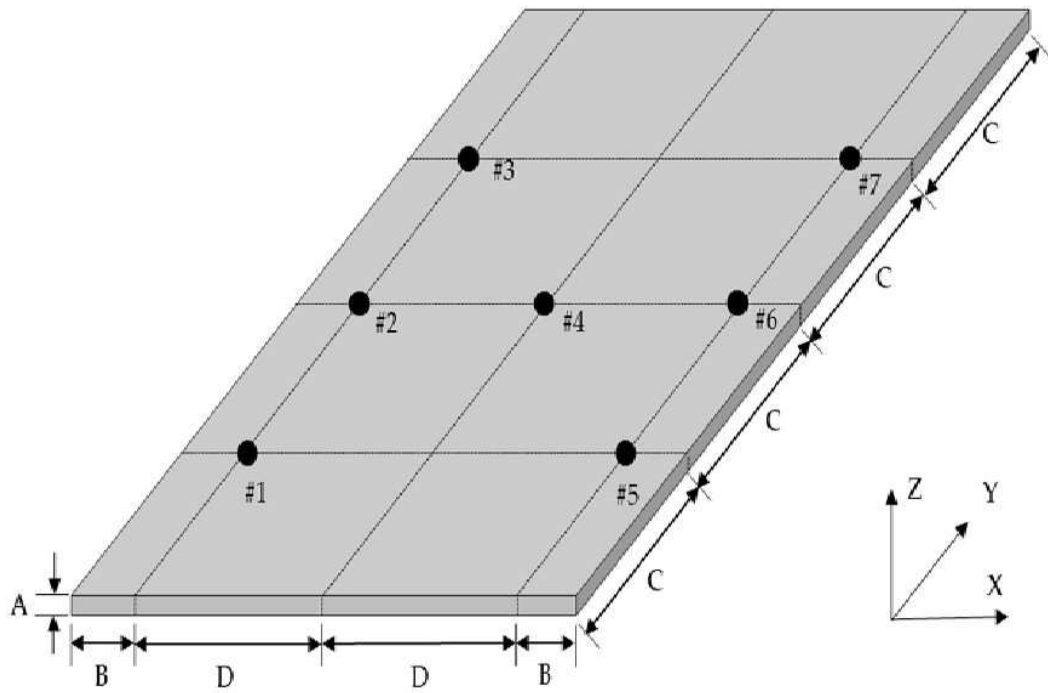
도면1



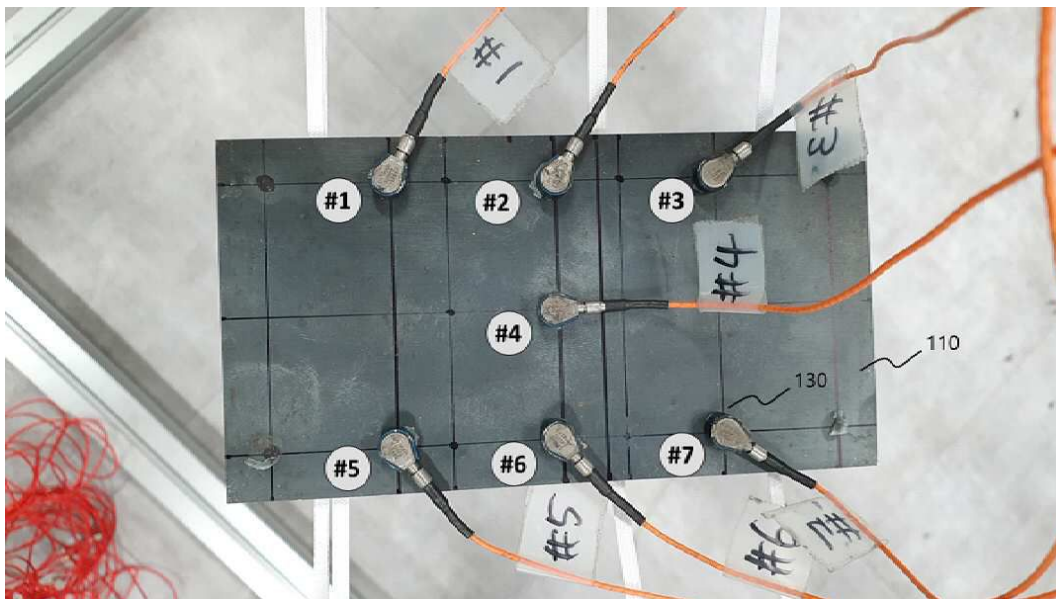
도면2



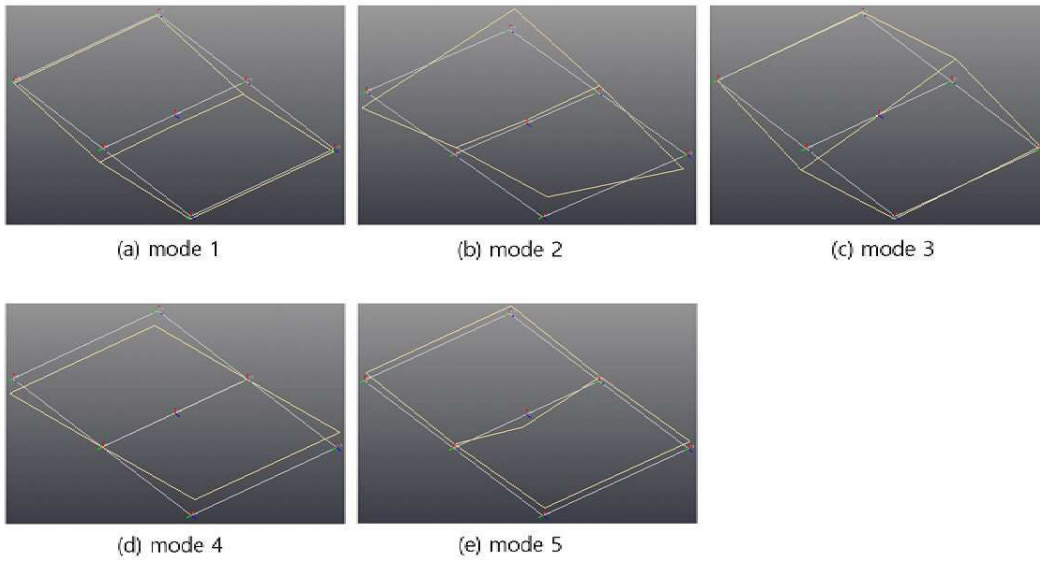
도면3a



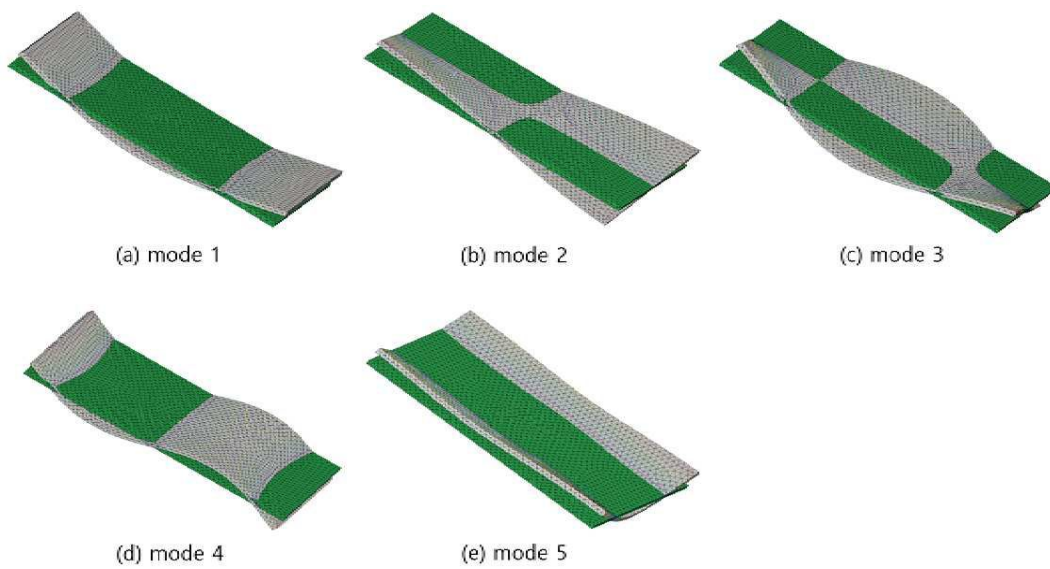
도면3b



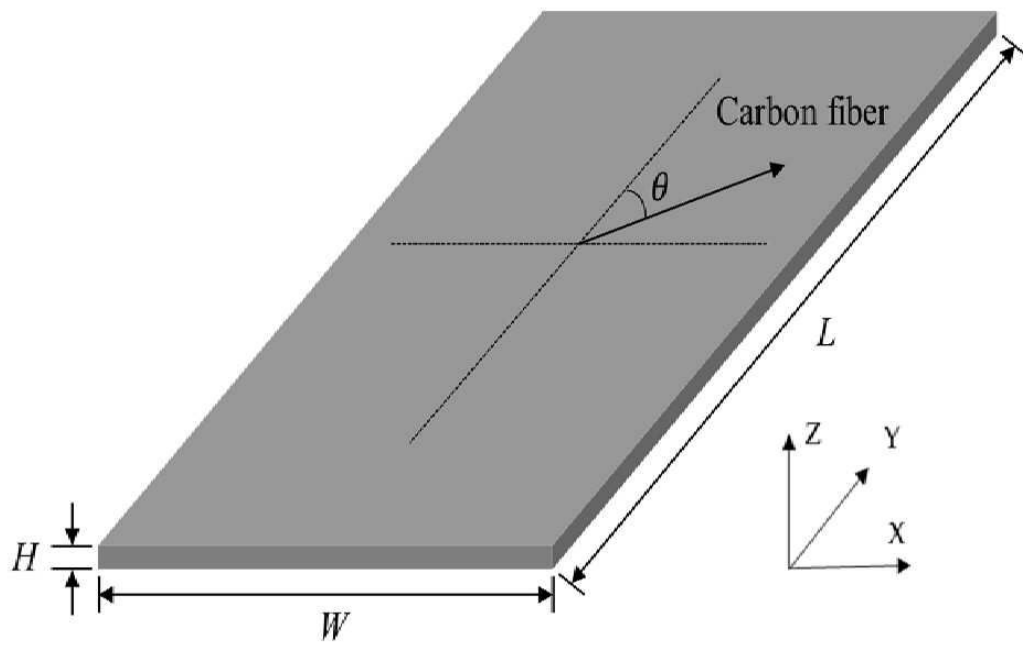
도면4



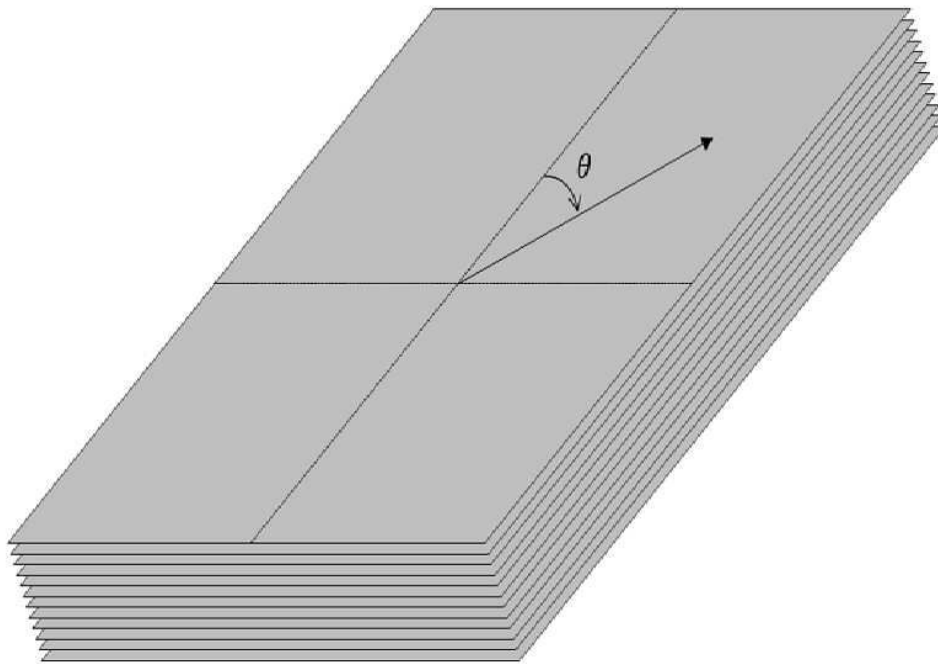
도면5



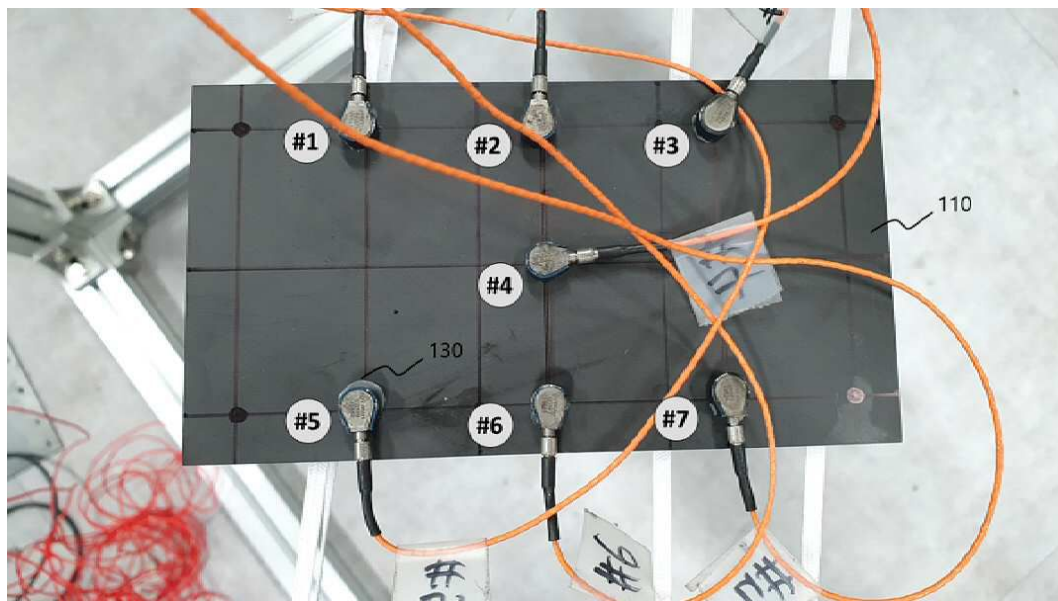
도면6a



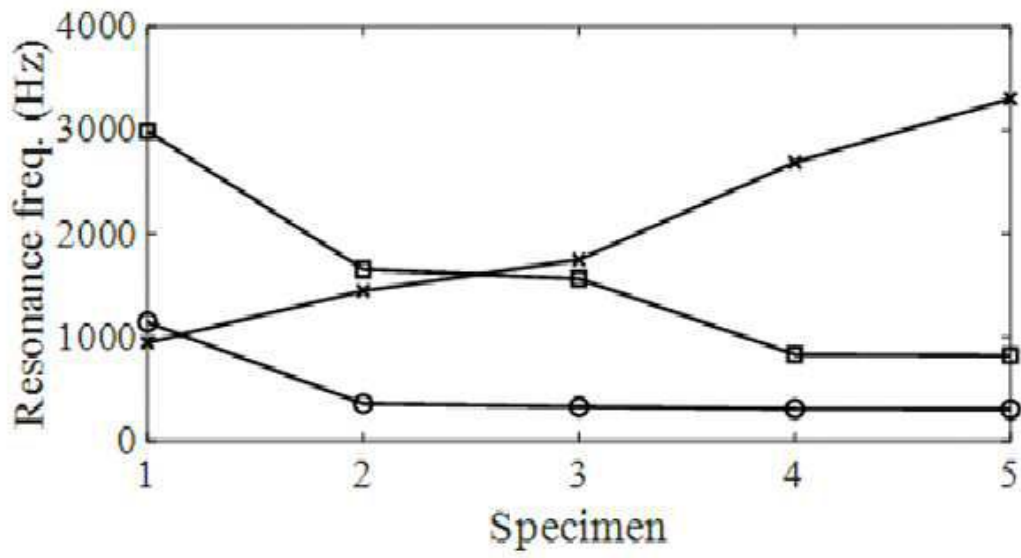
도면6b



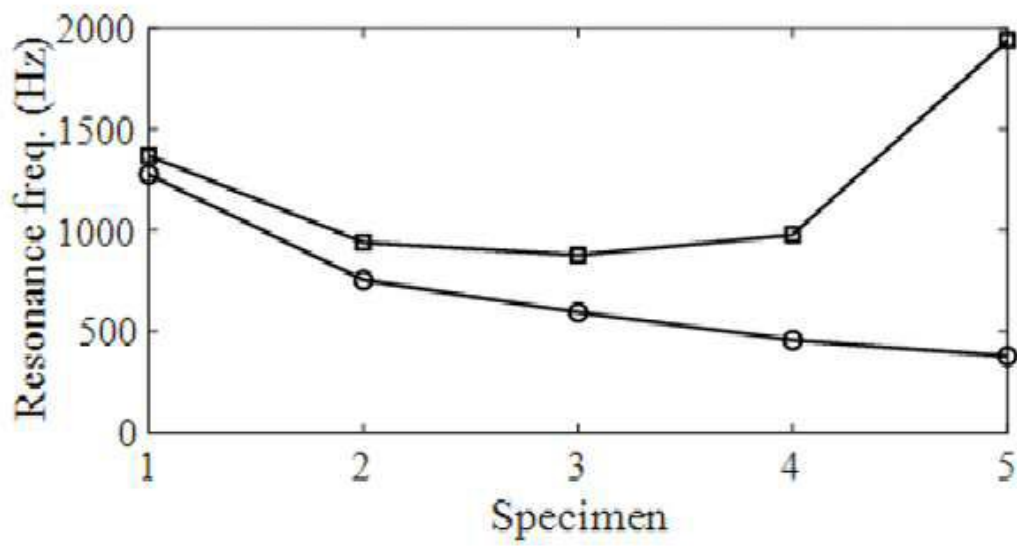
도면6c



도면7

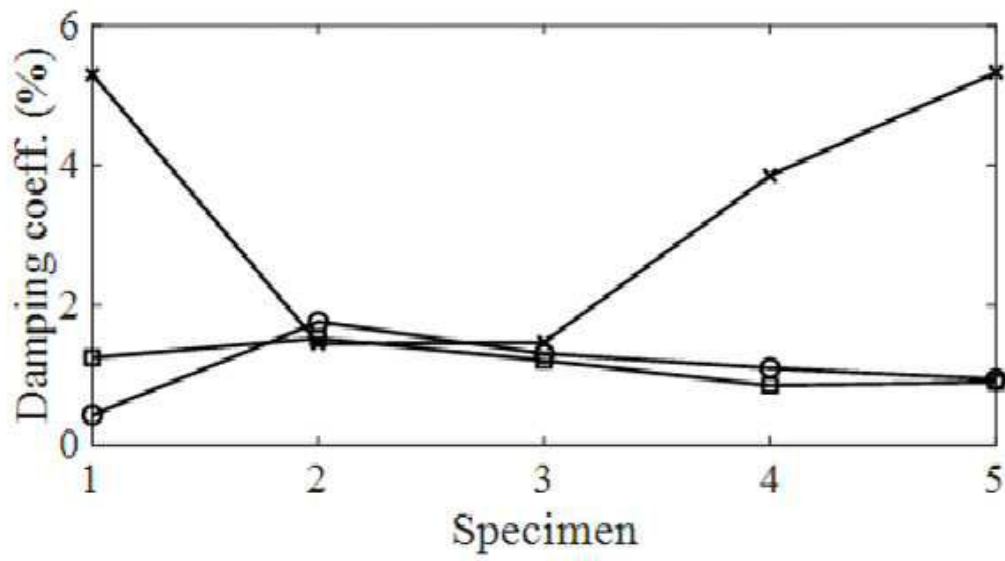


(a)

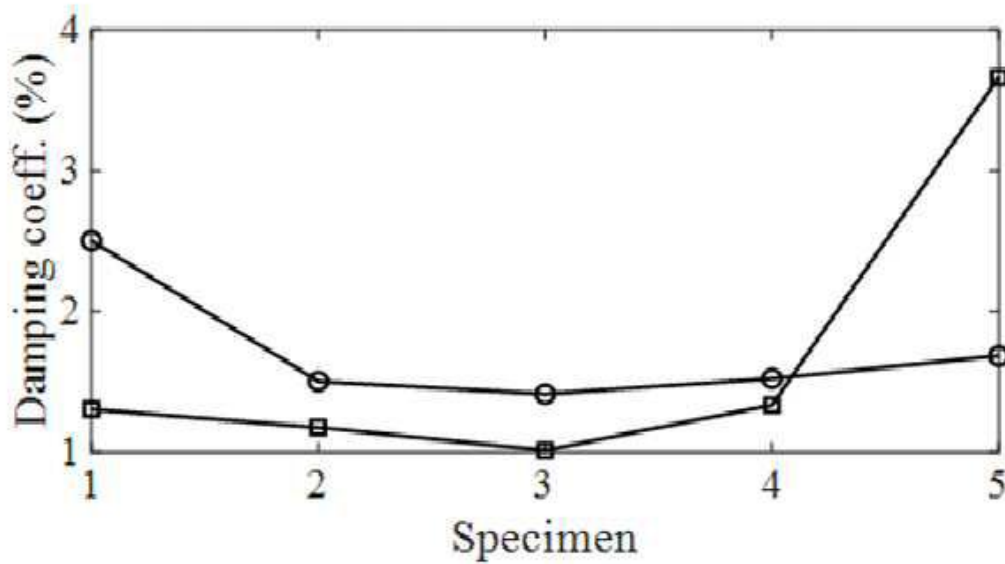


(b)

도면8



(a)



(b)

도면9

