(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년06월29일
(11) 등록번호 10-2414121
(24) 등록일자 2022년06월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 3/08 (2006.01) *G01N 1/28* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 3/08 (2013.01)
G01N 1/28 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0056558
(22) 출원일자 2021년04월30일
심사청구일자 2021년04월30일
(56) 선행기술조사문헌
'탄소복합소재의 모드 추적 방법', 강호영 등, 대한기계학회 2021년 학술대회 논문집, 2021, 1719-1719
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
재단법인경북테크노파크
경상북도 경산시 삼풍로 27 (삼풍동)
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
강호영
경상북도 경산시 하양읍 지식산업5로 8
송영근
경상북도 경산시 하양읍 지식산업5로 8
김찬중
부산광역시 남구 용소로 45, 공학1관 610호
(74) 대리인
특허법인 티앤아이

전체 청구항 수 : 총 7 항 심사관 : 한별

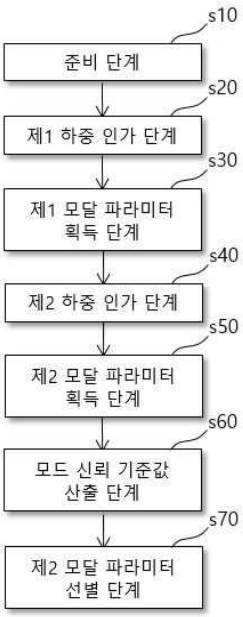
(54) 발명의 명칭 **이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법**

(57) 요 약

본 발명은 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법에 관한 것이다. 상기 방법은, (a) 등방성 소재 시편 및 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편을 준비하는 단계; (b) 상기 등방성 소재 시편에 제1 하중을 인가하는 단계; (c) 상기 등방성 소재 시편의 미리 정해진 K개의 제1 지점에서, M개의 모드별로 복수의 제1 공진점 및

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



상기 각각의 제1 공진점별로 계산된 복수의 제1 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제1 모달 파라미터를 획득하는 단계; (d) 상기 탄소복합소재 시편에 제2 하중을 인가하는 단계; (e) 상기 각 제1 지점과 대응하는 위치로 정해진 상기 탄소복합소재 시편의 K개의 제2 지점에서, N개의 모드별로 복수의 제2 공진점 및 상기 각각의 제2 공진점별로 계산된 복수의 제2 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제2 모달 파라미터를 획득하는 단계; (f) 상기 제1 및 제2 모달 파라미터들을 이용하여, 상기 탄소복합소재 시편의 모드 신뢰 기준값들(MAC: Modal Assurance Criterion)을 계산하는 단계; 및 (g) 상기 복수의 제2 모달 파라미터 중, 상기 모드 신뢰 기준값이 제1 값 미만인 제2 모달 파라미터들을 제거하는 단계를 포함할 수 있다.

(56) 선행기술조사문헌

'가진 패턴에 따른 탄소복합 시편의 응답', 강호영 등, 대한기계학회2019년 학술대회 논문집, 2019, 2018-2018

'탄소복합소재(CFRP) 적층 섬유구조에 따른 동적 응답특성 비교', 강호영 등, 대한기계학회 창립 70주년 기념 학술대회, 2015, 1746-1751

'적층 방향을 고려한 탄소복합소재 감쇠계수 측정', 강호영 등, 한국소음진동공학회 2018년도 춘계 학술대회 논문집, 2018, 161-161

JP2014209116 A

JP11101784 A

JP2018162383 A

KR1020150141889 A

DE102005058582 A1

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415169396
과제번호	10083623
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	탄소산업기반조성-탄소산업클러스터조성사업기술개발사업
연구과제명	탄소소재/중간재/응용부품 특성평가 표준화 및 신뢰성 인증
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(재)경북테크노파크
연구기간	2017.10.01 ~ 2022.06.30

공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

(a) 등방성 소재 시편 및 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편을 준비하는 단계;

(b) 상기 등방성 소재 시편에 제1 하중을 인가하는 단계;

(c) 상기 등방성 소재 시편의 미리 정해진 2 이상의 K개의 제1 지점에서, M개의 모드별로 복수의 제1 공진점 및 상기 각각의 제1 공진점별로 계산된 복수의 제1 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제1 모달 파라미터를 획득하는 단계;

(d) 상기 탄소복합소재 시편에 제2 하중을 인가하는 단계;

(e) 상기 각 제1 지점과 대응하는 위치로 정해진 상기 탄소복합소재 시편의 2 이상의 K개의 제2 지점에서, N개의 모드별로 복수의 제2 공진점 및 상기 각각의 제2 공진점별로 계산된 복수의 제2 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제2 모달 파라미터를 획득하는 단계;

(f) 상기 제1 및 제2 모달 파라미터들을 이용하여, 상기 탄소복합소재 시편의 모드 신뢰 기준값들(MAC: Modal Assurance Criterion)을 계산하는 단계; 및

(g) 상기 복수의 제2 모달 파라미터 중, 상기 모드 신뢰 기준값이 제1 값 미만인 제2 모달 파라미터들을 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 등방성 소재 시편과 상기 탄소복합소재 시편은 동일한 형상으로 형성되며, 상기 제2 하중은 상기 제1 하중과 동일한 하중으로 인가되는 것을 특징으로 하는, 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (f) 단계에서, 상기 모드 신뢰 기준값들은 상기 등방성 소재 시편의 M개의 모드 각각과 상기 탄소복합소재 시편의 N개의 모드 간에 교차 계산되는 것을 특징으로 하는, 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 (f) 단계와 상기 (g) 단계 사이에,

상기 등방성 소재 시편의 M개의 모드들 중, 상기 모드 신뢰 기준값이 상기 제1 값보다 작은 제2 값 이하인 모드들을 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 모드 신뢰 기준값의 제1 값은 0.8인 것을 특징으로 하는, 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 모드 신뢰 기준값의 제2 값은 0.3인 것을 특징으로 하는, 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 (g) 단계는, 상기 복수의 제2 모달 파라미터 중, 탄소섬유 배향이 0° 내지 45° 인 상기 탄소복합소재 시편의 제2 모달 파라미터들을 추가로 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[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 한다. 그리고 그렇지 않은 물질을 이방성 물질(Anisotropic)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 없었다. 그러나, 탄소복합소재 시편의 경우에는 탄소섬유에 따라 이방성을 가진 재료의 특성으로 인해 동적 특성이 달라지기 때문에 모달 시험 결과인 공진점과 모드 형상에 변화가 생기게 된다. 따라서, 이방성에 따라 식별된 공진점이나 모드 형상 정보의 순서들에서 오류가 나오는 경우가 발생하였다. 한편, 등록특허 제10-2108653호에는 토우 프리프레그 물성 평가 시험 시편 제작 장치가 개시되어 있다. 이와 같이, 종래에는 탄소복합소재 시편을 시험하는 장치의 관점에서 주로 연구되었을 뿐, 탄소복합소재 시편의 모드 정보를 어떠한 방식으로 획득하는지에 관한 연구는 미비한 실정이다.

[0006] 이에, 모달 시험을 통해 식별된 탄소복합소재 시편의 모달 파라미터(공진점, 감쇠 계수)에 대한 신뢰성 높은 모드 정보를 획득하는 방법이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 등록특허 제10-2108653호(2020.05.08 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 등방성 소재 시편과 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편 각각의 모달 파라미터를 이용하여, 탄소복합소재 시편의 모드 신뢰 기준값들(MAC: Modal Assurance Criterion)을 계산함으로써, 탄소복합소재 시편의 모드 정보를 획득하기 위한, 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 위와 같은 과제를 해결하기 위한 본 발명은 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 정보 획득 방법에 관한 것이다. 상기 방법은, (a) 등방성 소재 시편 및 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편을 준비하는 단계; (b) 상기 등방성 소재 시편에 제1 하중을 인가하는 단계; (c) 상기 등방성 소재 시편의 미리 정해진 2 이상의 K개의 제1 지점에서, M개의 모드별로 복수의 제1 공진점 및 상기 각각의 제1 공진점별로 계산된 복수의 제1 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제1 모달 파라미터를 획득하는 단계; (d) 상기 탄소복합소재 시편에 제2 하중을 인가하는 단계; (e) 상기 각 제1 지점과 대응하는 위치로 정해진 상기 탄소복합소재 시편의 2 이상의 K개의 제2 지점에서, N개의 모드별로 복수의 제2 공진점 및 상기 각각의 제2 공진점별로 계산된 복수의 제2 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제2 모달 파라미터를 획득하는 단계; (f) 상기 제1 및 제2 모달 파라미터들을 이용하여, 상기 탄소복합소재 시편의 모드 신뢰 기준값들(MAC: Modal Assurance Criterion)을 계산하는 단계; 및 (g) 상기 복수의 제2 모달 파라미터 중, 상기 모드 신뢰 기준값이 제1 값 미만인 제2 모달 파라미터들을 제거하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 등방성 소재 시편과 상기 탄소복합소재 시편은 동일한 형상으로 형성되며, 상기 제2 하중은 상기 제1 하중과 동일한 하중으로 인가될 수 있다.

[0011] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 (f) 단계에서, 상기 모드 신뢰 기준값들은 상기 등방성 소재 시편의 M개의 모드 각각과 상기 탄소복합소재 시편의 N개의 모드 간에 교차 계산될 수 있다.

[0012] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 (f) 단계와 상기 (g) 단계 사이에, 상기 등방성 소재 시편의 M개의 모드들 중, 상기 모드 신뢰 기준값이 상기 제1 값보다 작은 제2 값 이하인 모드들을 제거하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 모드 신뢰 기준값의 제1 값은 0.8일 수 있다.

[0014] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 모드 신뢰 기준값의 제2 값은 0.3일 수 있다.

[0015] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 (g) 단계는, 상기 복수의 제2 모달 파라미터 중, 탄소섬유 배향이 0° 내지 45° 인 상기 탄소복합소재 시편의 제2 모달 파라미터들을 추가로 제거하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따르면, 등방성 소재 시편의 모달 형상 벡터들과의 유사성을 나타내는 모드 신뢰 기준값(MAC)을 통해, 측정된 탄소복합소재 시편의 모달 파라미터들 중 신뢰성 있는 모달 파라미터들을 선별할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명에 따른 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 획득 방법의 각 단계를 도시한 순서도이다.

도 2의 (a), (b)는 본 발명에 따른 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 획득 방법에 사용되는 등방성 소재 시편과 이방성 소재를 각각 도시한 개략도이다.

도 3은 도 2의 (a)의 등방성 소재 시편인 실험용 시편 및 상기 실험용 시편에 가속도 센서가 부착된 상태를 도시한 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용을 설명한다. 그리고 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.

[0020] 도 1은 본 발명에 따른 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 획득 방법의 각 단계를 도시한 순서도이다. 도 2의 (a), (b)는 본 발명에 따른 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 획득 방법에 사용되는 등방성 소재 시편과 이방성 소재를 각각 도시한 개략도이다.

[0021] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편의 모드 획득 방법은 준비 단계(s10), 제1 하중 인가 단계(s20), 제1 모달 파라미터 획득 단계(s30), 제2 하중 인가 단계(s40), 제2 모달 파라미터 획득 단계(s50), 및 모드 신뢰 기준값 산출 단계(s60), 및 제2 모달 파라미터 선별 단계(s70)를 포함한다.

[0022] 준비 단계(s10)는, 등방성 소재 시편(10) 및 이방성을 갖는 탄소복합소재 시편(20)를 준비하는 단계이다. 도 2의 (a)를 참조하면, 등방성 소재 시편(10)는 예를 들어 SUS304일 수 있으며, 두께 약 3㎜의 직사각형 형태의 시편으로 형성될 수 있다. 도 2의 (b)를 참조하면, 탄소복합소재 시편(20)는 예를 들어 USN250A(SK 케미칼, 한국)일 수 있으며, 두께 약 0.258㎜의 프리프레그 복합소재가 12겹으로 일방향(UD: Unidirectional)으로 적층된 두께 약 3㎜의 직사각형 형태의 시편으로 형성될 수 있다. 도 2의 (b)에서 Θ는 탄소복합소재 시편(20)의 탄소섬유 방향을 나타낸다. 탄소복합소재 시편(20)는 등방성 소재 시편(10)와 동일 형상의 구조물로 형성될 수 있다. 다만, 도 2의 (b)에서는 화살표로 나타낸 바와 같이 등방성 소재 시편(10)와 동일 두께를 갖는 탄소복합소재 시편(20)이 높이방향으로 펼쳐진 상태로 도시되어 있다.

[0023] 준비 단계(s10)에서, 탄소복합소재 시편(20)는 복수개로 준비되며, 각각의 탄소복합소재 시편(20)는 서로 다른 각도로 배향된 탄소섬유 방향을 갖도록 준비된다. 상기 탄소섬유 방향은 0°, 30°, 45°, 및 90° 중 적어도 2개 이상의 각도로 선택될 수 있다. 예를 들어, 각각의 탄소복합소재 시편(20)는 모재로부터 탄소섬유 방향에 따라 분리되어 다섯 방향(0°, 30°, 45°, 60°, 및 90°)을 갖도록 준비될 수 있다.

[0024] 본 발명은 이방성을 갖는 소재로 만들어진 구조물과 동일한 구조물 형태의 등방성 소재 시편의 구조물의 특성이 모드 형상 측면에서 크게 다르지 않다는 점에 착안하여, 모달 시험을 통해 식별된 모달 파라미터(공진점, 감쇠계수)에 대한 신뢰성 높은 정보를 획득할 수 있도록 설계된다.

[0025] 제1 하중 인가 단계(s20)는, 등방성 소재 시편(10)에 제1 하중을 인가하는 단계이다. 직사각형 시편으로 형성된 등방성 소재 시편(10)의 한쪽 끝으로부터 중심을 향해 약 40㎜만큼 연장된 클램핑 영역(11)을 지그로 단단히 고정한다. 그 다음, 임팩트 해머 또는 가진기(미도시)를 이용하여 등방성 소재 시편(10)의 상면 중 일측을 타격한다. 예를 들어, 임팩트 해머(5800B3/dytran)을 이용하여 도 2의 (a)에 표시된 등방성 소재 시편(10)의 #1 위치를 -Z축 방향으로 타격할 수 있다. 가속도 센서(30)는 등방성 소재 시편(10) 상의 미리 정해진 복수개의 지점의 가속도 데이터들을 획득한다. 상기 가속도 데이터들은 연산부(40)로 송신된다.

[0026] 제1 모달 파라미터 획득 단계(s30)는, 연산부(40)가 등방성 소재 시편(10)의 미리 정해진 2 이상의 K개의 제1 지점(12)에서, M개의 모드 형태별로 복수의 제1 공진점 및 상기 각각의 제1 공진점별로 계산된 복수의 제1 감쇠계수를 포함하는 복수의 제1 모달 파라미터를 획득하는 단계이다. 이로 인해, 등방성 소재 시편(10)의 구조물에 대한 동특성을 획득할 수 있다. 상기 K개의 제1 지점(12)은 인접하는 제1 지점(12) 사이가 일정 간격으로 이격되어 등방성 소재 시편(10) 상에서 균일하게 분포될 수 있다. 예를 들어, 제1 지점(12)은 도 2의 (a)에 도시된 바와 같이 일정 간격으로 이격된 #1 내지 #7의 7개의 지점으로 설정될 수 있다.

[0027] 도 3은 도 2의 (a)의 등방성 소재 시편인 실험용 시편 및 상기 실험용 시편에 가속도 센서가 부착된 상태를 도시한 사시도이다.

[0028] 도 3을 참조하면, 등방성 소재 시편(10)의 미리 정해진 K개의 제1 지점(12)에는 가속도 센서(30)가 부착된다. 가속도 센서(30)는 등방성 소재 시편(10)의 K개의 제1 지점(12)에서의 가속도 데이터들을 획득하며, 연산부(40)는 가속도 센서(30)로부터 상기 가속도 데이터들을 수신한다. 연산부(40)는 상기 K개의 제1 지점(12)에서의 가속도 데이터들을 이용하여, M개의 모드 형태별로 복수의 제1 공진점 및 상기 각각의 제1 공진점별로 계산된 복수의 제1 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제1 모달 파라미터를 획득한다. 한편, 등방성 소재 시편(10)의 M개의 모드 형태는 굽힘 모드(Bending mode) 및 비틀림 모드(Twisting mode)를 포함한다. 이때, 등방성 소재 시편(10)의 상기 제1 모달 파라미터는 상기 굽힘 모드와 상기 비틀림 모드가 교차 반복되는 M개의 모드 형태별로 획득된다(하기 '표 1' 참조).

[0029] 제2 하중 인가 단계(s40)는, 탄소복합소재 시편(20)에 제2 하중을 인가하는 단계이다. 직사각형 시편으로 형성된 탄소복합소재 시편(20)의 한쪽 끝으로부터 중심을 향해 약 40mm만큼 연장된 클램핑 영역(미도시)을 지그로 단단히 고정한다. 그 다음, 임팩트 해머 또는 가진기(미도시)를 이용하여 탄소복합소재 시편(20)의 상면 중 일측을 타격한다. 예를 들어, 임팩트 해머(5800B3/dytran)을 이용하여 도 2의 (a)에 표시된 등방성 소재 시편(10)의 #1 위치에 대응되는 탄소복합소재 시편(20)의 위치를 -Z축 방향으로 타격할 수 있다. 탄소복합소재 시편(20)에 가해지는 제2 하중은, 등방성 소재 시편(10)에 가해지는 제1 하중과 동일한 하중으로 인가될 수 있다. 가속도 센서(30)는 탄소복합소재 시편(20) 상의 미리 정해진 복수개의 지점의 가속도 데이터들을 획득한다. 상기 가속도 데이터들은 연산부(40)로 송신된다.

[0030] 제2 모달 파라미터 획득 단계(s50)는, 연산부(40)가 등방성 소재 시편(10)의 상기 각 제1 지점(12)과 대응하는 위치로 정해진 탄소복합소재 시편(20)의 2 이상의 K개의 제2 지점(미도시)에서, N개의 모드 형태별로 복수의 제2 공진점 및 상기 각각의 제2 공진점별로 계산된 복수의 제2 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제2 모달 파라미터를 획득하는 단계이다. 등방성 소재 시편(10)는 탄소복합소재 시편(20)와 동일한 형상의 시편으로 형성될 수 있으며, 등방성 소재 시편(10)의 제1 지점들(12)과 탄소복합소재 시편의 상기 제2 지점들은 시편상의 동일한 위치로 설정될 수 있다. 한편, 탄소복합소재 시편(20)의 모드 형태의 수 N은 등방성 소재 시편(10)의 모드 형태의 수 M은 동일 값을 가질 수 있으며, 또는 어느 하나의 값이 크게 설계될 수 있다.

[0031] 탄소복합소재 시편(20)의 상기 K개의 제2 지점에는 가속도 센서(30)가 부착된다. 가속도 센서(30)는 탄소복합소재 시편(20)의 상기 K개의 제2 지점에서의 가속도 데이터들을 획득하며, 연산부(40)는 가속도 센서(30)로부터 상기 가속도 데이터들을 수신한다. 연산부(40)는 상기 K개의 제2 지점에서의 가속도 데이터들을 이용하여, N개의 모드 형태별로 복수의 제2 공진점 및 상기 각각의 제2 공진점별로 계산된 복수의 제2 감쇠 계수를 포함하는 복수의 제2 모달 파라미터를 획득한다. 한편, 탄소복합소재 시편(20)의 N개의 모드 형태는 굽힘 모드 및 비틀림 모드를 포함한다. 이때, 탄소복합소재 시편(20)의 상기 제2 모달 파라미터는 상기 굽힘 모드와 상기 비틀림 모드가 교대로 반복되는 N개의 모드 형태별로 획득된다(하기 '표 1' 참조).

[0032] 모드 신뢰 기준값 산출 단계(s60)는, 연산부(40)가 상기 제1 및 제2 모달 파라미터들을 이용하여, 등방성 소재 시편(10)에 대한 탄소복합소재 시편(20)의 모드 신뢰 기준값들(MAC: Modal Assurance Criterion)을 계산하는 단계이다. 모드 신뢰 기준값 산출 단계(s60)에서, 상기 모드 신뢰 기준값들은 등방성 소재 시편(10)의 M개의 모드 각각과 탄소복합소재 시편(20)의 N개의 모드 간에 교차 계산될 수 있다.

[0033] 상세하게는, 상기 모드 신뢰 기준값은 등방성 소재 시편(10)의 M개의 모드 형태 중 i번째($1 \le i \le M$) 모드 형태에서의 제1 모달 파라미터와, 탄소복합소재 시편(20)의 N개의 모드 형태 중 j번째($1 \le j \le N$) 모드 형태에서의 제2 모달 파라미터를 매칭하기 위해, 각각의 모달 파라미터에 대응하는 모드 형상 벡터 정보들의 직교성을 활용하여 하기 수식 (1)의 MAC(i,j)를 산출한다. 여기에는, 기존에 알려진 모드 신뢰 기준값의 산출 방법이 적용될 수 있다.

[0034] $$MAC(i,j)=\frac{\left|(\psi_i)^T(\psi_j)^*\right|^2}{((\psi_i)^T(\psi_i)^*)((\psi_i)^T(\psi_i)^*)} \quad \text{(수식 1)}$$

[0035] 여기서, $(\psi_i)^T$, $(\psi_i)^*$는 i번째 모드 형상 ψ_i의 전치 행렬(transpose matrix), 및 켤레 행렬(conjugate matrix)을 각각 나타낸다. 또한, $(\psi_j)^T$, $(\psi_j)^*$는 j번째 모드 형상 ψ_j의 전치 행렬(transpose matrix), 및 켤레 행렬(conjugate matrix)을 각각 나타낸다.

[0036] 등방성 소재 시편(10)의 M개의 모드 형태 중 i번째($1 \le i \le M$) 모드 형태의 제1 모달 파라미터의 형상 벡터를 제1 모드 형상 벡터라 한다. 탄소복합소재 시편(20)의 N개의 모드 형태 중 j번째($1 \le j \le N$) 모드 형태에서의 제2 모달 파라미터의 형상 벡터를 제2 모드 형상 벡터라 한다. MAC(i,j)는 제1 모드 형상 벡터와 제2 모드 형상 벡터 간의 상관성을 나타낸다. MAC(i,j)가 클수록 상기 제1 모드 형상 벡터와 상기 제2 모드 형상 벡터 간의 상관성이 높다고 판단할 수 있다.

[0037] 제2 모달 파라미터 선별 단계(s70)는, 연산부(40)가 탄소복합소재 시편(20)의 상기 복수의 제2 모달 파라미터 중, 모드 신뢰 기준값이 제1 값 미만인 제2 모달 파라미터들을 제거하는 단계이다. 상기 모드 신뢰 기준값의 제1 값은 0.8로 설정될 수 있다. 모드 신뢰 기준값인 MAC(i,j)가 대략 0.8 이상의 값을 갖는 경우, 비교 대상인 등방성 소재 시편(10)와 탄소복합소재 시편(20)의 양쪽 모드 정보는 상관성이 높다고 판단할 수 있다.

[0038] 실험 결과를 나타낸 하기 2개의 표를 참조하여 이를 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0039] <표 1>

시편	공진 주파수(Hz)	모드 감쇠율(%)	모드 형태
탄소복합소재 제1 시편 (0° 탄소섬유 방향)	218.4	1.7	T
	254.7	2.4	B
	356.7	7.0	T
	1,103.6	2.4	B
	1,539.6	2.3	B
	1,708.8	0.4	T
탄소복합소재 제2 시편 (30° 탄소섬유 방향)	146.7	3.5	B
	404.6	8.0	T
	1,009.5	1.4	B
	1,143.8	2.0	T
	1,635.0	1.9	T
탄소복합소재 제3 시편 (45° 탄소섬유 방향)	109.2	4.9	B/T
	206.8	4.9	B
	411.6	1.4	T
	701.1	3.1	B
	1,103.2	0.7	T
탄소복합소재 제4 시편 (60° 탄소섬유 방향)	82.8	4.3	B/T
	186.1	4.9	B/T
	326.1	3.4	T
	535.8	1.5	B
	1,029.4	1.9	T
	1,501.5	2.1	B
	1,905.0	3.1	T
탄소복합소재 제5 시편 (90° 탄소섬유 방향)	75.5	5.7	B
	231.3	11.9	T
	499.8	0.9	B
	880.3	1.3	T
	1,364.4	1.6	B
	1,689.7	3.3	T
등방성 소재 시편	175.1	0.2	B
	578.3	1.1	T
	1,109.5	0.6	B
	1,927.8	0.5	T

[0040]

[0041] <표 2>

시편	공진 주파수(Hz)	모드 감쇠율(%)	모드 신뢰 기준값 (MAC)	모드 형태
탄소복합소재 제1 시편 (0° 탄소섬유 방향)	254.7	2.4	0.99	B
	356.7	7.0	0.99	T
	1,539.6	2.3	0.76	B
	1,708.8	0.4	0.88	T
탄소복합소재 제2 시편 (30° 탄소섬유 방향)	146.7	3.5	0.90	B
	404.6	8.0	0.83	T
	1,009.5	1.4	0.60	B
	1,143.8	2.0	0.53	T
	1,635.0	1.9	0.45	T
탄소복합소재 제3 시편 (45° 탄소섬유 방향)	109.2	4.9	0.75	B/T
	206.8	4.9	0.78	B
	411.6	1.4	0.53	T
	701.1	3.1	0.86	B
	1,103.2	0.7	0.82	T
탄소복합소재 제4 시편 (60° 탄소섬유 방향)	186.1	4.9	0.96	B
	326.1	3.4	0.93	T
	535.8	1.5	0.93	B
	1,029.4	1.9	0.90	T
탄소복합소재 제5 시편 (90° 탄소섬유 방향)	75.5	5.7	0.90	B
	231.3	11.9	0.91	T
	499.8	0.9	0.97	B
	880.3	1.3	0.99	T

[0042]

[0043] 상기 표 1 및 표 2에서, 모드 형태에서 B는 굽힘 모드, T는 비틀림 모드를 나타낸다. 상기 표 1을 참조하면, 본 실험에서는 0° , 30° , 45° , 60° , 및 90° 의 탄소섬유 방향을 갖는 5개의 탄소복합소재 시편(20)을 준비한다. 또한, 상기 각 탄소복합소재 시편(20)의 모드 정보와 비교 대상인 등방성 소재 시편(10)을 준비한다. 연산부(40)는 상기 각 탄소복합소재 시편(20)과 등방성 소재 시편(10)에서의 공진 주파수(Hz)와, 상기 공진 주파수(Hz)별 모드 감쇠율(%) 및 모드 형태를 획득한다. 등방성 소재 시편(10)의 결과로부터 2개의 굽힘 모드(B)와 2개의 비틀림 모드(T)가 2,000Hz까지의 주파수 대역에 존재함을 알 수 있다.

[0044] 이를 바탕으로, 연산부(40)는 5가지 방향성을 가진 탄소복합소재 시편에 대해 모드 신뢰 기준값(MAC)을 통해 상기 표 2의 결과를 도출할 수 있다. 이때, 등방성 소재 시편(10)는 공진 주파수의 상승에 따라, 각 공진점에서 굽힘 모드(B)- 비틀림 모드(T)- 굽힘 모드(B)- 비틀림 모드(T)가 반복되어 나타난다.

[0045] 한편, 모드 신뢰 기준값 산출 단계(s60)와 제2 모달 파라미터 선별 단계(s70) 사이에는, 모드 선별 단계(s65)가 추가로 수행될 수 있다.

[0046] 모드 선별 단계(s65)는, 등방성 소재 시편(10)의 M개의 모드들 중, 모드 신뢰 기준값(MAC)이 제2 모달 파라미터 선별 단계(s70)의 상기 제1 값보다 작은 제2 값 이하인 모드들을 제거하는 단계이다. 상기 제2 값은 0.3으로 설정될 수 있다. 이를 통해, 탄소복합소재 시편(20)의 각 모드들 중, 등방성 소재 시편(10)의 각 모드들과 비교하여 모드 신뢰 기준값(MAC)이 높은 모드들을 미리 선별할 수 있다. 상기 표 2를 참조하면, 상기 표 1의 탄소복합소재 시편(20)들의 초기 모달 파라미터들 중 일부 부분은 모드 신뢰 기준값(MAC)에서 등방성 소재 시편(10)의 모드 정보와 유사성이 떨어져 제외한 것을 볼 수 있다. 이를 통해, 상기 표 2에서 탄소복합소재 시편(20)의 대부분의 모드들이 비교적 높은 모드 신뢰 기준값(MAC)을 갖게 된다.

[0047] 이때, 제2 모달 파라미터 선별 단계(s70)는, 연산부(40)가 탄소복합소재 시편(20)의 상기 복수의 제2 모달 파라미터 중, 탄소섬유 배향이 0° 내지 45° 인 상기 탄소복합소재 시편의 제2 모달 파라미터들을 추가로 제거하는 단계(s71)를 포함할 수 있다.

[0048] 상기 표 2를 참조하면, 본 실험을 통해 탄소섬유 각도가 0° , 30° , 및 45° 인 탄소복합소재 시편(20)의 경우 이방성의 특성이 커서, 일부 모드들이 등방성 소재 시편(10)의 모드 형상 벡터와 유사성이 떨어지는 부분이 있음을 확인할 수 있으며, 탄소섬유 각도가 60° 및 90° 인 탄소복합소재 시편(20)의 경우, 등방성 소재 시편(10)

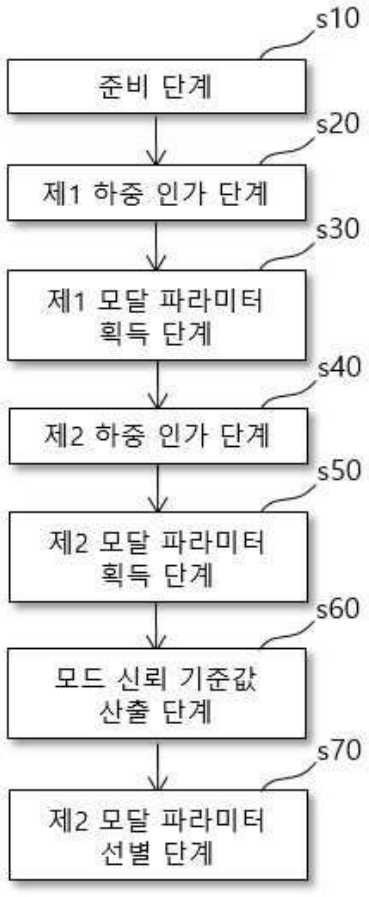
의 모드 형상 벡터와 유사성이 매우 커서 등방성의 특성과 유사함을 알 수 있다. 따라서, 탄소섬유 배향이 0° 내지 45° 인 상기 탄소복합소재 시편의 제2 모달 파라미터들을 추가로 제거함으로써, 탄소복합소재 시편(20)의 모달 파라미터들을 2차적으로 선별할 수 있다.

[0049] 만약 본 발명에 따른 방법을 사용하지 않을 경우, 탄소복합소재 시편(20)의 많은 모달 파라미터 값들 중에 어떤 모달 파라미터의 형상 벡터가 등방성 소재 시편(10)과 유사한지를 확인할 수 없다. 따라서, 이 경우에는 탄소복합소재 시편(20)의 모달 파라미터 값들 중, 신뢰성이 낮은 모달 파라미터 값들까지 고려할 수밖에 없다. 상기 문제점을 해결하기 위해, 본 발명에서는 등방성 소재 시편(10)의 모달 형상 벡터들과의 유사성을 나타내는 모드 신뢰 기준값(MAC)을 탄소복합소재 시편(20)의 각 모드에 대해 계산하며, 이를 통해 이방성을 갖는 탄소복합소재의 모드 정보를 획득함으로써 복수의 모달 파라미터들 중 신뢰성 있는 모달 파라미터들을 선별할 수 있게 된다.

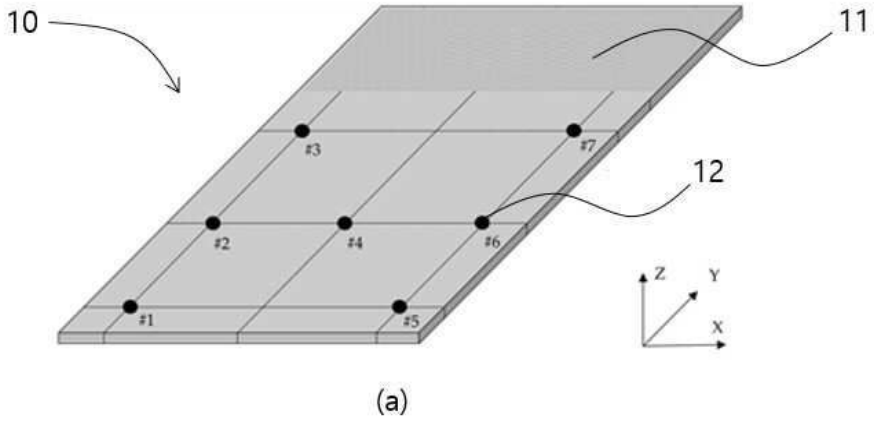
[0051] 이 분야의 보호범위가 이상에서 명시적으로 설명한 실시예의 기재와 표현에 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명이 속하는 기술분야에서 자명한 변경이나 치환으로 말미암아 본 발명의 보호범위가 제한될 수도 없음을 다시 한 번 첨언한다.

도면

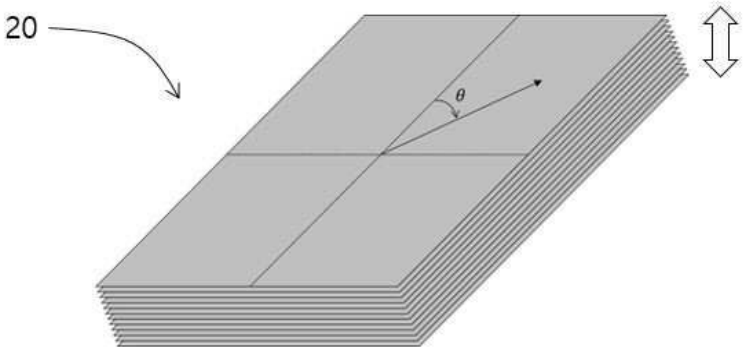
도면1



도면2



(a)



(b)

도면3

