(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0037232
(43) 공개일자 2023년03월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 29/11 (2006.01) *G01N 29/12* (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 29/11 (2013.01)
G01N 29/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0120284
(22) 출원일자 2021년09월09일
심사청구일자 2021년09월09일

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

전체 청구항 수 : 총 14 항

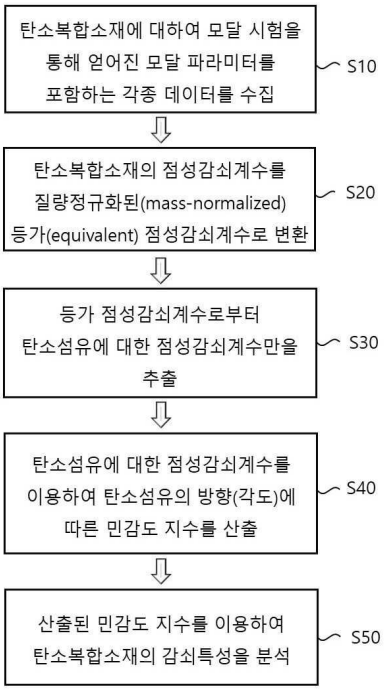
(54) 발명의 명칭 **탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템**

(57) 요 약

본 발명은 탄소복합소재(carbon composite material)의 감쇠특성(damping characteristic)을 분석하기 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따르면, 모달 감쇠비(modal damping ratio)를 이용하여 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석함으로 인해 정확한 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)의 변화를 나타낼 수 없고 민감도

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도7



분석 과정에서 오류가 발생하는 한계가 있었던 종래기술의 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법들의 문제점을 해결하기 위해, 탄소복합소재의 감쇠특성을 탄소섬유와 결합제 매트릭스(binding matrix)의 점성감쇠계수의 병렬조합으로 나타내고 탄소섬유의 방향에 따라 변화가 없는 결합제 매트릭스 관련 점성감쇠계수를 제거하여 탄소섬유의 점성감쇠계수만으로 탄소복합소재의 민감도 지수를 산출하도록 구성됨으로써, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템이 제공된다.

(52) CPC특허분류
G01N 29/4409 (2013.01)
G01N 29/4472 (2013.01)
G01N 29/449 (2013.01)
G01N 2291/015 (2013.01)
G01N 2291/0231 (2013.01)
G01N 2291/0235 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

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

명 세 서

청구범위

청구항 1

탄소섬유의 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)를 이용하여 탄소복합소재(carbon composite material)의 감쇠특성을 분석하기 위한 처리가 컴퓨터나 전용의 하드웨어에 의해 수행되도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법에 있어서,

상기 처리는,

분석대상의 탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 측정된 각각의 모달 파라미터를 포함하는 각종 데이터를 수집하는 처리가 수행되는 데이터 수집단계;

상기 데이터 수집단계에서 수집된 상기 탄소복합소재의 점성감쇠계수 값을 질량정규화된(mass-normalized) 등가(equivalent) 점성감쇠계수로 변환하는 처리가 수행되는 변환단계;

상기 변환단계에서 정의된 상기 등가 점성감쇠계수로부터 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수만을 추출하는 처리가 수행되는 추출단계;

상기 추출단계에서 추출된 상기 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수를 이용하여 탄소섬유의 방향(각도)에 따른 민감도(sensitivity) 지수를 산출하는 민감도 지수 산출단계; 및

상기 민감도 지수 산출단계를 통해 산출된 상기 민감도 지수에 근거하여 상기 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되는 분석단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 데이터 수집단계는,

모달 시험을 통해 미리 정해진 기준각도(reference angle)와 미리 정해진 임의의 각도(Θ)에서 상기 탄소복합소재의 점성감쇠계수에 대한 측정을 행하여 측정된 값을 각각 수집하거나,

또는, 상기 탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 미리 측정된 탄소섬유 각도에 따른 상기 탄소복합소재의 점성감쇠계수 값들을 별도의 입력수단을 통해 입력받는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 변환단계는,

이하의 수학식을 이용하여, 탄소섬유의 미리 정해진 기준각도와 미리 정해진 임의의 각도(Θ)에 대하여 상기 탄소복합소재의 점성감쇠계수를 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수와 결합제 매트릭스(binding matrix)에 대한 점성감쇠계수의 병렬 조합으로 이루어지는 등가 점성감쇠계수로 나타내는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법.

$$\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} = \frac{1}{\overline{c}_{F0,i}} + \frac{1}{\overline{c}_{M0,i}}$$

$$\frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta)} = \frac{1}{\overline{c}_{F,i}(\theta)} + \frac{1}{\overline{c}_{M0,i}}$$

(여기서, $\overline{c}_{def,i}$, $\overline{c}_{F0,i}$ 및 $\overline{c}_{M0,i}$ 는 각각 i번째 모드에서 탄소섬유 각도가 0도인 탄소복합소재, 탄소섬유 및 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수를 나타내고, $\overline{c}_{eq,i}(\theta)$ 및 $\overline{c}_{F,i}(\theta)$ 는 각각 i번째 모드에서 탄소섬유 각도가 Θ인 탄소복합소재 및 탄소섬유의 점성감쇠계수를 각각 나타냄)

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 병합단계는,

이하의 수학식을 이용하여, 상기 변환단계에서 정의된 상기 등가 점성감쇠계수에서 결합제 매트릭스에 대한 점성감쇠계수를 소거하여 하나의 수학식으로 병합하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법.

$$\left(1 - \frac{\overline{c}_{F0,i}}{\overline{c}_{F,i}(\theta)}\right) = \overline{c}_{F0,i}\left(\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} - \frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta)}\right)$$

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 민감도 지수 산출단계는,

이하의 수학식을 이용하여 각각의 모드별로 탄소섬유의 각도(Θ)에 따른 민감도 지수를 산출하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법.

$$I_{F,i}(\theta_k) = \frac{\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} - \frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta_k)}}{\mathrm{norm}\left\{\sum_{k=1}^{N}\left[\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} - \frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta_k)}\right]\right\}}$$

(여기서, N은 탄소섬유 각도가 증가된 횟수(number of times)를 의미함)

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 분석단계는,

상기 민감도 지수 산출단계를 통해 탄소섬유의 각도에 따라 각각의 모드별로 산출된 민감도 지수 및 탄소섬유의 각도에 따른 점성감쇠계수의 변화에 근거하여 상기 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법.

청구항 7

청구항 1항 내지 청구항 6항 중 어느 한 항에 기재된 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 컴퓨터에 실행시키도록 구성되는 프로그램이 기록된 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체.

청구항 8

탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템에 있어서,

측정대상 탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 측정된 각각의 모달 파라미터를 포함하는 각종 데이터를 수집하는 처리가 수행되도록 이루어지는 데이터 수집부; 및

상기 데이터 수집부를 통해 수집된 각각의 데이터에 근거하여, 상기 탄소복합소재에 대하여 탄소섬유의 방향(각도)에 따른 민감도 지수를 산출하고 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 이루어지는 데이터 분석부를 포함하여 구성되고,

상기 데이터 분석부는,

청구항 1항 내지 청구항 6항 중 어느 한 항에 기재된 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 이용하여 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 분석시스템은,

상기 데이터 수집부를 통해 수집되는 측정값과 상기 데이터 분석부의 분석결과를 포함하는 각종 데이터를 표시하고 상기 분석시스템의 처리동작 및 상태를 포함하는 각종 정보를 표시하도록 이루어지는 출력부;

다른 분석시스템 또는 서버를 포함하는 외부 기기와 각종 데이터를 송수신하기 위해 유선 또는 무선통신 중 적어도 하나의 방식으로 통신을 수행하도록 이루어지는 통신부; 및

상기 분석시스템의 전체적인 동작을 제어하는 처리가 수행되도록 이루어지는 제어부를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 데이터 수집부는,

측정대상 탄소복합소재에 대하여 모달시험을 통해 각각의 모달 파라미터에 대한 측정을 행하여 측정값을 수집하도록 구성되거나,

또는, 사전에 모달 시험을 통해 미리 수집된 데이터를 별도의 입력수단을 통해 직접 입력받거나, 상기 통신부를 통하여 유선 또는 무선통신 중 적어도 하나의 방식으로 전송받도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 출력부는,

모니터나 디스플레이를 포함하는 별도의 표시수단을 포함하여, 각종 데이터 및 현재 상태를 포함하는 정보를 시각적으로 표시하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복

합소재의 감쇠특성 분석시스템.

청구항 12

제 9항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 분석시스템의 전체적인 동작을 각각 제어하는 동시에, 상기 데이터 수집부를 통해 수집된 측정값 및 상기 데이터 분석부를 통해 산출된 민감도 지수 및 분석결과를 포함하는 각종 데이터를 별도의 저장수단에 저장하여 탄소복합소재의 감쇠특성에 대한 데이터베이스를 구축하며, 구축된 데이터를 서버나 외부 기기 또는 다른 분석 시스템으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 분석시스템은,

사용자가 각각의 상기 분석시스템 또는 상기 서버에 원하는 정보를 요청하고 전달받기 위한 사용자 단말기를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템.

청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 사용자 단말기는,

PC를 포함하는 정보처리 단말장치를 이용하여 구성되거나,

또는, 스마트폰이나 태블릿 PC 또는 노트북을 포함하는 개인이 휴대 가능한 정보통신 단말기에 전용의 어플리케이션을 설치하여 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 탄소복합소재(carbon composite material)의 감쇠특성(damping characteristic)을 분석하기 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 더 상세하게는, 예를 들면, 탄소 섬유강화 플라스틱(Carbon-Fiber-Reinforced Plastic ; CFRP) 소재 등과 같이, 탄소섬유(carbon fiber)를 포함하여 이루어지는 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하기 위해 모달시험을 통하여 얻어진 모달 감쇠비(modal damping ratio)가 이용되고 있으나, 실제 탄소복합소재의 감쇠특성은 선형 시스템이라는 가정하에 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)로 나타내어야 하고, 점성감쇠계수는 탄소섬유 방향에 따라 모달 감쇠비에만 종속되지 않고 공진점의 변화에도 영향을 받음으로 인해 모달 감쇠비만으로 점성감쇠계수의 변화를 나타낼 수 없으며, 모달 감쇠비에는 탄소섬유와 결합제의 모달특성이 모두 포함되어 있음으로 인해 민감도 분석 과정에서 오류가 발생하는 한계가 있었던 종래기술의 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법들의 문제점을 해결하기 위해, 모달 감쇠비의 측정 데이터에서 탄소섬유 방향에 따라 직접적인 영향을 미치는 탄소섬유의 점성감쇠계수 값을 분리하여 민감도 지수를 도출하도록 구성됨으로써, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템에 관한 것이다.

[0003] 또한, 본 발명은, 상기한 바와 같이 탄소섬유의 점성 감쇠계수만을 활용한 민감도 지수를 적용하여 탄소섬유 방향에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 물리적으로 정확하게 분석할 수 있도록 하기 위해, 탄소복합소재의 동적특성이 선형적인 거동으로 나타난다는 가정하에 탄소복합소재의 감쇠특성을 점성감쇠계수로 표현하고, 해당 점성감쇠계수를 탄소섬유의 점성감쇠계수와 결합제 매트릭스(binding matrix)의 점성감쇠계수의 병렬 조합으로 나타내어 탄소복합소재의 점성감쇠계수가 탄소섬유 방향에 따라 어떠한 민감도를 나타내는지를 분석한 결과에 근거하여, 탄소섬유의 방향에 따라 변화가 없는 결합매트릭스 관련 점성감쇠계수를 제거하고 탄소섬유의 점성감쇠계수만으로 탄소복합소재의 민감도 지수를 산출하여, 기존의 분석방법으로는 알 수 없었던 탄소섬유의 점성감쇠계수가 공진점(또는 탄성계수)의 변화와 비례관계인 것을 확인하도록 구성됨으로써, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 일반적으로, 탄소복합소재는 탄소섬유(carbon fiber)에 필요에 따라 다른 여러 가지 소재를 결합하여 단일의 소재로는 얻을 수 없는 물리적, 화학적으로 강화된 특성을 가지도록 구성된다.

[0007] 또한, 최근에는, 예를 들면, 탄소 섬유강화 플라스틱(Carbon-Fiber-Reinforced Plastic ; CFRP) 등과 같이, 기존의 소재들에 비해 가벼우면서도 강도가 높은 특성을 가지는 탄소복합소재가 자동차나 항공우주 분야 등의 다양한 분야에거 널리 사용되고 있다.

[0009] 여기서, 상기한 CFRP 등과 같은 탄소복합소재는 서로 다른 소재가 결합되어 이루어지는 특성상 그 구조나 소재의 종류에 따라 물리적 특성이 크게 변화하게 되므로, 탄소복합소재를 적용하기 위하여는 설계목적에 적합한 특성을 가지는 탄소복합소재를 사용하여야 하고, 이를 위하여는, 예를 들면, 감쇠(Damping) 특성과 같이, 사용하고자 하는 탄소복합소재의 기계적, 물리적 특성을 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다.

[0011] 즉, 감쇠란 각각의 소재가 가지는 고유특성을 이용하여 외부의 하중 에너지를 내부에너지로 변화시키는 것에 의해 상쇄하는 것을 의미하며, 이에, 각 소재의 감쇠특성은 해당 소재의 내구성에 많은 영향을 미치게 된다.

[0013] 아울러, 이러한 감쇠특성을 물리적으로 표현하고 분석하기 위해, 종래, 일반적으로, 모달시험을 통하여 시간영역이나 주파수영역에서 측정된 감쇠계수(Damping Coefficient)나 모달 감쇠비(modal damping ratio) 및 민감도 지수(sensitivity) 등이 이용되고 있다.

[0015] 여기서, 상기한 탄소복합소재의 감쇠특성과 같이 특정 소재의 물리적 특성을 분석하기 위한 장치 및 방법에 대한 종래기술의 예로는, 먼저, 예를 들면, 한국 등록특허공보 제10-2223538호에 제시된 바와 같은 "주파수 응답을 이용한 민감도 분석 장치 및 이를 이용한 민감도 분석 방법"이 있다.

[0017] 더 상세하게는, 상기한 한국 등록특허공보 제10-2223538호는, 제어에 의해 가진 패턴을 설정하고, 설정된 가진패턴에 따라 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기; 시험객체의 일측에 접하며 가진기에 의해 시험객체에 가해지는 물리적 힘을 측정하는 제 1 센서; 시험객체의 타측에 접하며 물리적 힘에 의해 유발된 시험객체의 진동을 수집하는 제 2 센서; 및 가진기를 제어하여 가진패턴을 설정하고 설정된 가진패턴에 따라 제 1 센서에서 측정된 물리적 힘 신호와 제 2 센서에서 수집된 진동신호를 주파수도메인 신호로 변환하여 시험객체의 주파수 응답함수를 산출하며, 주파수 응답함수를 기초로 시험객체의 물리적 외부변동(variable)에 대한 민감도 지수(sensitivity)를 산출하는 민감도 분석기를 포함하고, 상기 시험객체는 특정 각도로 일방향성을 갖도록 배열된

재료를 포함하여 형성된 객체로 구성됨으로써, 내부 구조에 방향성을 가지는 객체에 대하여 방향성뿐만 아니라 다양한 외부 힘 패턴까지 고려하여 민감도를 산출하는 것에 의해 해당 객체의 물리적 특성을 보다 정확하게 분석할 수 있도록 구성되는 주파수 응답을 이용한 민감도 분석 장치 및 이를 이용한 민감도 분석 방법에 관한 것이다.

[0019] 또한, 상기한 탄소복합소재의 감쇠특성과 같이 특정 소재의 물리적 특성을 분석하기 위한 장치 및 방법에 대한 종래기술의 다른 예로는, 예를 들면, 한국 등록특허공보 제10-2051746호에 제시된 바와 같은 "모달 감쇠계수 측정 장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정 방법"이 있다.

[0021] 더 상세하게는, 상기한 한국 등록특허공보 제10-2051746호는, 모달 감쇠계수를 산출하기 위한 시험객체; 제어에 의해 가진패턴을 설정하고 설정된 가진패턴에 따라 시험객체의 일측에 물리적 힘을 가하는 가진기; 시험객체의 타측에 접하며 물리적 힘에 의해 시험객체에서 생성된 진동신호를 수집하는 센서; 및 가진기에 의해 가해진 물리적 힘 신호와 센서에 의해 수집된 진동신호를 주파수 도메인 신호로 변환하여 주파수 응답함수를 산출하고 주파수 응답함수를 기초로 피크 피킹(peak-picking) 알고리즘을 사용하여 공진점을 추출하고 해당 공진점에 대한 모달 감쇠계수를 산출하는 모달 감쇠계수 산출부를 포함하여, 입력 가진패턴뿐만 아니라 온도와 습도까지 고려하여 모달 감쇠계수를 측정함으로써 시험객체의 물리적 특성을 정확하게 분석할 수 있도록 구성되는 모달 감쇠계수 측정장치 및 이를 이용한 모달 감쇠계수 측정방법에 관한 것이다.

[0023] 상기한 바와 같이, 종래, 특정 소재의 물리적 특성을 분석하기 위한 다양한 장치 및 방법들이 제시된 바 있으나, 상기한 바와 같은 종래기술의 내용들은 다음과 같은 한계가 있는 것이었다.

[0025] 즉, 상기한 바와 같이, CFRP 등과 같은 탄소복합소재를 적용하기 위하여는 먼저 해당 탄소복합소재의 기계적, 물리적 특성을 정확히 파악하여야 하고, 이를 위해, 종래에는 모달시험을 통해 얻어진 모달 감쇠비(modal damping ratio) 및 민감도 지수(sensitivity)를 이용하여 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하였다.

[0027] 그러나 실제 탄소복합소재의 감쇠계수는 선형 시스템이라는 가정하에 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)로 나타내어야 하고, 점성감쇠계수는 탄소섬유 방향에 따라 모달 감쇠비에만 종속되지 않고 공진점의 변화에도 영향을 받으므로 기존의 방식에서와 같이 모달 감쇠비만으로는 점성감쇠계수의 변화를 나타낼 수 없는 문제가 있었다.

[0029] 아울러, 일반적으로, 탄소복합소재는 탄소섬유(carbon fiber)와 이를 결합하는 결합제 매트릭스(binding matrix)가 매우 단단하게 결합되어 있는 구조이므로, 탄소복합소재에 대한 모달시험을 통해 얻어지는 모달 감쇠비에는 탄소섬유와 결합제의 모달특성이 모두 포함되어 있으며, 그로 인해, 모달 감쇠비를 이용한 기존의 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법들은 민감도 분석을 위한 미분과정에서 변화가 없는 결합제의 모달값으로 인해 민감도 분석결과에 오류가 발생하는 문제도 있는 것이었다.

[0031] 따라서 상기한 바와 같은 종래기술의 모달 감쇠비를 이용한 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법들의 한계를 해결하기 위하여는, 탄소복합소재 전체에 대한 모달 감쇠계수에서 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 분리하여 탄소섬유 방향에 따른 탄소섬유 점성감쇠계수에 근거한 민감도 지수를 산출하는 것에 의해 탄소섬유 방향에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 물리적으로 정확하게 분석할 수 있도록 구성되는 새로운 구성의 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법을 제시하는 것이 바람직하나, 아직까지 그러한 요구를 모두 만족시키는 장치나 방법은 제시되지 못하고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0033] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-2223538호 (2021.02.26.)

(특허문헌 0002) 한국 등록특허공보 제10-2051746호 (2019.11.27.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0034] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하고자 하는 것으로, 따라서 본 발명의 목적은, 예를 들면, 탄소 섬유강화 플라스틱(Carbon-Fiber-Reinforced Plastic ; CFRP) 소재 등과 같이, 탄소섬유(carbon fiber)를 포함하여 이루어지는 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하기 위해 모달시험을 통하여 얻어진 모달 감쇠비(modal damping ratio)가 이용되고 있으나, 실제 탄소복합소재의 감쇠특성은 선형 시스템이라는 가정하에 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)로 나타내어야 하고, 점성감쇠계수는 탄소섬유 방향에 따라 모달 감쇠비에만 종속되지 않고 공진점의 변화에도 영향을 받음으로 인해 모달 감쇠비만으로 점성감쇠계수의 변화를 나타낼 수 없으며, 모달 감쇠비에는 탄소섬유와 결합제의 모달특성이 모두 포함되어 있음으로 인해 민감도 분석 과정에서 오류가 발생하는 한계가 있었던 종래기술의 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법들의 문제점을 해결하기 위해, 모달 감쇠비의 측정 데이터에서 탄소섬유 방향에 따라 직접적인 영향을 미치는 탄소섬유의 점성감쇠계수 값을 분리하여 민감도 지수를 도출하도록 구성됨으로써, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템을 제시하고자 하는 것이다.

[0036] 또한, 본 발명의 다른 목적은, 상기한 바와 같이 탄소섬유의 점성 감쇠계수만을 활용한 민감도 지수를 적용하여 탄소섬유 방향에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 물리적으로 정확하게 분석할 수 있도록 하기 위해, 탄소복합소재의 동적특성이 선형적인 거동으로 나타난다는 가정하에 탄소복합소재의 감쇠특성을 점성감쇠계수로 표현하고, 해당 점성감쇠계수를 탄소섬유의 점성감쇠계수와 결합제 매트릭스(binding matrix)의 점성감쇠계수의 병렬 조합으로 나타내어 탄소복합소재의 점성감쇠계수가 탄소섬유 방향에 따라 어떠한 민감도를 나타내는지를 분석한 결과에 근거하여, 탄소섬유의 방향에 따라 변화가 없는 결합매트릭스 관련 점성감쇠계수를 제거하고 탄소섬유의 점성감쇠계수만으로 탄소복합소재의 민감도 지수를 산출하여, 기존의 분석방법으로는 알 수 없었던 탄소섬유의 점성감쇠계수가 공진점(또는 탄성계수)의 변화와 비례관계인 것을 확인하도록 구성됨으로써, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템을 제시하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0038] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명에 따르면, 탄소섬유의 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)를 이용하여 탄소복합소재(carbon composite material)의 감쇠특성을 분석하기 위한 처리가 컴퓨터나 전용의 하드웨어에 의해 수행되도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법에 있어서, 상기 처리는, 분석대상의 탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 측정된 각각의 모달 파라미터를 포함하는 각종 데이터를 수집하는 처리가 수행되는 데이터 수집단계; 상기 데이터 수집단계에서 수집된 상기 탄소복합소재의 점성감쇠계수 값을 질량정규화된(mass-normalized) 등가(equivalent) 점성감쇠계수로 변환하는 처리가 수행되는 변환단계; 상기 변환단계에서 정의된 상기 등가 점성감쇠계수로부터 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수만을 추출하는 처리가 수행되는 추출단계; 상기 추출단계에서 추출된 상기 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수를 이용하여 탄소섬유의 방향(각도)에 따른 민감도(sensitivity) 지수를 산출하는 민감도 지수 산출단계; 및 상기 민감도 지수 산출단계를 통해 산출된 상기 민감도 지수에 근거하여 상기 탄소복합소재의 감쇠특성을 분

석하는 처리가 수행되는 분석단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법이 제공된다.

[0040] 여기서, 상기 데이터 수집단계는, 모달 시험을 통해 미리 정해진 기준각도(reference angle)와 미리 정해진 임의의 각도(Θ)에서 상기 탄소복합소재의 점성감쇠계수에 대한 측정을 행하여 측정된 값을 각각 수집하거나, 또는, 상기 탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 미리 측정된 탄소섬유 각도에 따른 상기 탄소복합소재의 점성감쇠계수 값들을 별도의 입력수단을 통해 입력받는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0042] 또한, 상기 변환단계는, 이하의 수학식을 이용하여, 탄소섬유의 미리 정해진 기준각도와 미리 정해진 임의의 각도(Θ)에 대하여 상기 탄소복합소재의 점성감쇠계수를 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수와 결합제 매트릭스(binding matrix)에 대한 점성감쇠계수의 병렬 조합으로 이루어지는 등가 점성감쇠계수로 나타내는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0044]
$$\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} = \frac{1}{\overline{c}_{F0,i}} + \frac{1}{\overline{c}_{M0,i}}$$

[0045]
$$\frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta)} = \frac{1}{\overline{c}_{F,i}(\theta)} + \frac{1}{\overline{c}_{M0,i}}$$

[0047] (여기서, $\overline{c}_{def,i}$, $\overline{c}_{F0,i}$ 및 $\overline{c}_{M0,i}$ 는 각각 i번째 모드에서 탄소섬유 각도가 0도인 탄소복합소재, 탄소섬유 및 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수를 나타내고, $\overline{c}_{eq,i}(\theta)$ 및 $\overline{c}_{F,i}(\theta)$ 는 각각 i번째 모드에서 탄소섬유 각도가 Θ인 탄소복합소재 및 탄소섬유의 점성감쇠계수를 각각 나타냄)

[0049] 아울러, 상기 병합단계는, 이하의 수학식을 이용하여, 상기 변환단계에서 정의된 상기 등가 점성감쇠계수에서 결합제 매트릭스에 대한 점성감쇠계수를 소거하여 하나의 수학식으로 병합하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0051]
$$\left(1 - \frac{\overline{c}_{F0,i}}{\overline{c}_{F,i}(\theta)}\right) = \overline{c}_{F0,i}\left(\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} - \frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta)}\right)$$

[0053] 더욱이, 상기 민감도 지수 산출단계는, 이하의 수학식을 이용하여 각각의 모드별로 탄소섬유의 각도(Θ)에 따른 민감도 지수를 산출하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

$$I_{F,i}(\theta_k) = \frac{\frac{1}{\bar{c}_{def,i}} - \frac{1}{\bar{c}_{eq,i}(\theta_k)}}{\mathrm{norm}\left\{\sum_{k=1}^{N}\left[\frac{1}{\bar{c}_{def,i}} - \frac{1}{\bar{c}_{eq,i}(\theta_k)}\right]\right\}}$$

[0055]

[0057] (여기서, N은 탄소섬유 각도가 증가된 횟수(number of times)를 의미함)

[0059] 또한, 상기 분석단계는, 상기 민감도 지수 산출단계를 통해 탄소섬유의 각도에 따라 각각의 모드별로 산출된 민감도 지수 및 탄소섬유의 각도에 따른 점성감쇠계수의 변화에 근거하여 상기 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0061] 아울러, 본 발명에 따르면, 상기에 기재된 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 컴퓨터에 실행시키도록 구성되는 프로그램이 기록된 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체가 제공된다.

[0063] 더욱이, 본 발명에 따르면, 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템에 있어서, 측정대상 탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 측정된 각각의 모달 파라미터를 포함하는 각종 데이터를 수집하는 처리가 수행되도록 이루어지는 데이터 수집부; 및 상기 데이터 수집부를 통해 수집된 각각의 데이터에 근거하여, 상기 탄소복합소재에 대하여 탄소섬유의 방향(각도)에 따른 민감도 지수를 산출하고 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 이루어지는 데이터 분석부를 포함하여 구성되고, 상기 데이터 분석부는, 상기에 기재된 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 이용하여 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템이 제공된다.

[0065] 여기서, 상기 분석시스템은, 상기 데이터 수집부를 통해 수집되는 측정값과 상기 데이터 분석부의 분석결과를 포함하는 각종 데이터를 표시하고 상기 분석시스템의 처리동작 및 상태를 포함하는 각종 정보를 표시하도록 이루어지는 출력부; 다른 분석시스템 또는 서버를 포함하는 외부 기기와 각종 데이터를 송수신하기 위해 유선 또는 무선통신 중 적어도 하나의 방식으로 통신을 수행하도록 이루어지는 통신부; 및 상기 분석시스템의 전체적인 동작을 제어하는 처리가 수행되도록 이루어지는 제어부를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0067] 또한, 상기 데이터 수집부는, 측정대상 탄소복합소재에 대하여 모달시험을 통해 각각의 모달 파라미터에 대한 측정을 행하여 측정값을 수집하도록 구성되거나, 또는, 사전에 모달 시험을 통해 미리 수집된 데이터를 별도의 입력수단을 통해 직접 입력받거나, 상기 통신부를 통하여 유선 또는 무선통신 중 적어도 하나의 방식으로 전송받도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0069] 아울러, 상기 출력부는, 모니터나 디스플레이를 포함하는 별도의 표시수단을 포함하여, 각종 데이터 및 현재 상태를 포함하는 정보를 시각적으로 표시하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0071] 더욱이, 상기 제어부는, 상기 분석시스템의 전체적인 동작을 각각 제어하는 동시에, 상기 데이터 수집부를 통해 수집된 측정값 및 상기 데이터 분석부를 통해 산출된 민감도 지수 및 분석결과를 포함하는 각종 데이터를 별도의 저장수단에 저장하여 탄소복합소재의 감쇠특성에 대한 데이터베이스를 구축하며, 구축된 데이터를 서버나 외부 기기 또는 다른 분석시스템으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0073] 또한, 상기 분석시스템은, 사용자가 각각의 상기 분석시스템 또는 상기 서버에 원하는 정보를 요청하고 전달받기 위한 사용자 단말기를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0075] 여기서, 상기 사용자 단말기는, PC를 포함하는 정보처리 단말장치를 이용하여 구성되거나, 또는, 스마트폰이나 태블릿 PC 또는 노트북을 포함하는 개인이 휴대 가능한 정보통신 단말기에 전용의 어플리케이션을 설치하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0077] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 탄소복합소재의 동적특성이 선형적인 거동으로 나타난다는 가정하에 탄소복합소재의 감쇠특성을 점성감쇠계수로 표현하고, 해당 점성감쇠계수를 탄소섬유의 점성감쇠계수와 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수의 병렬 조합으로 나타내어 탄소복합소재의 점성감쇠계수가 탄소섬유 방향에 따라 어떠한 민감도를 나타내는지를 분석한 결과에 근거하여, 탄소섬유의 방향에 따라 변화가 없는 결합매트릭스 관련 점성감쇠계수를 제거하고 탄소섬유의 점성감쇠계수만으로 탄소복합소재의 민감도 지수를 산출하여, 기존의 분석방법으로는 알 수 없었던 탄소섬유의 점성감쇠계수가 공진점(또는 탄성계수)의 변화와 비례관계인 것을 확인하도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템이 제공됨으로써, 모달 감쇠비의 측정 데이터에서 탄소섬유 방향에 따라 직접적인 영향을 미치는 탄소섬유의 점성감쇠계수 값을 분리하여 민감도 지수를 도출하는 것에 의해 탄소섬유 방향에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 물리적으로 정확하게 분석할 수 있다.

[0079] 또한, 본 발명에 따르면, 상기한 바와 같이 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템이 제공됨으로써, 예를 들면, 탄소 섬유강화 플라스틱(CFRP) 소재 등과 같이, 탄소섬유를 포함하여 이루어지는 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하기 위해 모달시험을 통하여 얻어진 모달 감쇠비가 이용되고 있으나, 실제 탄소복합소재의 감쇠특성은 선형시스템이라는 가정하에 점성감쇠계수로 나타내어야 하고, 점성감쇠계수는 탄소섬유 방향에 따라 모달 감쇠비에만 종속되지 않고 공진점의 변화에도 영향을 받음으로 인해 모달 감쇠비만으로 점성감쇠계수의 변화를 나타낼 수 없으며, 모달 감쇠비에는 탄소섬유와 결합제의 모달특성이 모두 포함되어 있음으로 인해 민감도 분석 과정에서 오류가 발생하는 한계가 있었던 종래기술의 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법들의 문제점을 해결할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0081] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 검증하기 위한 모달 시험에 사용된 탄소복합소재 시편을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 검증을 위한 모달 시험에 적용된 탄소복합소재 시편의 길이 정보 및 가속도센서의 부착위치를 각각 나타내는 나타내는 도면이다.

도 3은 모달 파라미터들을 추출하기 위해 가속도센서가 부착된 탄소복합소재 시편을 강성이 낮은 고무줄에 매달아 실제로 모달 시험을 수행한 모습을 나타내는 도면이다.

도 4는 도 1 내지 도 3에 나타낸 바와 같은 조건으로 모달 시험을 수행한 결과로 얻어진 모달 파라미터들을 표로 정리하여 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명에서 제안한 민감도 지수와 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수 값이 포함된 기존의 민감도 지수를 이용하여 각각 분석을 수행한 결과를 나타내는 도면이다.

도 6은 5개의 모드에 대하여 공진점의 상대오차를 각각 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 플로차트이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0082] 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템의 구체적인 실시예에 대하여 설명한다.

[0084] 여기서, 이하에 설명하는 내용은 본 발명을 실시하기 위한 하나의 실시예일 뿐이며, 본 발명은 이하에 설명하는 실시예의 내용으로만 한정되는 것은 아니라는 사실에 유념해야 한다.

[0086] 또한, 이하의 본 발명의 실시예에 대한 설명에 있어서, 종래기술의 내용과 동일 또는 유사하거나 당업자의 수준에서 용이하게 이해하고 실시할 수 있다고 판단되는 부분에 대하여는, 설명을 간략히 하기 위해 그 상세한 설명을 생략하였음에 유념해야 한다.

[0088] 즉, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 예를 들면, 탄소 섬유강화 플라스틱(Carbon-Fiber-Reinforced Plastic ; CFRP) 소재 등과 같이, 탄소섬유(carbon fiber)를 포함하여 이루어지는 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하기 위해 모달시험을 통하여 얻어진 모달 감쇠비(modal damping ratio)가 이용되고 있으나, 탄소복합소재의 감쇠특성은 선형 시스템이라는 가정하에 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)로 나타내어야 하고, 점성감쇠계수는 탄소섬유 방향에 따라 모달 감쇠비에만 종속되지 않고 공진점의 변화에도 영향을 받음으로 인해 모달 감쇠비만으로 점성감쇠계수의 변화를 나타낼 수 없으며, 모달 감쇠비에는 탄소섬유와 결합제의 모달특성이 모두 포함되어 있음으로 인해 민감도 분석 과정에서 오류가 발생하는 한계가 있었던 종래기술의 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법들의 문제점을 해결하기 위해, 모달 감쇠비의 측정 데이터에서 탄소섬유 방향에 따라 직접적인 영향을 미치는 탄소섬유의 점성감쇠계수 값을 분리하여 민감도 지수를 도출하도록 구성됨으로써, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템에 관한 것이다.

[0090] 아울러, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 탄소섬유의 점성 감쇠계수만을 활용한 민감도 지수를 적용하여 탄소섬유 방향에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 물리적으로 정확하게 분석할 수 있도록 하기 위해, 탄소복합소재의 동적특성이 선형적인 거동으로 나타난다는 가정하에 탄소복합소재의 감쇠특성을 점성감쇠계수로 표현하고, 해당 점성감쇠계수를 탄소섬유의 점성감쇠계수와 결합제 매트릭스(binding matrix)의 점성감쇠계수의 병렬 조합으로 나타내어 탄소복합소재의 점성감쇠계수가 탄소섬유 방향에 따라 어떠한 민감도를 나타내는지를 분석한 결과에 근거하여, 탄소섬유의 방향에 따라 변화가 없는 결합매트릭스 관련 점성감쇠계수를 제거하고 탄소섬유의 점성감쇠계수만으로 탄소복합소재의 민감도 지수를 산출하여, 기존의 분석방법으로는 알 수 없었던 탄소섬유의 점성감쇠계수가 공진점(또는 탄성계수)의 변화와 비례관계인 것을 확인하도록 구성됨으로써, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템에 관한 것이다.

[0092] 계속해서, 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템의 구체적인 내용에 대하여 설명한다.

[0094] 여기서, 본 발명에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 설명하기 전에, 먼저, 탄소복합소재 및 점성감쇠계수에 대하여 설명하면, CFRP 등과 같은 탄소복합소재의 장점 중 하나는 감쇠계수가 크다는 것이며, 이러한 감쇠계수를 정확하게 파악함으로써 탄소복합소재의 감쇠특성을 설계하는데

중요한 정보를 제공할 수 있다.

[0096] 즉, 일반적으로, 탄소복합소재는, 크게 나누어 탄소섬유(carbon fiber)와 이를 결합하는 결합제 매트릭스(binding matrix)로 구성되고 이러한 2가지의 요소들이 매우 단단하게 결합되어 있으므로, 탄소복합소재 자체의 점성감쇠계수는 탄소섬유와 결합제에 종속적인 각각의 점성감쇠계수들의 병렬조합으로 표현할 수 있다.

[0098] 여기서, 탄소섬유의 방향이 달라지더라도 결합제 매트릭스에 의한 점성감쇠계수는 달라지지 않으므로, 탄소복합소재 전체의 점성감쇠계수 값은 탄소섬유 관련 점성감쇠계수의 변화에만 종속적으로 변화하게 된다.

[0100] 또한, 탄소섬유 방향에 대한 탄소복합소재 전체의 점성감쇠계수 값의 변화량을 미분 형태로 나타내는 경우, 변화하지 않는 결합제 관련 점성감쇠계수가 병렬조합으로 영향을 주기 때문에 탄소섬유 방향에 대한 민감도 해석 결과가 물리적 경향성을 가지지 않게 된다.

[0102] 이에, 본 발명에서는, 후술하는 바와 같이, 탄소복합소재의 동적특성을 선형적인 거동으로 가정하는 것이 타당하다는 조건에서 탄소복합소재의 감쇠특성을 점성감쇠계수로 표현하고, 탄소복합소재의 점성감쇠계수를 탄소섬유의 점성감쇠계수와 복합제의 점성감쇠계수로 각각 분리한 다음, 분리된 탄소섬유의 점성감쇠계수에 대하여 탄소섬유 방향에 따른 민감도 분석을 통해 탄소섬유의 점성감쇠계수의 민감도가 탄소복합소재의 공진점(또는 탄성계수)의 변화와 비례적임을 확인하였고, 이러한 결과에 따라, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 활용한 민감도 지수를 적용하여 탄소섬유 방향에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 물리적으로 정확하게 분석할 수 있도록 구성되는 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 제안하였다.

[0104] 아울러, 이하에 설명하는 본 발명의 실시예에 있어서, 모든 점성감쇠계수는 해당 차수의 모달 질량으로 정규화(normalized)된 값이며, 즉, 예를 들면, 1 자유도(degree-of-freedom)(1-DOF) 시스템에서 i번째 모드에서의 점성감쇠계수는 1을 해당 모달질량(m_i)으로 나눈 값이다.

[0106] 더 상세하게는, 상기한 바와 같이, CFRP는 탄소섬유 소재와 결합제 매트릭스 소재의 두 가지 주요 소재로 구성되며, 탄소섬유와 결합제 매트릭스가 제조공정, 즉, 가열-가압(hot pressing) 동안 단일 복합구조(single composite structure)로 결합될 때, 복합체의 점성감쇠계수는 단순히 각 소재의 점성감쇠계수의 합으로 되지 않는다.

[0108] 즉, CFRP 구조가 선형 시스템인 경우 점성감쇠계수 C_i는 탄소섬유와 결합제 매트릭스의 병렬조합(parallel combination)으로 가정될 수 있으며, 탄소섬유 각도가 증가함에 따라 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수는 변화하지 않는 반면, 탄소섬유의 점성감쇠계수는 변화된다.

[0110] 또한, CFRP는 탄소섬유 및 결합제 매트릭스를 이용하여 복합구조로 제조되므로 두 소재의 조합은 선형 시스템에서 병렬(parallel)인 것으로 가정될 수 있고, 이에, 탄소섬유의 기준각도(reference angle)에서 i번째 질량정규화(mass-normalized) 점성감쇠계수를 $\overline{c}_{def,i}$라 정의하면, 점성감쇠계수는 이하의 [수학식 1]에 나타낸 바와 같이 2개의 질량정규화 점성감쇠계수, 즉, 탄소섬유($\overline{c}_{F,i}$) 및 결합제 매트릭스($\overline{c}_{M,i}$)로부터 유도되는 등가(equivalent) 점성감쇠계수로 나타낼 수 있다.

[0112] [수학식 1]

[0113] $$\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} = \frac{1}{\overline{c}_{F0,i}} + \frac{1}{\overline{c}_{M0,i}}$$

[0115] 아울러, 탄소섬유 각도가 기준각도로부터 Θ로 증가하면, 등가 질량정규화 점성감쇠계수($\overline{c}_{eq,i}(\theta)$)는, 이하의 [수학식 2]에 나타낸 바와 같이, 결합제 매트릭스의 일정한(constant) 질량정규화 점성감쇠계수($\overline{c}_{M,i}$)와 탄소섬유의 질량정규화 점성감쇠계수($\overline{c}_{F,i}(\theta)$)를 이용하여 상기한 [수학식 1]과 유사한 형태로 나타낼 수 있다.

[0117] [수학식 2]

[0118] $$\frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta)} = \frac{1}{\overline{c}_{F,i}(\theta)} + \frac{1}{\overline{c}_{M0,i}}$$

[0120] 여기서, 상기한 [수학식 1] 및 [수학식 2]에 있어서, $\overline{c}_{def,i}$, $\overline{c}_{F0,i}$ 및 $\overline{c}_{M0,i}$는 각각 i번째 모드에서 탄소섬유 각도가 0도인 탄소복합소재, 탄소섬유 및 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수를 나타내고, $\overline{c}_{eq,i}(\theta)$ 및 $\overline{c}_{F,i}(\theta)$ 는 각각 i번째 모드에서 탄소섬유 각도가 Θ인 탄소복합소재 및 탄소섬유의 점성감쇠계수를 각각 나타낸다.

[0122] 이때, 서로 다른 2개의 탄소복합소재에서 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수($\overline{c}_{M0,i}$) 값을 동일하게 유지하기 위해 탄소섬유 방향만 다르고 다른 조건은 동일하게 하여 구성될 수 있다.

[0124] 계속해서, 상기한 [수학식 1]과 [수학식 2]에서 공통으로 존재하는 결합제 매트릭스의 일정한 점성감쇠계수($\overline{c}_{M0,i}$) 값을 소거하여 하나의 수학식으로 병합하면 이하의 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다.

[0126] [수학식 3]

[0127] $$\left(1 - \frac{\overline{c}_{F0,i}}{\overline{c}_{F,i}(\theta)}\right) = \overline{c}_{F0,i}\left(\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} - \frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta)}\right)$$

[0129] 여기서, 상기한 [수학식 3]에 있어서, 좌변은 기준각도와 증가된 탄소섬유 각도 Θ에서 각각의 탄소섬유 점성감쇠계수 사이의 상대오차(relative error)를 나타내고 있다.

[0131] 또한, 상기한 [수학식 3]에 있어서, 우변은 기준각도와 증가된 탄소섬유 각도 Θ에서 탄소복합소재의 점성감쇠

계수 $\overline{c}_{def,i}$ 및 $\overline{c}_{eq,i}(\theta)$ 를 각각 나타내며, 이들은 모달시험을 통해 얻어질 수 있다.

[0133] 아울러, i번째 모드에서 탄소복합소재의 점성감쇠계수에 대하여 탄소섬유의 방향, 즉, 탄소섬유 각도 Θ에 따른 민감도(sensitivity)는 직접적인 편미분(partial derivative)를 통해 이하의 [수학식 4]와 같이 얻어질 수 있다.

[0135] [수학식 4]

$$\frac{\Delta c_i(\theta)}{\Delta\theta} = \frac{\Delta(2m_i\omega_{n,i}\xi_i)}{\Delta\theta} = 2m_i\left[\xi_i\frac{\Delta\omega_{n,i}}{\Delta\theta} + \omega_n\frac{\Delta\xi_i}{\Delta\theta}\right]$$

$$\overline{c_i} = \frac{c_i}{m_i}$$

[0136]

[0138] 여기서, 상기한 [수학식 4]에 있어서, m은 질량(mass), ω_n은 공진주파수(resonance frequency), ξ는 모달 감쇠비(modal damping ratio), c는 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)를 각각 의미한다.

[0140] 상기한 [수학식 4]는 CFRP구조의 등가 점성감쇠계수의 유도를 이용하는 일반적인 수식이나, 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수 $\overline{c}_{M0,i}$ 가 탄소섬유 각도에 따라 변화하지 않으므로, 이러한 등가 점성감쇠계수의 직접적인 유도는 정확한 점성감쇠계수를 나타내지 못하는 한계가 있다.

[0142] 즉, 결합제 매트릭스의 일정한 점성감쇠계수는 [수학식 4]의 민감도 결과를 왜곡할 수 있으며, 따라서 탄소섬유 각도의 증가와 함께 감쇠계수의 변화를 확인하기 위해서는 본 발명에서 제시된 바와 같이 탄소섬유만의 점성감쇠계수를 이용하여 민감도 분석을 수행하는 것이 보다 합리적이다.

[0144] 더 상세하게는, 상기한 [수학식 4]는 탄소섬유 방향을 증가시킴에 따라 변화되는 탄소복합소재에 대한 점성감쇠계수의 변화량을 정확하게 표현하는 민감도 결과를 도출해내는 장점을 가지고 있으나, 실제로는, 상기한 [수학식 2]에 나타낸 바와 같이, 해당 점성감쇠계수가 탄소섬유와 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수의 병렬 결합 형태로 구성되어 있으므로 실제 변화되는 탄소섬유의 점성감쇠계수 변화를 민감도로 표현하는데 한계가 있다.

[0146] 이에, 본 발명에서는, 상기한 바와 같은 기존의 민감도 분석방법의 한계를 극복하기 위해, 탄소섬유의 점성감쇠계수에 관한 관계식인 상기한 [수학식 3]을 활용하여, 상기한 [수학식 5]에 나타낸 바와 같이 민감도 지수 값을 도출하였다.

[0148] [수학식 5]

$$I_{F,i}(\theta_k) = \frac{\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} - \frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta_k)}}{\mathrm{norm}\left\{\sum_{k=1}^{N}\left[\frac{1}{\overline{c}_{def,i}} - \frac{1}{\overline{c}_{eq,i}(\theta_k)}\right]\right\}}$$

[0149]

[0151] 또한, 본 발명과 비교를 위해 상기한 [수학식 4]의 민감도 값도 상기한 [수학식 5]과 유사하게 표현하면 이하의 [수학식 6]과 같이 나타낼 수 있다.

[0153] [수학식 6]

$$I_{eq,i}(\theta_k) = \frac{\xi_{avg,k}\frac{\Delta\omega_{n,i}}{\Delta\theta_k} + \omega_{avg,k}\frac{\Delta\xi_i}{\Delta\theta_k}}{\mathrm{norm}\left\{\sum_{k=1}^{N}\left[\xi_{avg,k}\frac{\Delta\omega_{n,i}}{\Delta\theta_k} + \omega_{avg,k}\frac{\Delta\xi_i}{\Delta\theta_k}\right]\right\}}$$

[0154]

[0156] 여기서, 상기한 [수학식 5] 및 [수학식 6]에 있어서, N은 탄소섬유 각도가 증가된 횟수(number of times)이고, $\xi_{avg,k}$는 평균 모달 감쇠비(averaged modal damping ratio) 이고, $\omega_{avg,}$는 (k-1)번째 및 k번째 각도(k = 0은 기준각도)에서의 평균 공진주파수(averaged resonance frequency)를 각각 의미한다.

[0158] 더 상세하게는, 실제로 특정 공진모드에서 서로 다른 탄소섬유 각도에 대한 민감도 지수는 탄소섬유 각도의 이산 증가(discrete increase)에 따라 제시되며, 탄소섬유 각도 증가 Θ_k에 대한 질량정규화된(mass-normalized) 점성감쇠계수의 도함수(derivative) 및 i번째 모드는 상기한 [수학식 6]에 나타낸 바와 같이 평균 모달 감쇠계수(averaged modal damping ratio) $\xi_{avg,k}$와 (k-1)번째 및 k번째 각도(k = 0은 기준각도)에서의 평균 공진주파수(averaged resonance frequency) $\omega_{avg,k}$를 이용한 민감도 지수 $I_{eq,i}(\Theta_k)$로 유도될 수 있다.

[0160] 또한, 특정 탄소섬유 각도(Θ_k)에 대한 민감도 지수는 모든 민감도 값 집합의 2놈(2-norm)을 나누어 나타낼 수 있고, 탄소섬유만의 민감도 지수도 마찬가지로 상대오차 값의 모든 집합의 2놈을 나누어 상기한 [수학식 5]에 나타낸 바와 같이 유도될 수 있다.

[0162] 아울러, $I_{F,i}(\Theta_k)$는 각도 증가 Θ_k에 대한 탄소섬유의 민감도 및 i번째 모드를 나타내고, 불변 변수(invariant variable), 즉, [수학식 4]에서의 2mi와 [수학식 3]에서의 $\overline{c}_{F0,i}$ 는 민감도 지수의 최종 형태에서 제거된다.

[0164] 결론적으로, 본 발명에서 제안하는 주요 내용은, 탄소섬유 방향에 따라 변화가 없는 결합제 매트릭스 관련 점성 탄성계수를 항을 제거하고 탄소섬유의 점성감쇠계수만으로 표현된 [수학식 3]과, 이를 활용한 민감도 지수를 나타내는 [수학식 5]이다.

[0166] 계속해서, 상기한 바와 같은 내용을 검증하기 위해 탄소복합소재를 이용하여 모달시험을 수행한 결과에 대하여 설명한다.

[0168] 즉, 본 발명자들은, 상기한 바와 같은 내용을 실험적으로 검증하기 위해 탄소복합소재를 이용하여 모달 시험을 통해 공진점 및 모달 감쇠비를 포함하는 모달 파라미터들을 측정하였다.

[0170] 여기서, 모달 파라미터의 추출방법은, 본 발명자들에 의해 2021.06.11.자로 출원된 한국특허출원 제10-2021-0075856호의 "이방성 소재의 동적 모드 변화 분석 방법 및 이를 이용한 분석 장치"에 제시된 실험 내용을 그대

로 적용하였다.

[0172] 더 상세하게는, 도 1 내지 도 3을 참조하면, 먼저, 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 검증하기 위한 모달 시험에 사용된 12층으로 이루어진 탄소복합소재 시편을 나타내는 도면이다.

[0174] 도 1에 나타낸 탄소복합소재 시편에 있어서, Θ는 탄소섬유의 방향(각도)을 나타내며, 본 실험에서는 Θ가 각각 0도, 30도, 45도, 60도 및 90도인 5개의 탄소복합소재 시편들이 사용되었다.

[0176] 또한, 도 2를 참조하면, 도 2는 본 발명의 검증을 위한 모달 시험에 적용된 탄소복합소재 시편의 길이정보 및 가속도센서의 부착위치를 각각 나타내는 도면이다.

[0178] 도 2에 있어서, α = 3 ㎜, β = 10 ㎜, γ = 37.5 ㎜, δ = 30 ㎜이며, #1 ~ #7은 가속도센서의 부착위치를 각각 나타내고 있다.

[0180] 아울러, 도 3을 참조하면, 도 3은 모달 파라미터들을 추출하기 위해 가속도센서가 부착된 탄소복합소재 시편을 강성이 낮은 고무줄에 매달아 실제로 모달 시험을 수행한 모습을 나타내는 도면이다.

[0182] 더욱이, 도 4를 참조하면, 도 4는 상기한 바와 같은 조건으로 모달 시험을 수행하여 추출된 모달 파라미터들을 표로 정리하여 나타낸 도면이다.

[0184] 즉, 상기한 바와 같은 조건으로 모달 시험을 수행한 결과 도 4의 표에 나타낸 바와 같이 각각의 모달 파라미터가 추출되었으며, 이러한 결과는 상기한 기출원 명세서(한국특허출원 제10-2021-0075856호)에도 명시되어 있다.

[0186] 계속해서, 도 5를 참조하면, 도 5는 상기한 바와 같은 정보를 바탕으로 본 발명에서 제안한 민감도 지수인 [수학식 5]와, 이에 대한 비교대상으로 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수 값이 포함된 민감도 지수인 [수학식 6]을 이용하여 각각 분석을 수행한 결과를 나타내는 도면이다.

[0188] 여기서, 도 5에 나타낸 비교결과에 있어서, 모드는 도 4의 표에 나타낸 바와 같이 5개의 모드로 한정하여 분석을 수행하였으며, 검은색은 비교대상 민감도 값인 [수학식 6]을 적용한 것이고, 빨간색은 본 발명에서 제안한 [수학식 5]에 따른 결과를 각각 나타내고 있다.

[0190] 또한, 도 5에 있어서, 도 5a는 1차 굽힘(Bending) 모드, 도 5b는 1차 비틀림(Twisting) 모드, 도 5c는 2차 굽힘 모드, 도 5d는 2차 굽힘 모드, 도 5e는 3차 굽힘 모드이며, Θ_0 = 0° (default), Θ_1 = 30° , Θ_2 = 45° , Θ_3 = 60° . Θ_4 = 90° 이다.

[0192] 도 5에 나타낸 바와 같이, 각각의 민감도 지수 값을 비교해 보면, 종래의 방식에 따른 민감도 값(검은색)은 시편들의 특징과 어떠한 물리적 유사성을 보이지 않는 것을 확인할 수 있으나, 반면, 본 발명에서 제안한 민감도 결과(빨간색)는 공진점의 상대오차와 동일한 경향성을 나타냄을 확인할 수 있다.

[0194] 즉, 도 6을 참조하면, 도 6은 5개의 모드에 대하여 공진점의 상대오차(Θ_0를 기준으로 한 탄소섬유 방향(각도)에 따른 오차)를 각각 나타내는 도면이다.

[0196] 도 6에 있어서, 도 5와 마찬가지로, 도 6a는 1차 굽힘(Bending) 모드, 도 6b는 1차 비틀림(Twisting) 모드, 도 6c는 2차 굽힘 모드, 도 6d는 2차 굽힘 모드, 도 6e는 3차 굽힘 모드를 각각 나타내고 있다.

[0198] 도 5 및 도 6에 나타낸 바와 같이, 도 6의 경향성과 도 5의 빨간색 부분의 경향성은 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 결과를 통해 본 발명에 제시한 방법의 타당성 및 충분한 가치가 있음을 확인할 수 있다.

[0200] 상기한 바와 같은 내용으로부터, 본 발명에 따르면, 탄소복합소재의 점성감쇠계수를 탄소섬유와 복합제로 분리하고, 탄소섬유의 점성감쇠계수에 대하여 탄소섬유 방향에 따른 민감도 분석을 통해 탄소섬유의 점성감쇠계수의 민감도가 탄소복합소재의 공진점(또는 탄성계수)의 변화와 비례적임을 확인하였으며, 이러한 결과에 근거하여, 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 활용한 민감도 지수를 적용하여 탄소섬유 방향에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 물리적으로 정확하게 분석할 수 있다.

[0202] 여기서, 상기한 본 발명의 실시예에서는, 감쇠특성 분석을 위해 적용되는 탄소복합소재로서 탄소 섬유강화 플라스틱(CFRP)에 대한 감쇠특성을 분석하는 경우를 예로 하여 본 발명을 설명하였으나, 본 발명은 반드시 상기한 실시예의 경우로만 한정되는 것은 아니며, 즉, 본 발명은, 상기한 CFRP 이외에 다른 복합소재에 대하여도 동일 내지 유사하게 하여 적용될 수 있는 등, 본 발명의 취지 및 본질을 벗어나지 않는 범위 내에서 당업자에 의해 필요에 따라 다양하게 수정 및 변경하여 적용 가능한 것임에 유념해야 한다.

[0204] 따라서 상기한 바와 같은 내용으로부터 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템을 용이하게 구현할 수 있다.

[0206] 계속해서, 도 7을 참조하면, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 플로차트이다.

[0208] 도 7에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법은, 크게 나누어, 예를 들면, 탄소 섬유강화 플라스틱(CFRP)과 같은 분석대상 탄소복합소재에 대하여, 모달 시험을 통해 탄소섬유 방향(각도)에 따른 탄소복합소재의 점성감쇠계수(viscous damping coefficient)를 포함하는 각종 측정값 및 데이터를 수집하는 처리가 수행되는 데이터 수집단계(S10)와, 데이터 수집단계(S10)에서 수집된 각각의 탄소복합소재의 점성감쇠계수 값을 질량정규화된(mass-normalized) 등가(equivalent) 점성감쇠계수로 변환하여 나타내는 처리가 수행되는 변환단계(S20)와, 변환단계(S20)에서 정의된 등가 점성감쇠계수로부터 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수만을 추출하는 처리가 수행되는 추출단계(S30)와, 추출단계(S30)에서 추출된 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수를 이용하여 탄소섬유의 방향(각도)에 따른 민감도 지수를 산출하는 민감도 지수 산출단계(S40) 및 민감도 지수 산출단계(S40)를 통해 산출된 민감도 지수를 이용하여 탄소섬유 방향(각도) 및 모드별로 분석대상 탄소복합소재의 감쇠특성을 각각 분석하는 처리가 수행되는 분석단계(S50)를 포함하는 일련의 처리과정이 컴퓨터나 전용의 하드웨어에 의해 수행되도록 구성될 수 있다.

[0210] 여기서, 상기한 데이터 수집단계(S10)는, 도 1 내지 도 4를 참조하여 상기한 바와 같이 하여, 모달 시험을 통해 기준각도(예를 들면, 0도)와 변화된 임의의 각도(Θ)에서 탄소복합소재의 점성감쇠계수에 대한 측정을 행하여 측정된 값을 수집하거나, 또는, 분석대상 탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 미리 측정된 탄소섬유 각도에 따른 점성감쇠계수 값들을 별도의 입력수단을 통해 입력받는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.

[0212] 또한, 상기한 변환단계(S20)는, 상기한 [수학식 1] 및 [수학식 2]를 이용하여, 탄소섬유의 기준각도와 임의의 각도 Θ에 대하여 각각의 점성감쇠계수를 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수와 결합제 매트릭스(binding matrix)에 대한 점성감쇠계수의 병렬 조합으로 이루어지는 등가 점성감쇠계수로 나타내는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.

[0214] 아울러, 상기한 병합단계(S30)는, 상기한 [수학식 3]을 이용하여, 상기한 변환단계(S20)에서 정의된 탄소섬유의 기준각도와 임의의 각도 Θ에 대한 각각의 등가 점성감쇠계수로부터 결합제 매트릭스에 대한 점성감쇠계수를 소거하여, 탄소섬유의 기준각도와 임의의 각도 Θ에서 각각의 탄소섬유 점성감쇠계수 사이의 상대오차(relative error) 및 탄소복합소재의 등가 점성감쇠계수를 나타내는 수학식으로 병합하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.

[0216] 더욱이, 상기한 민감도 지수 산출단계(S40)는, 상기한 [수학식 5]를 이용하여, 상기한 병합단계(S30)에서 얻어진 수학식에 편미분을 적용하여 민감도 지수를 산출하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.

[0218] 또한, 상기한 분석단계(S50)는, 민감도 지수 산출단계(S40)를 통해 산출된 민감도 지수를 이용하여, 도 6에 나타낸 바와 같이, 탄소섬유 방향(각도) 및 모드별로 각각 산출된 민감도 지수의 경향을 통해 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.

[0220] 따라서 상기한 바와 같은 일련의 처리과정을 컴퓨터나 전용의 하드웨어에 실행시키도록 하는 것에 의해 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 용이하게 구현할 수 있으며, 또한, 이를 이용하여, 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하는 분석시스템을 용하아게 구현할 수 있다.

[0222] 즉, 도 8을 참조하면, 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템(80)의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.

[0224] 도 8에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템(80)은, 크게 나누어, 측정대상 탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 측정된 각각의 모달 파라미터를 포함하는 각종 데이터를 수집하는 처리가 수행되도록 이루어지는 데이터 수집부(81)와, 데이터 수집부(81)를 통해 수집된 각각의 측정값에 근거하여, 측정대상 탄소복합소재에 대하여 탄소섬유의 각도(각도)에 따른 민감도 지수를 산출하고 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 이루어지는 데이터 분석부(82)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0226] 또한, 상기한 분석시스템(80)은, 도 8에 나타낸 바와 같이, 데이터 수집부(81)를 통해 수집되는 측정값과 데이터 분석부(82)의 분석결과를 포함하는 각종 데이터를 표시하고 시스템의(80) 처리동작 및 상태 등을 표시하도록 이루어지는 출력부(83)와, 다른 분석시스템(80) 또는 서버 등과 같은 외부 기기와 각종 데이터를 송수신하기 위해 유선 또는 무선통신 중 적어도 하나의 방식으로 통신을 수행하도록 이루어지는 통신부(84) 및 상기한 각 부 및 분석시스템(80)의 전체적인 동작을 제어하는 처리가 수행되도록 이루어지는 제어부(85)를 더 포함하여 구성될 수 있다.

[0228] 여기서, 상기한 데이터 수집부(81)는, 측정대상 탄소복합소재에 대하여 모달시험을 통해 각각의 모달 파라미터에 대한 측정을 행하여 측정값을 수집하도록 구성될 수 있으며, 또는, 사전에 모달 시험을 통해 미리 수집된 데이터를 별도의 입력수단을 통해 직접 입력받거나, 통신부(84)를 통하여 유선 또는 무선통신 중 적어도 하나의 방식으로 전송받도록 구성될 수도 있다.

[0230] 아울러, 상기한 데이터 분석부(82)는, 도 1 내지 도 6 및 도 7을 참조하여 상기한 바와 같이 구성되는 본 발명의 실시예에 따른 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법을 이용하여, 탄소섬유의 점섬감쇠계수만을 이용한 민감도 지수를 산출하고 감쇠특성을 분석하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.

[0232] 더욱이, 상기한 출력부(83)는, 예를 들면, 모니터나 디스플레이 등과 같은 별도의 표시수단을 포함하여, 각종 데이터 및 현재 상태 등의 정보를 시각적으로 표시하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.

[0234] 또한, 상기한 제어부(85)는, 중앙의 관제서버로부터 각종 데이터 및 제어신호를 수신하여 분석시스템(80)의 전체적인 동작을 각각 제어하는 동시에, 데이터 수집부(81)를 통해 수집된 측정값 및 데이터 분석부(82)를 통해 산출된 민감도 지수 및 분석결과를 포함하는 각종 데이터를 별도의 저장수단에 저장하여 탄소복합소재의 감쇠특성에 대한 데이터베이스를 구축하며, 이와 같이 구축된 데이터를 중앙의 관제서버나 외부 기기 또는 다른 분석시스템(80)으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.

[0236] 따라서 상기한 바와 같이 각각의 분석시스템(80)들이 서로 통신하여 각종 데이터를 주고받도록 하는 동시에, 서버의 요청에 따라, 또는, 미리 정해진 설정에 따라 주기적으로 모니터링 데이터를 서버로 각각 전송하도록 구성됨으로써, 방대한 양의 시험 데이터를 수집하는 작업이 용이하게 수행될 수 있다.

[0238] 아울러, 본 발명의 실시예에 따른 분석시스템(80)은, 도시되지는 않았으나, 상기한 바와 같이 하여 구축되는 탄소복합소재의 감쇠특성에 대한 데이터를 사용자가 각각의 분석시스템(80) 또는 서버에 요청하고 전달받기 위한 사용자 단말기를 더 포함하여 구성될 수 있다.

[0240] 여기서, 상기한 사용자 단말기(82)는, 예를 들면, PC와 같은 단말장치를 이용하여 구성될 수 있고, 바람직하게는, 스마트폰이나 태블릿 PC 또는 노트북 등과 같이, 개인이 휴대 가능한 정보통신 단말기에 전용의 어플리케이션을 설치하여 구성될 수도 있으나, 본 발명은 반드시 이러한 구성으로만 한정되는 것은 아니며, 즉, 본 발명은 본 발명의 취지 및 본질을 벗어나지 않는 범위 내에서 당업자에 의해 필요에 따라 다양하게 수정 및 변경하여 구성될 수 있는 것임에 유념해야 한다.

[0242] 따라서 상기한 바와 같이 하여 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템을 구현할 수 있으며, 그것에 의해, 본 발명에 따르면, 탄소복합소재의 동적특성이 선형적인 거동으로 나타난다는 가정하에 탄소복합소재의 감쇠특성을 점성감쇠계수로 표현하고, 해당 점성감쇠계수를 탄소섬유의 점성감쇠계수와 결합제 매트릭스의 점성감쇠계수의 병렬 조합으로 나타내어 탄소복합소재의 점성감쇠계수가 탄소섬유 방향에 따라 어떠한 민감도를 나타내는지를 분석한 결과에 근거하여, 탄소섬유의 방향에 따라 변화가 없는 결합매트릭스 관련 점성감쇠계수를 제거하고 탄소섬유의 점성감쇠계수만으로 탄소복합소재의 민감도 지수를 산출하여, 기존의 분석방법으로는 알 수 없었던 탄소섬유의 점성감쇠계수가 공진점(또는 탄성계수)의 변화와 비례관계인 것을 확인하도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템이 제공됨으로써, 모달 감쇠비의 측정 데이터에서 탄소섬유 방향에 따라 직접적인 영향을 미치는 탄소섬유의 점성감쇠계수 값을 분리하여 민감도 지수를 도출하는 것에 의해 탄소섬유 방향에 따른 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 물리적으로 정확하게 분석할 수 있다.

[0244] 또한, 본 발명에 따르면, 상기한 바와 같이 탄소섬유의 점성감쇠계수만을 이용하여 기존의 방식에 비해 보다 정확하게 탄소복합소재의 감쇠특성 변화를 분석할 수 있도록 구성되는 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복

합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템이 제공됨으로써, 예를 들면, 탄소 섬유강화 플라스틱(CFRP) 소재 등과 같이, 탄소섬유를 포함하여 이루어지는 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석하기 위해 모달시험을 통하여 얻어진 모달 감쇠비가 이용되고 있으나, 실제 탄소복합소재의 감쇠특성은 선형 시스템이라는 가정하에 점성감쇠계수로 나타내어야 하고, 점성감쇠계수는 탄소섬유 방향에 따라 모달 감쇠비에만 종속되지 않고 공진점의 변화에도 영향을 받음으로 인해 모달 감쇠비만으로 점성감쇠계수의 변화를 나타낼 수 없으며, 모달 감쇠비에는 탄소섬유와 결합제의 모달특성이 모두 포함되어 있음으로 인해 민감도 분석 과정에서 오류가 발생하는 한계가 있었던 종래기술의 탄소복합소재 감쇠특성 분석방법들의 문제점을 해결할 수 있다.

[0246] 이상, 상기한 바와 같은 본 발명의 실시예를 통하여 본 발명에 따른 탄소섬유의 점성감쇠계수를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석방법 및 이를 이용한 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템의 상세한 내용에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상기한 실시예에 기재된 내용으로만 한정되는 것은 아니며, 따라서 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 설계상의 필요 및 기타 다양한 요인에 따라 여러 가지 수정, 변경, 결합 및 대체 등이 가능한 것임은 당연한 일이라 하겠다.

부호의 설명

[0248] 80. 탄소복합소재의 감쇠특성 분석시스템

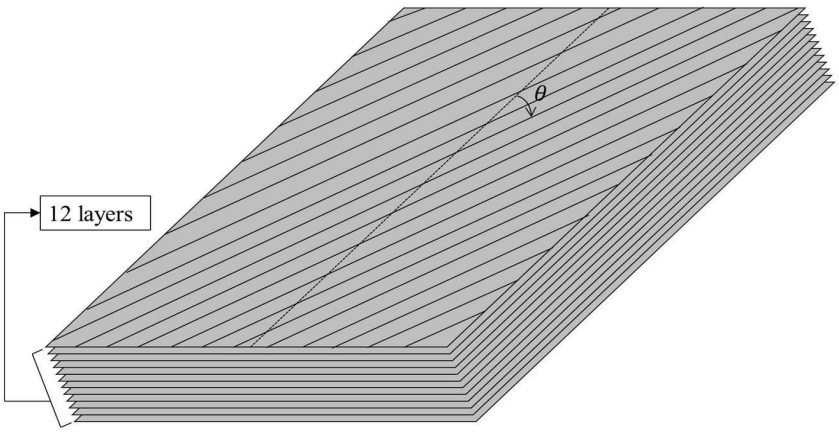
81. 데이터 수집부 82. 데이터 분석부

83. 출력부 84. 통신부

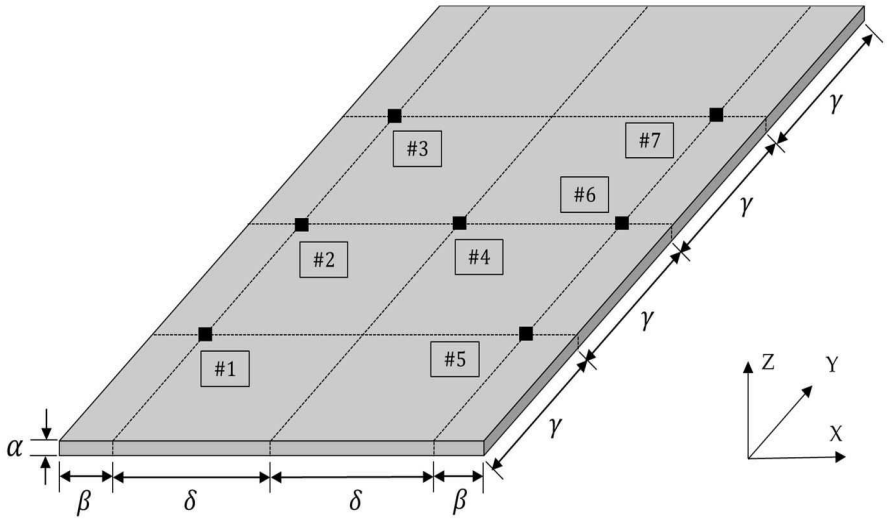
85. 제어부

도면

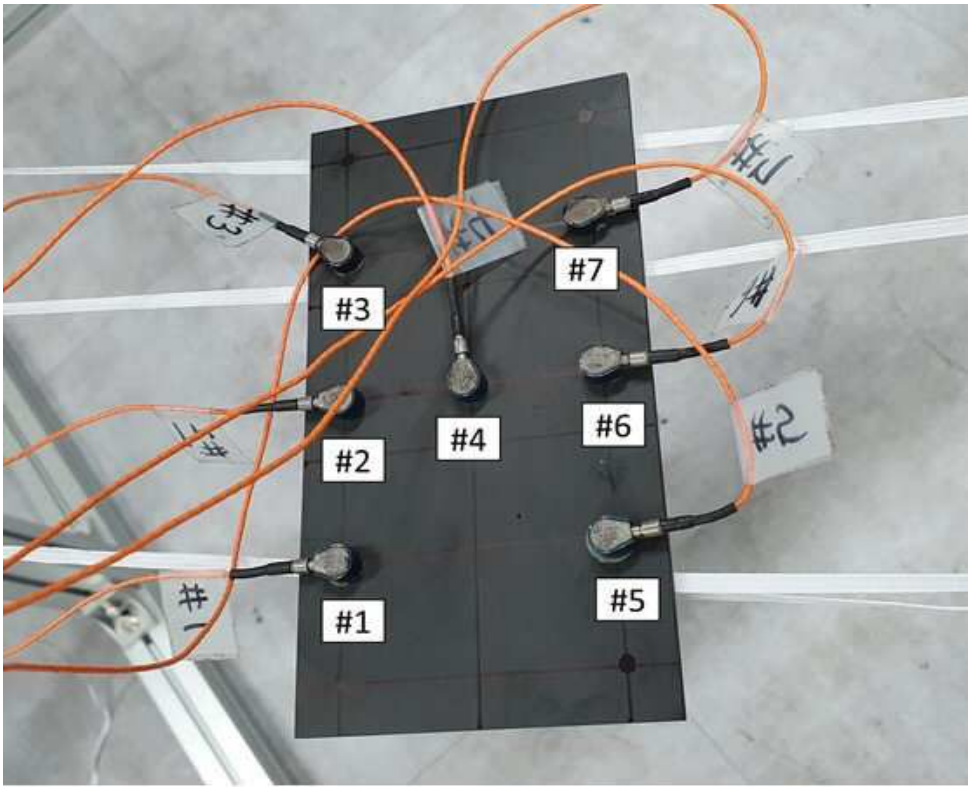
도면1



도면2



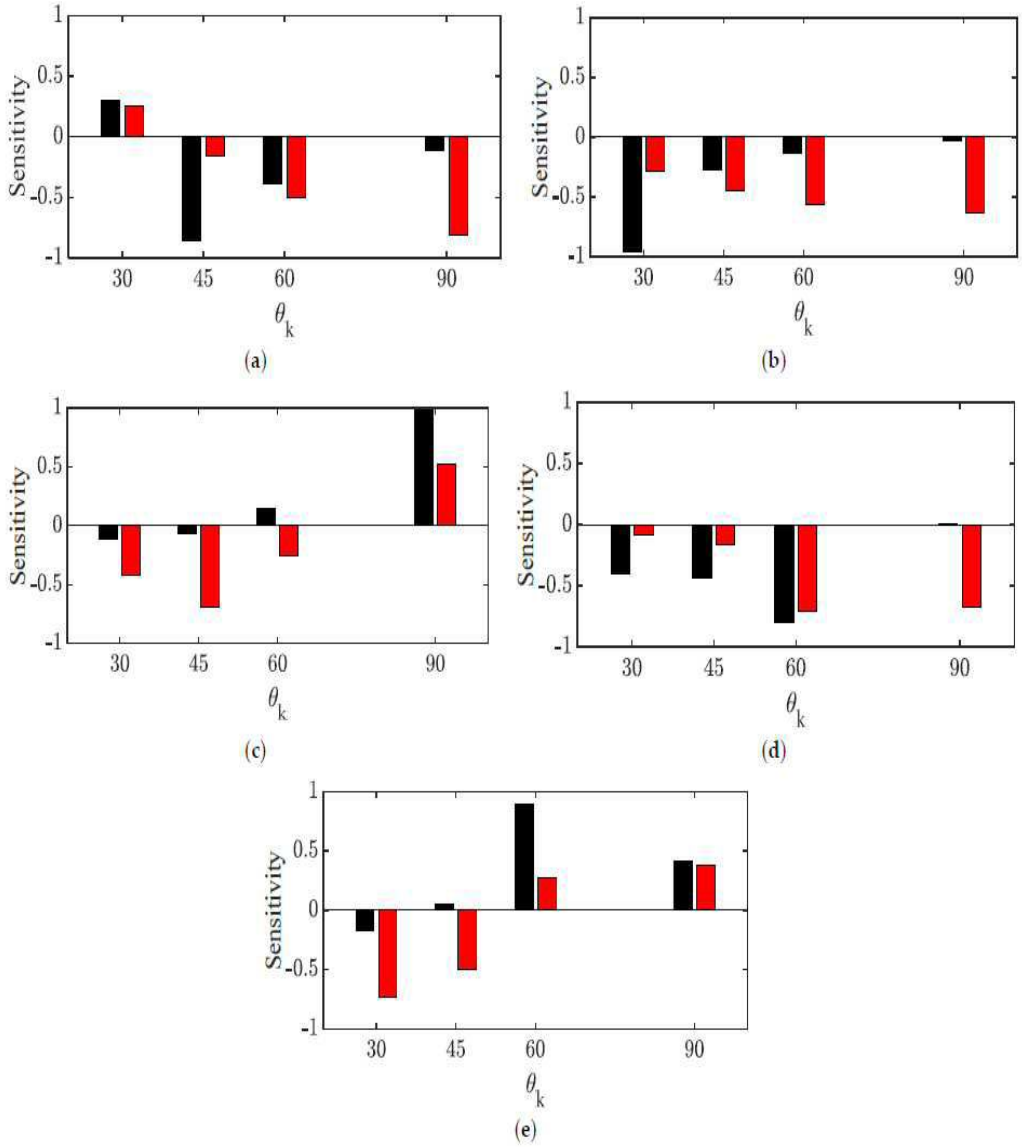
도면3



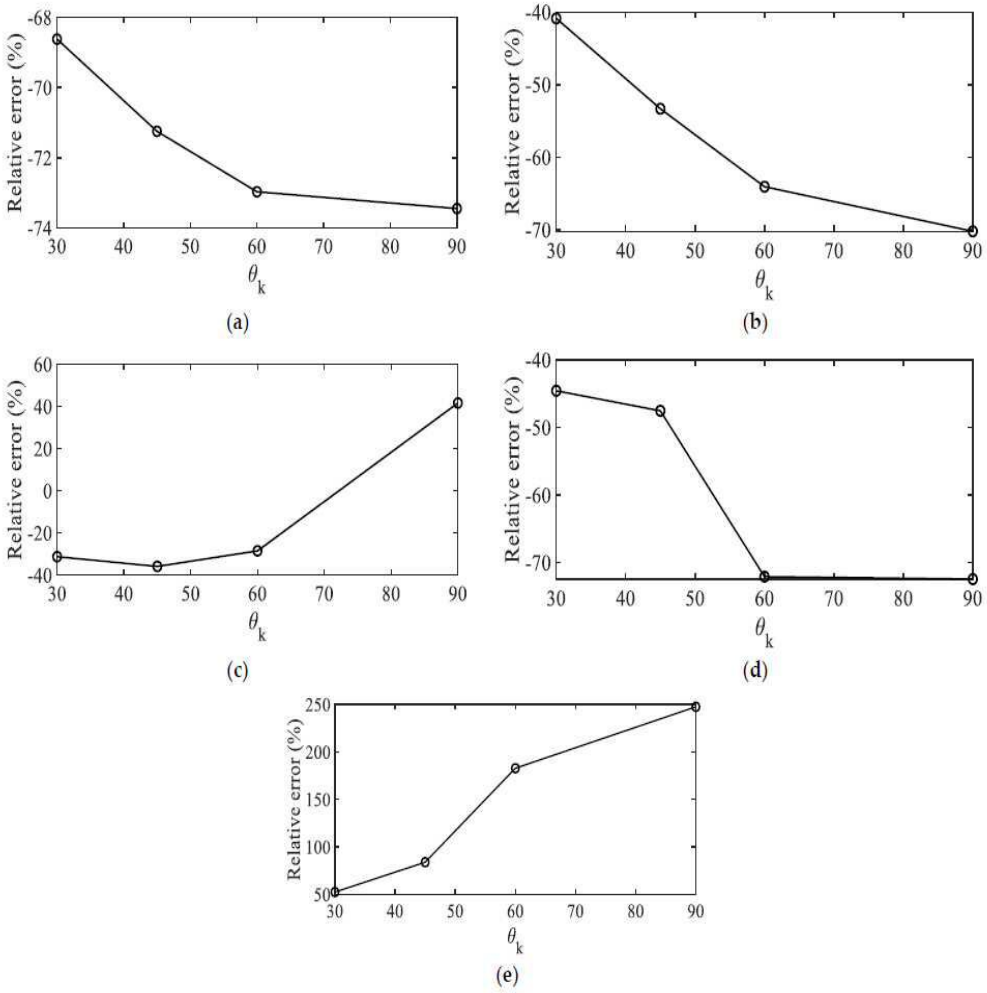
도면4

Specimen	Resonance Frequency (Hz)	Modal Damping Coefficient (%)	Mode Shape
$\theta_0 = 0°$	1149.1	0.4	Bending (first)
	1276.1	2.5	Twisting (first)
	1368.7	1.3	Twisting (second)
	2990.9	1.3	Bending (second)
	951.0	5.3	Bending (third)
$\theta_1 = 30°$	360.6	0.39	Bending (first)
	754.5	0.21	Twisting (first)
	941.1	0.82	Twisting (second)
	1657.6	0.01	Bending (second)
	1450.4	0.55	Bending (third)
$\theta_2 = 45°$	330.4	1.3	Bending (first)
	595.6	1.4	Twisting (first)
	878.0	1.0	Twisting (second)
	1568.9	1.2	Bending (second)
	1749.2	1.5	Bending (third)
$\theta_3 = 60°$	310.6	1.1	Bending (first)
	458.5	1.5	Twisting (first)
	979.0	1.3	Twisting (second)
	835.0	0.9	Bending (second)
	2690.4	3.9	Bending (third)
$\theta_4 = 90°$	305.1	0.9	Bending (first)
	380.0	1.7	Twisting (first)
	1938.5	3.7	Twisting (second)
	824.1	0.9	Bending (second)
	3305.1	5.3	Bending (third)

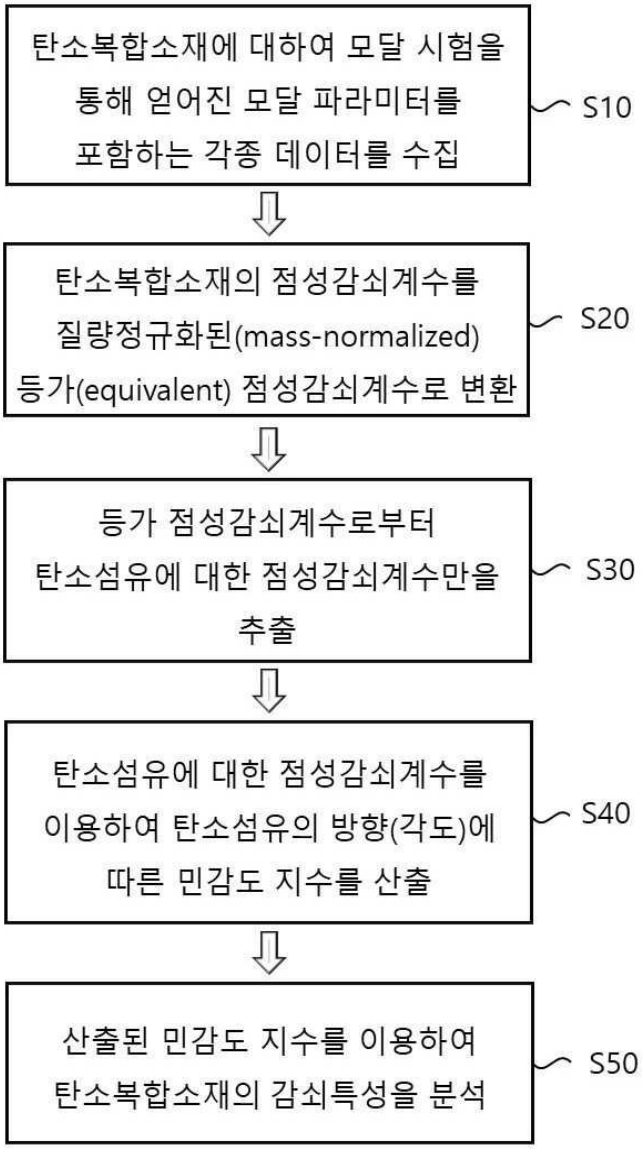
도면5



도면6


Relative error (%)
-68
-70
-72
-74
30 40 50 60 70 80 90
θ_k
(a)
Relative error (%)
-40
-50
-60
-70
30 40 50 60 70 80 90
θ_k
(b)
Relative error (%)
60
40
20
0
-20
-40
30 40 50 60 70 80 90
θ_k
(c)
Relative error (%)
-40
-50
-60
-70
30 40 50 60 70 80 90
θ_k
(d)
Relative error (%)
250
200
150
100
50
30 40 50 60 70 80 90
θ_k
(e)

도면7


탄소복합소재에 대하여 모달 시험을 통해 얻어진 모달 파라미터를 포함하는 각종 데이터를 수집
S10
탄소복합소재의 점성감쇠계수를 질량정규화된(mass-normalized) 등가(equivalent) 점성감쇠계수로 변환
S20
등가 점성감쇠계수로부터 탄소섬유에 대한 점성감쇠계수만을 추출
S30
탄소섬유에 대한 점성감쇠계수를 이용하여 탄소섬유의 방향(각도)에 따른 민감도 지수를 산출
S40
산출된 민감도 지수를 이용하여 탄소복합소재의 감쇠특성을 분석
S50

도면8

