



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0062813
(43) 공개일자 2020년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/04 (2006.01) G01N 1/28 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 27/04 (2013.01)
G01N 1/28 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0148674
(22) 출원일자 2018년11월27일
심사청구일자 2018년11월27일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
박영빈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
이인용
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
노형도
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
전용준

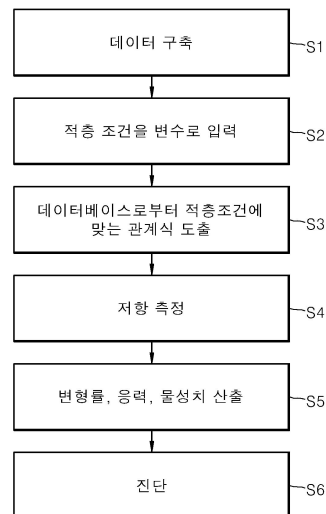
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 탄소섬유복합재의 손상 예측 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은, 탄소섬유 플라이의 섬유 방향이나 적층 순서를 포함하는 적층 조건에 따라 달라지는 변형률과 저항 변화율을 데이터베이스로 구축함으로써, 탄소섬유복합재의 사용시 적층조건만을 입력하고 저항을 측정하면 현재 변형률을 산출할 수 있으므로, 산출된 변형률을 이용하여 손상을 진단하거나 예측할 수 있다.

대표도 - 도5



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711065971

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 집단연구지원

연구과제명 산업수요기반 고효율 · 안전 항공핵심기술 연구센터

기 여 율 1/1

주관기관 경상대학교

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

탄소섬유 플라이의 섬유방향, 적층순서 및 적층수를 포함하는 적층조건을 각각 다르게 하여 복수의 탄소섬유복합재 인장시편들을 제조하고, 상기 탄소섬유복합재 인장시편마다 복수의 채널들을 형성하도록 복수의 전극들을 구비하고 인장 시험을 실시하여, 변형률에 따라 달라지는 전기저항 변화율을 측정하고 측정된 데이터로부터 적층조건마다 상기 변형률과 상기 전기저항 변화율의 관계를 나타내는 적층조건별 저항-변형률 관계식을 도출하고 데이터베이스로 구축하는 데이터 구축단계와;

손상을 진단하고자 하는 탄소섬유복합재에 포함된 탄소섬유 플라이들의 상기 적층 조건을 변수로 입력하는 입력단계와;

상기 적층 조건이 입력되면, 제어부는 상기 데이터베이스로부터 상기 입력단계에서 입력된 적층조건에 맞는 적층조건별 저항-변형률 관계식을 도출하는 관계식 도출단계와;

상기 탄소섬유복합재에 상기 복수의 전극들을 구비하여, 저항측정모듈이 전기저항 변화율을 실시간으로 측정하는 저항 측정단계와;

상기 저항 측정단계에서 전기저항 변화율이 측정되면, 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식으로부터 상기 측정된 전기저항 변화율에 대한 상기 탄소섬유복합재의 변형률을 산출하는 산출단계를 포함하는 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 데이터 구축단계에서는,

상기 적층조건에 따른 상기 변형률과 인장 응력의 관계를 나타내는 적층조건별 응력-변형률 관계식을 구축하는 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 산출단계는, 상기 적층조건별 응력-변형률 관계식으로부터 상기 산출된 변형률에 대한 응력을 산출하는 과정을 더 포함하는 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 데이터 구축단계에서는,

상기 인장시험시 상기 적층조건마다 인장 모듈러스, 푸아송 비(Poisson's ratio) 및 전단 탄성 모듈러스에 대한 데이터를 구축하는 것을 더 포함하고,

상기 산출단계는, 상기 산출된 변형률에 대한 상기 인장 모듈러스, 상기 푸아송 비 및 상기 전단 탄성 모듈러스를 산출하는 산출하는 과정을 더 포함하는 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 제어부는,

상기 산출된 변형률을 상기 복수의 채널들 위치에 따라 표시하여 상기 탄소섬유복합재의 변형률 분포로 나타내

는 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법.

청구항 6

청구항 3에 있어서,

상기 제어부는,

상기 산출된 응력을 상기 복수의 채널들 위치에 따라 표시하여 상기 탄소섬유복합재의 응력 분포로 나타내는 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법.

청구항 7

청구항 3에 있어서,

상기 제어부는,

상기 산출된 응력을 상기 데이터베이스에 구축된 최대 허용 응력과 비교하여, 상기 탄소섬유복합재의 수명을 예측하는 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법.

청구항 8

복수의 탄소섬유 플라이들이 적층되어 형성된 탄소섬유복합재에서 서로 소정간격 이격된 위치에 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 구비된 복수의 전극들과;

상기 복수의 채널들의 저항 변화를 측정하는 저항측정모듈과;

상기 탄소섬유 플라이의 섬유방향, 적층순서 및 적층수를 포함하는 적층조건에 따라 상기 채널에서 측정된 전기 저항 변화율과 변형률의 관계를 나타내는 적층조건별 저항-변형률 관계식과, 상기 적층조건에 따라 상기 변형률과 인장 응력의 관계를 나타내는 응력-변형률 관계식이 저장된 데이터베이스와;

손상을 진단하고자 하는 탄소섬유복합재에 포함된 탄소섬유 플라이들의 상기 적층 조건을 변수로 입력하는 입력부와;

상기 저항측정모듈에서 저항 변화를 측정하면, 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식으로부터 상기 채널들에서 변형률을 산출하고, 상기 적층조건별 응력-변형률 관계식으로부터 상기 탄소섬유복합재에 가해지는 응력을 산출하는 제어부를 포함하는 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 탄소섬유복합재의 손상 예측 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 탄소섬유플라이의 섬유방향, 적층 순서 및 적층수를 포함하는 적층조건에 따라 다른 변형률과 전기저항 변화율의 관계를 데이터로 구축하여, 탄소섬유복합재의 손상을 미리 예측할 수 있는 탄소섬유복합재의 손상 예측 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 탄소섬유강화플라스틱(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)은 탄소섬유를 강화재로 사용하는 복합재료이다. 탄소섬유강화플라스틱은 고강도, 고강성의 경량 구조재로서 비행기, 자동차, 로봇 등 다양한 분야에 활발하게 이용되고 있다. 비행기, 자동차, 로봇 등 다양한 구조물은 높은 안정성이 요구되는 구조체이기 때문에, 손상을 검출할 수 있는 기술에 대한 관심이 증대되고 있다.

[0003] 종래에는 구조물과 별도로 변형이나 손상을 측정할 수 있는 센서 등을 추가적으로 설치하여 검사하고자 하는 특정 부분의 검사를 실시하거나, 음향 센서 등 검사 장비를 통해 스캔 하거나, 육안 등으로 손상 여부를 판단하였다.

[0004] 그러나, 센서를 추가 설치하는 경우 비용이 많이 드는 문제점이 있을 뿐만 아니라, 검사 대상이 되는 부분이 매우 광범위하므로 센서의 설치에는 한계가 있다. 또한, 검사 장비를 이용하거나 육안으로 검사할 경우 이미 파손이나 손상이 발생된 이후에서야 확인이 가능하기 때문에 안전성 확보에 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1610710

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은, 탄소섬유복합재의 손상을 미리 예측하고 진단할 수 있는 탄소섬유복합재의 손상 예측 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법은, 탄소섬유 플라이의 섬유방향, 적층순서 및 적층수를 포함하는 적층조건을 각각 다르게 하여 복수의 탄소섬유복합재 인장시편들을 제조하고, 상기 탄소섬유복합재 인장시편마다 복수의 채널들을 형성하도록 복수의 전극들을 구비하고 인장 시험을 실시하여, 변형률에 따라 달라지는 전기저항 변화율을 측정하고 측정된 데이터로부터 적층조건마다 상기 변형률과 상기 전기저항 변화율의 관계를 나타내는 적층조건별 저항-변형률 관계식을 도출하고 데이터베이스로 구축하는 데이터 구축단계와; 손상을 진단하고자 하는 탄소섬유복합재에 포함된 탄소섬유 플라이들의 상기 적층 조건을 변수로 입력하는 입력단계와; 상기 적층 조건이 입력되면, 제어부는 상기 데이터베이스로부터 상기 입력단계에서 입력된 적층조건에 맞는 적층조건별 저항-변형률 관계식을 도출하는 관계식 도출단계와; 상기 탄소섬유복합재에 상기 복수의 전극들을 구비하여, 저항측정모듈이 전기저항 변화율을 실시간으로 측정하는 저항 측정단계와; 상기 저항 측정단계에서 전기저항 변화율이 측정되면, 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식으로부터 상기 측정된 전기저항 변화율에 대한 상기 탄소섬유복합재의 변형률을 산출하는 산출단계를 포함한다.

[0008] 본 발명에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 시스템은, 복수의 탄소섬유 플라이들이 적층되어 형성된 탄소섬유복합재에서 서로 소정간격 이격된 위치에 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 구비된 복수의 전극들과; 상기 복수의 채널들의 저항 변화를 측정하는 저항측정모듈과; 상기 탄소섬유 플라이의 섬유방향과 적층순서를 포함하는 적층조건에 따라 상기 채널에서 측정된 전기저항 변화율과 변형률의 관계를 나타내는 적층조건별 저항-변형률 관계식과, 상기 적층조건에 따라 상기 변형률과 인장 응력의 관계를 나타내는 응력-변형률 관계식이 저장된 데이터베이스와; 손상을 진단하고자 하는 탄소섬유복합재에 포함된 탄소섬유 플라이들의 상기 적층 조건을 변수로 입력하는 입력부와; 상기 저항측정모듈에서 저항 변화를 측정하면, 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식으로부터 상기 채널들에서 변형률을 산출하고, 상기 적층조건별 응력-변형률 관계식으로부터 상기 탄소섬유복합재에 가해지는 응력을 산출하는 제어부를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명은, 탄소섬유 플라이의 섬유 방향이나 적층 순서를 포함하는 적층 조건에 따라 달라지는 변형률과 저항 변화율을 데이터베이스로 구축함으로써, 탄소섬유복합재의 사용시 적층조건만을 입력하고 저항을 측정하면 현재 변형률을 산출할 수 있으므로, 산출된 변형률을 이용하여 손상을 진단하거나 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 시스템을 개략적으로 나타낸 블록도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측을 위한 탄소섬유복합재 인장 시편의 예를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 섬유방향과 적층순서를 다르게 한 예를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유 플라이들의 섬유방향과 적층 순서에 따른 인장 시험 데이터를 나타낸 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법을 나타낸 순서도이다.

도 6은 일 예의 적층조건에 따른 탄소섬유복합재의 전기저항 변화율, 변형률, 응력 및 물성치의 관계를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0012] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 시스템을 개략적으로 나타낸 블록도이다.
- [0013] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 시스템은, 탄소섬유복합재(20)에 구비된 복수의 전극들(11), 상기 전극들로부터 저항을 측정하는 저항측정모듈(12), 인장 시험 결과가 저장된 데이터베이스(13), 적층조건을 입력하기 위한 입력부(14) 및 제어부(15)를 포함한다.
- [0014] 상기 탄소섬유복합재(20)는, 복수의 탄소섬유 플라이들(21)이 적층되어 형성된다. 상기 탄소섬유복합재(20)는, 상기 탄소섬유 플라이들(21)의 섬유 방향과 적층 순서를 포함하는 적층 조건을 다양하게 하여 제조될 수 있다.
- [0015] 상기 섬유 방향은, 상기 탄소섬유 플라이들(21)에 포함된 탄소섬유의 길이방향을 의미하고, 섬유 각도, 섬유 배열 각도 등이라고도 한다. 여기서, 상기 섬유 방향은 인장 시편(30)의 인장 방향(y)을 0도, 상기 인장 방향(y)에 수직한 폭 방향(x)을 90도라고 한다. 본 실시예에서는, 상기 탄소섬유 플라이들(21)의 섬유방향이 0도 또는 90도인 것으로 예를 들어 설명하나, 0도에서 90도 사이의 각도로 배열되는 것도 물론 가능하다.
- [0016] 상기 적층 순서는, 상기 탄소섬유 플라이들(21) 중에서 상기 섬유 방향이 0도인 0도 플라이(21a)와 상기 섬유 방향이 90도인 90도 플라이(21b)가 적층되는 순서이다.
- [0017] 도 3을 참조하면, 총 8장의 탄소섬유 플라이들(21)을 적층하되, 0도 플라이와 90도 플라이의 적층 순서를 다르게 한 예를 나타낸다. 다만, 이에 한정되지 않고 상기 섬유 방향이 30도나 45도인 것을 사용하는 것도 물론 가능하며, 8장 이외의 개수로 적층하는 것도 물론 가능하다.
- [0018] 도 3a는 0도 플라이가 8장 적층된 것을 나타낸다. 도 3b는 0도 플라이가 3장, 90도 플라이가 1장이 순서대로 적층되어 하나의 세트를 이루고, 2개의 상기 세트가 상하방향으로 대칭을 이루도록 적층된 것을 나타낸다. 도 3c는 90도 플라이가 8장 적층된 것을 나타낸다. 이에 한정되지 않고, 0도 플라이와 90도 플라이의 적층순서를 다양하게 바꾸어 탄소섬유복합재를 제조할 수 있다. 도 3d는 0도 플라이가 2장, 90도 플라이가 2장이 순서대로 적층되어 하나의 세트를 이루고, 2개의 상기 세트가 상하방향으로 대칭을 이루도록 적층된 것을 나타낸다. 도 3e는 0도 플라이가 1장, 90도 플라이가 3장이 순서대로 적층되어 하나의 세트를 이루고 상기 세트를 상하방향으로 대칭을 이루도록 2개 배치한 것을 나타낸다.
- [0019] 상기 전극들(11)은, 상하방향 또는 좌우방향 또는 길이방향으로 서로 소정간격 이격되게 복수개가 구비된다. 상기 전극들(11)은 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 구비된다.
- [0020] 상기 저항측정모듈(12)은, 상기 채널들의 저항을 측정하는 장치이다.
- [0021] 상기 입력부(14)는, 손상을 진단하고자 하는 진단 대상물인 탄소섬유복합재의 적층조건을 변수로 입력하는 장치이다.
- [0022] 상기 데이터베이스(13)에는, 상기 탄소섬유 플라이들의 섬유방향과 적층순서에 따라 다른 인장 시험 결과가 데이터로 저장된다.
- [0023] 상기 데이터베이스(13)에는 적층조건별 저항-변형률 관계식이 저장된다. 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식은, 적층조건을 다르게 한 복수의 탄소섬유복합재 인장시편들(10)을 인장시험하여, 인장시험시 전기저항 변화율을 측정하고 측정된 데이터로부터 변형률과 상기 전기저항 변화율의 관계를 나타내도록 도출된 것이다.
- [0024] 또한, 상기 데이터베이스(13)에는 적층조건별 응력-변형률 관계식이 저장된다. 상기 적층조건별 응력-변형률 관계식은, 상기 인장시험시 측정된 데이터로부터 변형률과 응력의 관계를 나타내도록 도출된 것이다.
- [0025] 도 4를 참조하면, 상기 인장시험을 통해 구축한 데이터를 나타낸다.
- [0026] 도 4a는 도 3a에 도시된 탄소섬유 플라이들이 적층된 탄소섬유복합재의 데이터이고, 도 4b는 도 3b에 도시된 탄소섬유 플라이들이 적층된 탄소섬유복합재의 데이터이고, 도 4c는 도 3c에 도시된 탄소섬유 플라이들이 적층된 탄소섬유복합재의 데이터이고, 도 4d는 도 3d에 도시된 탄소섬유 플라이들이 적층된 탄소섬유복합재의 데이터이고, 도 4e는 도 3e에 도시된 탄소섬유 플라이들이 적층된 탄소섬유복합재의 데이터를 나타낸다.

- [0027] 도 4a 내지 도 4e를 참조하면, 상기 탄소섬유 플라이의 섬유방향과 적층순서에 따라 전기저항 변화율과 변형률의 관계가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 상기 섬유방향과 상기 적층순서에 따라 변형률과 응력의 관계도 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.
- [0028] 도 4에 나타난 데이터들로부터 적층조건별 저항-변형률 관계식과, 적층조건별 응력-변형률 관계식을 각각 도출할 수 있다.
- [0029] 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식과 상기 적층조건별 응력-변형률 관계식은 매트랩 등 연산 프로그램에 저장될 수 있다.
- [0030] 상기 제어부(15)는 상기 저항측정모듈(12)과 유,무선 통신을 수행하여, 측정된 데이터를 상기 데이터베이스(13)에 저장하고, 상기 데이터베이스(13)에 저장된 데이터를 이용하여 손상을 진단하거나 예측할 수 있다.
- [0031] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법을 나타낸 순서도이다. 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 변형률과 응력을 나타낸 그래프이다.
- [0032] 도 5 및 도 6을 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법을 설명하면, 다음과 같다.
- [0033] 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유복합재의 손상 예측 방법은, 데이터 구축단계(S1), 상기 적층 조건을 변수로 입력하는 입력단계(S2), 상기 데이터베이스로부터 관계식을 도출하는 관계식 도출단계(S3), 저항 측정단계(S4), 변형률, 응력 및 물성치 중 적어도 하나를 산출하는 산출단계(S5) 및 상기 산출단계에서 산출된 값으로부터 손상을 진단하거나 예측하는 진단단계(S6)를 포함한다.
- [0034] 먼저, 상기 데이터 구축 단계(S1)에서는, 복수의 탄소섬유 인장시편들(10)을 제조하여, 각각 인장시험을 하여 데이터를 구축한다.
- [0035] 상기 데이터 구축 단계(S1)는, 상기 복수의 탄소섬유 인장시편들(10)을 제조하는 과정, 인장 시험을 실시하는 과정, 저항을 측정하는 과정, 측정한 데이터로부터 관계식들을 도출하고 데이터베이스로 구축하는 과정을 포함한다.
- [0036] 상기 복수의 탄소섬유 인장시편들(10)은 각각 크기, 두께, 폭은 동일하게 설정되나, 탄소섬유 플라이의 섬유방향과 적층순서를 다르게 하여 제조된다.
- [0037] 도 3을 참조하면, 본 실시예에서는 총 8장의 탄소섬유 플라이들을 적층하되, 상기 섬유방향이 0도인 0도 플라이(21a)와 상기 섬유방향이 90도인 90도 플라이(21b)의 적층 개수와 적층 순서를 다르게 하여 총 5개의 시편을 제조한 것으로 예를 들어 설명한다. 다만, 이에 한정되지 않고, 상기 섬유방향, 상기 적층순서, 적층수는 다양하게 조절할 수 있다.
- [0038] 상기 복수의 탄소섬유 인장시편들(10)을 제조한 다음, 상기 복수의 탄소섬유 인장시편들(10)마다 각각 복수의 전극들(11)을 구비하고, 인장 시험을 실시한다.
- [0039] 상기 인장시험은 상기 탄소섬유 인장시편(10)을 인장 시험기에 장착하고, 상기 탄소섬유 인장시편(10)의 양단을 잡고 늘리는 시험이다.
- [0040] 상기 인장시험이 실시되는 동안, 시간에 따른 저항, 변형률 및 인장 응력의 변화를 측정한다.
- [0041] 또한, 상기 적층조건마다 인장 모듈러스, 푸아송 비(Poisson's ratio) 및 전단 탄성 모듈러스의 변화에 대한 데이터도 구축할 수 있다.
- [0042] 도 4는 도 3에 도시된 상기 5개의 시편들 각각에 대한 측정 데이터를 나타낸다.
- [0043] 상기 측정 데이터를 상기 데이터베이스(13)로 구축하고, 상기 측정 데이터로부터 상기 적층조건에 따른 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식과, 상기 적층조건별 응력-변형률 관계식을 도출한다.
- [0044] 이후, 상기 입력단계(S2)에서는, 사용자나 검사자는 손상을 진단하고자 하는 탄소섬유복합재에 포함된 탄소섬유 플라이들의 적층 조건을 변수로 입력한다.
- [0045] 상기 적층 조건은 상기 탄소섬유 플라이의 섬유 방향과 적층 순서를 포함한다. 상기 섬유 방향과 상기 적층 순서는 상기 탄소섬유복합재의 제조사로부터 공급받을 수 있다. 다만, 이에 한정되지 않고, 상기 탄소섬유 플라이의 크기도 입력할 수 있다.

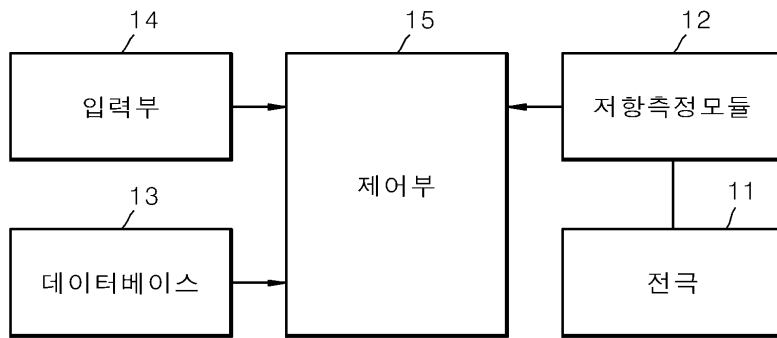
- [0046] 상기 입력단계(S2)에서 상기 적층 조건이 입력되면 상기 제어부(15)는 상기 데이터베이스(13)로부터 상기 적층 조건에 맞는 관계식을 도출하는 상기 관계식 도출단계(S3)를 수행한다.
- [0047] 즉, 상기 데이터베이스(13)에는 복수의 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식들이 저장되어 있으므로, 상기 복수의 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식들 중에서 상기 적층 조건에 맞는 저항-변형률 관계식을 도출한다. 또한, 상기 복수의 상기 적층조건별 응력-변형률 관계식들 중에서 상기 적층 조건에 맞는 응력-변형률 관계식을 도출한다.
- [0048] 상기 입력단계(S2)에서 입력된 적층 조건에 맞는 관계식이 도출되면, 도 6에 도시된 바와 같은 그래프를 얻을 수 있다.
- [0049] 도 6은 일 예의 적층조건에 따른 탄소섬유복합재의 전기저항 변화율, 변형률, 응력 및 물성치의 관계를 나타낸 그래프이다.
- [0050] 상기 저항 측정단계(S4)에서는 상기 저항측정모듈(12)이 상기 탄소섬유복합재에서 실시간으로 저항을 측정한다.
- [0051] 상기 저항측정모듈(12)에서 저항을 측정하면, 상기 제어부(15)는 측정된 저항으로부터 전기저항 변화율($\Delta R/R$)을 계산한다.
- [0052] 상기 관계식 도출단계(S3)와 상기 저항 측정단계(S4)는 서로 순서가 바뀌거나 동시에 수행되는 것도 가능하다.
- [0053] 상기 전기저항 변화율($\Delta R/R$)이 계산되면, 상기 제어부(15)는 상기 탄소섬유복합재의 변형률, 응력 및 물성치 등을 산출하는 산출단계(S5)를 수행한다.
- [0054] 상기 산출단계(S5)에서는, 상기 적층조건별 저항-변형률 관계식에 현재의 상기 전기저항 변화율($\Delta R/R$)을 대입하여, 상기 탄소섬유복합재의 변형률을 산출한다.
- [0055] 즉, 도 6a를 참조하면, 상기 전기 저항 변화율 중에 하나의 제1저항 변화율(R_1)을 알면, 상기 제1저항 변화율(R_1)에 대한 제1변형률(ϵ_1)을 알 수 있다.
- [0056] 또한, 상기 산출단계(S5)에서는 상기 적층조건별 응력-변형률 관계식에 상기 변형률을 대입하여, 상기 탄소섬유복합재의 응력을 산출할 수 있다.
- [0057] 즉, 도 6a를 참조하면, 상기 변형률 중에서 어느 하나의 제2변형률(ϵ_2)을 알면, 상기 제2변형률(ϵ_2)에 대한 제1응력(σ_1)을 산출할 수 있다.
- [0058] 또한, 상기 산출단계(S5)에서는 상기 변형률을 이용하여 상기 탄소섬유복합재의 인장 모듈러스(E_L , E_T), 푸아송비(Poisson's ratio)(ν_{LT}) 및 전단 탄성 모듈러스(G_{LT})를 포함하는 물성치 중 적어도 하나를 산출할 수 있다.
- [0059] 상기 적층조건마다 상기 물성치의 변화에 대한 데이터도 상기 데이터베이스에 미리 구축된다.
- [0060] 상기 산출단계(S5)에서 산출된 상기 변형률, 상기 응력 및 상기 물성치에 따라 상기 제어부(15)는 손상을 진단하거나 예측할 수 있다.
- [0061] 또한, 상기 산출단계(S5)에서 산출된 응력을 상기 데이터베이스에 구축된 최대 허용 응력과 비교하여, 상기 탄소섬유복합재의 수명을 예측할 수도 있다.
- [0062] 또한, 상기 산출단계(S5)에서 산출된 응력이나 변형률을 상기 복수의 채널들 위치에 따라 표시하여 상기 탄소섬유복합재의 응력 분포나 변형률 분포로 나타내어 시각적으로 표시하여 진단할 수 있다.
- [0063] 또한, 상기 저항 측정단계(S4)에서 측정된 저항에 따라 센싱 민감도를 출력하여 표시할 수도 있다.
- [0064] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

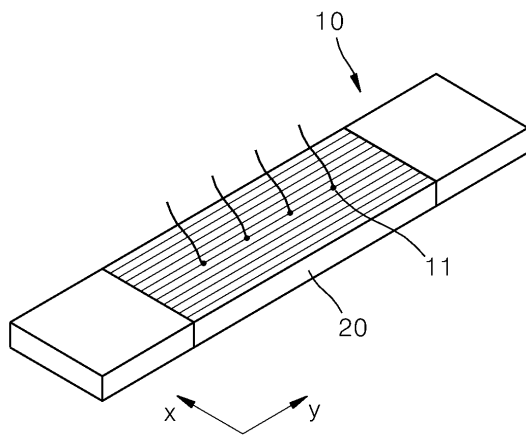
- [0065] 10: 탄소섬유복합재 인장시편 20: 탄소섬유복합재

도면

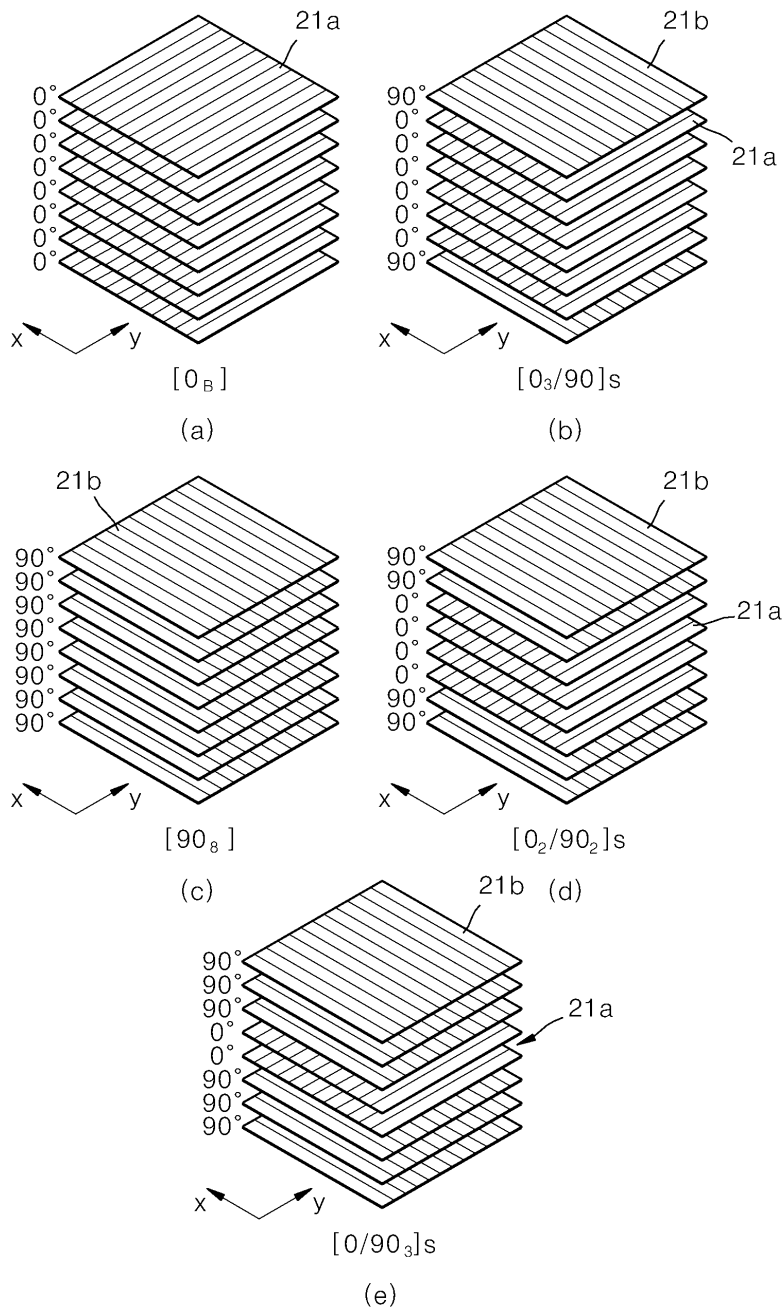
도면1



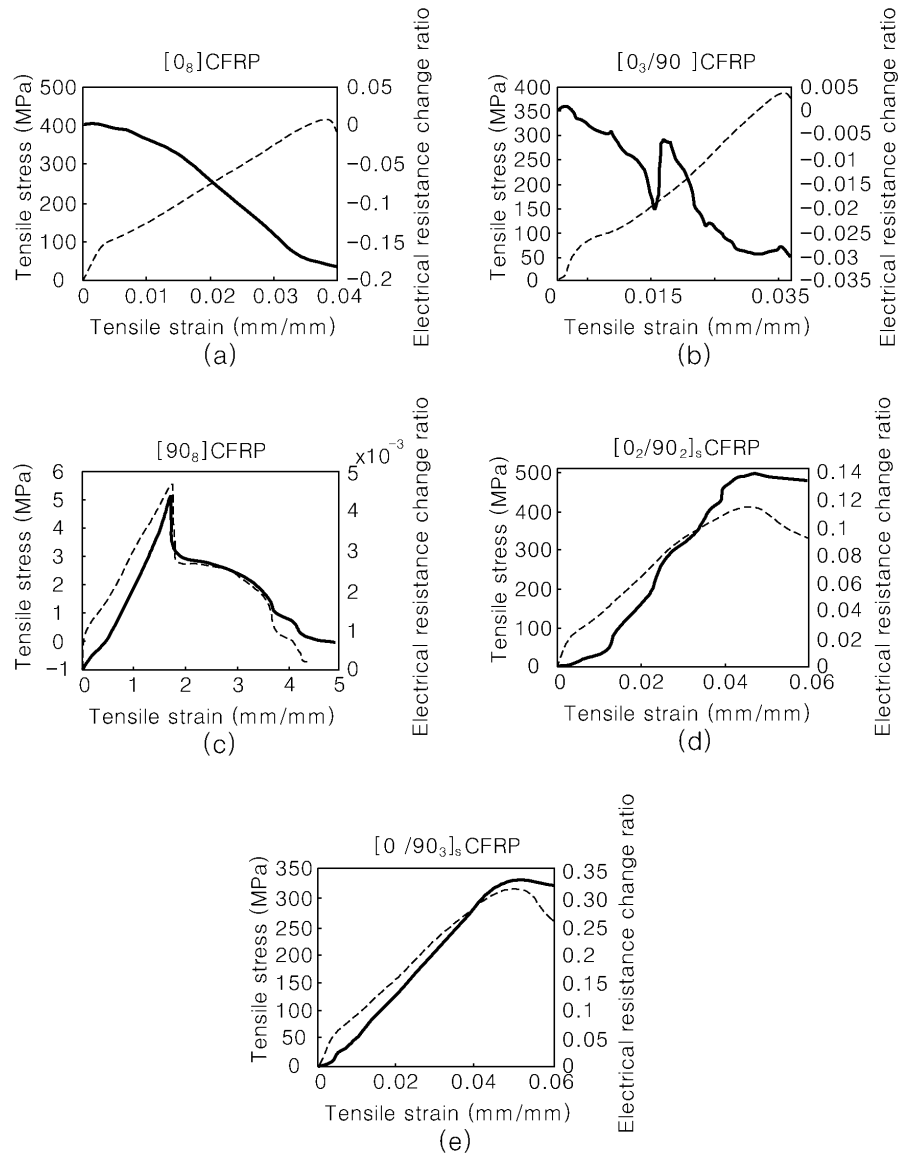
도면2



도면3



도면4



도면5

