



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년08월07일
(11) 등록번호 10-1964880
(24) 등록일자 2019년03월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 17/50 (2006.01) G01N 27/04 (2006.01)
G01N 3/08 (2006.01) G01N 3/20 (2006.01)
G01N 3/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 17/5009 (2013.01)
G01N 27/041 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0178259
(22) 출원일자 2017년12월22일
심사청구일자 2017년12월22일
(56) 선행기술조사문헌
KR101805775 B1
KR1020050040888 A
KR101206566 B1
KR1020080104791 A

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
박영빈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
노형도
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
전용준

전체 청구항 수 : 총 8 항

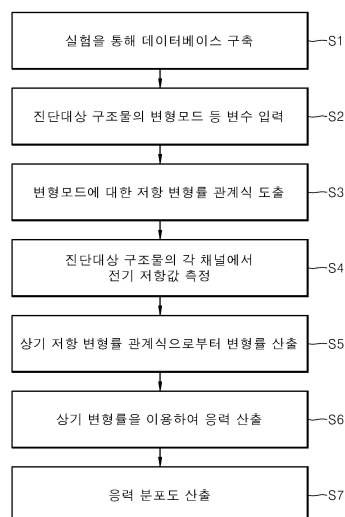
심사관 : 박승철

(54) 발명의 명칭 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은, 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 내부에 복수의 전극들을 배치하고, 상기 복수의 전극들간에 형성된 복수의 채널들에서 저항 변화율을 구하여, 저항변화율과 변형률의 관계식을 데이터베이스로 구축함으로써, 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 전기 저항값을 측정하면 변형률을 산출할 수 있고, 변형률을 이용하여 응력을 진단할 수 있다. 또한, 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 전기 저항값을 측정함으로써, 응력 분포도를 도출할 수 있으므로, FEM을 대체할 수 있는 이점이 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01N 3/08 (2013.01)

G01N 3/20 (2013.01)

G01N 3/24 (2013.01)

G06F 2217/76 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711055847

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 집단연구지원

연구과제명 산업수요기반 고효율·안전 항공핵심기술 연구센터

기 여 율 1/1

주관기관 경상대학교

연구기간 2017.06.01 ~ 2018.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 탄소섬유강화플라스틱 시트들이 적층되고, 내부 상,하측에서 서로 소정간격 이격된 위치에 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 복수의 전극들이 구비된 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력을 진단하는 방법에 있어서,

실험을 통해 복수의 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물들에 굽힘, 인장, 전단 및 박리 중 적어도 하나의 변형모드를 가하고, 상기 변형모드마다 상기 채널들에서 응력과 변형율에 따른 전기 저항값을 측정하여, 상기 변형모드마다 상기 변형율과 저항 변화율의 관계를 나타내는 저항-변형률 관계식을 도출하여, 데이터베이스로 구축하는 단계와;

응력 진단시, 사용자는 응력을 진단하고자 하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 형상정보, 탄성계수, 상기 변형모드를 변수로 입력하는 단계와;

제어부는 상기 데이터베이스로부터 상기 변형모드에 대한 상기 저항-변형률 관계식을 찾아내는 단계와;

상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 내부에 형성된 상기 복수의 채널들에 대해 전기 저항값을 각각 측정하는 단계와;

상기에서 측정한 전기 저항값을 상기 저항-변형률 관계식에 대입하여, 상기 채널들에서 변형율을 산출하는 단계와;

상기 채널들에서 변형율을 산출하면, 상기 변형율과 상기 탄성계수를 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력과 변형율의 관계식에 대입하여, 상기 채널들의 위치에서 응력을 산출하는 단계와;

상기 채널들의 위치에서 산출된 응력을 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물 내부의 응력 분포로 나타내는 단계를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 입력 단계에서 상기 변형모드가 복수개가 입력되면,

상기 제어부는, 상기 데이터베이스로부터 상기 입력된 변형모드들에 대한 각각의 복수의 저항-변형률 관계식들을 찾아내어 조합하여, 상기 복수의 변형모드들에 대한 하나의 저항-변형률 관계식으로 재산출하는 단계를 더 포함하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 재산출하는 단계에서는,

상기 입력단계에서 입력된 형상 정보를 이용하여, 상기 복수의 변형모드들이 각각 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 변형에 미치는 가중치를 산출하고,

상기 입력된 변형모드들에 대한 복수의 저항-변형률 관계식들에 상기 가중치를 각각 적용하여, 하나의 저항-변형률 관계식으로 조합하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는, 상기 복수의 채널들 중에서 압축 응력이 나타나는 채널을 균열 직전 채널로 검출하고,

상기 균열 직전 채널의 검출시 상기 균열 직전 채널의 위치 정보로부터 상기 균열의 위치를 도출하는 탄소섬유

강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는, 상기 복수의 채널들 중에서 인장 응력이 설정 비율 이상으로 증가하는 채널을 균열 틈이 위치한 균열 틈 채널로 검출하고,

상기 균열 틈 채널의 위치 정보로부터 상기 균열의 위치를 도출하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법.

청구항 6

복수의 탄소섬유강화플라스틱 시트들이 적층되고, 내부 상,하측에서 서로 소정간격 이격된 위치에 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 복수의 전극들이 구비된 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력을 진단하는 방법에 있어서,

실험을 통해 복수의 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물들에 굽힘, 인장, 전단 및 박리 중 적어도 하나의 변형모드를 가하고, 상기 변형모드마다 상기 채널들에서 응력과 변형율에 따른 전기 저항값을 측정하여, 상기 변형모드마다 상기 변형율과 저항 변화율의 관계를 나타내는 저항-변형률 관계식을 도출하여, 데이터베이스로 구축하는 단계와;

응력 진단시, 사용자는 응력을 진단하고자 하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 형상정보, 탄성계수, 상기 복수의 변형모드들을 변수로 입력하는 단계와;

제어부는, 상기 입력단계에서 입력된 형상 정보를 이용하여, 상기 복수의 변형모드들이 각각 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 변형에 미치는 가중치를 산출하고, 상기 데이터베이스로부터 상기 입력된 변형모드들에 대한 복수의 저항-변형률 관계식들을 찾아내어 상기 가중치를 적용하여 저항-변형률 관계식으로 조합하여, 상기 복수의 변형모드들에 대한 하나의 저항-변형률 관계식을 도출하는 단계와;

상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 내부에 형성된 상기 복수의 채널들에 대해 저항 변화를 각각 측정하는 단계와;

상기에서 측정된 전기 저항 변화를 상기 저항-변형률 관계식에 대입하여, 상기 채널들에서 변형율을 산출하는 단계와;

상기 채널들에서 변형율을 산출하면, 상기 변형율과 상기 탄성계수를 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력과 변형율의 관계식에 대입하여, 상기 채널들의 위치에서 응력을 산출하는 단계와;

상기 채널들의 위치에서 산출된 응력을 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물 내부의 응력 분포로 나타내는 단계와;

상기 제어부는, 상기 복수의 채널들 중에서 압축 응력이 나타나는 채널을 균열 직전 채널로 검출하고, 상기 복수의 채널들 중에서 인장 응력이 설정 비율 이상으로 증가하는 채널의 위치를 균열 틈이 위치한 균열 틈 채널로 검출하고, 검출된 채널의 위치 정보로부터 상기 균열의 위치를 도출하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법.

청구항 7

복수의 탄소섬유강화플라스틱 시트들이 적층되어 형성된 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 내부 상,하측에서 서로 소정간격 이격된 위치에 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 구비된 복수의 전극들과;

상기 복수의 전극들에 각각 연결된 전선들과;

상기 복수의 채널들의 저항 변화를 측정하는 저항측정모듈과;

상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물들에 가해지는 굽힘, 인장, 전단 및 박리를 포함하는 변형모드에 따라 상기 채널들에서 측정된 변형율과 저항 변화율의 관계를 나타내는 저항-변형률 관계식이 저장된 데이터베이스와;

상기 저항측정모듈에서 저항 변화를 측정하면, 상기에서 측정된 전기 저항 변화를 상기 저항-변형률 관계식에 대입하여, 상기 채널들에서 변형율을 산출하고, 상기 변형율과 탄성계수를 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의

응력과 변형율의 관계식에 대입하여, 상기 채널들의 위치에서 응력을 산출하고, 상기 산출된 응력에 따라 균열의 진전을 판단하는 제어부를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 균열 진전을 감지하는 시스템.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 채널들의 위치에서 산출된 응력을 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물 내부의 응력 분포로 나타내는 디스플레이부를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 균열 진전을 감지하는 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 변형 모드에 따른 저항 변화 거동을 이용하여, 응력을 진단할 수 있는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 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.

[0005] 또한, 균열 진전을 미리 예측할 수 없는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1610710

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은, 저항 변화 거동을 이용하여 응력을 진단하여 파손을 예측할 수 있는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법은, 복수의 탄소섬유강화플라스틱 시트들이 적층되고, 내부 상,하측에서 서로 소정간격 이격된 위치에 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 복수의 전극들이 구비된 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력을 진단하는 방법에 있어서, 실험을 통해 복수의 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물들에 굽힘, 인장, 전단 및 박리 중 적어도 하나의 변형모드를 가하고, 상기 변형모드마다 상기 채널들에서 응력과 변형율에 따른 전기 저항값을 측정하여, 상기 변형모드마다 상기 변형율과 상기 저항 변화율의 관계를 나타내는 저항-변형률 관계식을 도출하여, 데이터베이스로 구축하는 단계와; 응력 진단시, 사용자는 응력을 진단하고자 하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 형상정보, 탄성계수, 상기 변형모드를 변수로 입력하는

단계와; 제어부는 상기 데이터베이스로부터 상기 변형모드에 대한 상기 저항-변형률 관계식을 찾아내는 단계와; 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 내부에 형성된 상기 복수의 채널들에 대해 전기 저항값을 각각 측정하는 단계와; 상기에서 측정한 전기 저항값을 상기 저항-변형률 관계식에 대입하여, 상기 채널들에서 변형율을 산출하는 단계와; 상기 채널들에서 변형율을 산출하면, 상기 변형율과 상기 탄성계수를 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력과 변형율의 관계식에 대입하여, 상기 채널들의 위치에서 응력을 산출하는 단계와; 상기 채널들의 위치에서 산출된 응력을 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물 내부의 응력 분포로 나타내는 단계를 포함한다.

[0009] 본 발명의 다른 측면에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법은, 복수의 탄소섬유강화플라스틱 시트들이 적층되고, 내부 상,하측에서 서로 소정간격 이격된 위치에 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 복수의 전극들이 구비된 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력을 진단하는 방법에 있어서, 실험을 통해 복수의 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물들에 굽힘, 인장, 전단 및 박리 중 적어도 하나의 변형모드를 가하고, 상기 변형모드마다 상기 채널들에서 응력과 변형율에 따른 전기 저항값을 측정하여, 상기 변형모드마다 상기 변형율과 상기 저항 변화율의 관계를 나타내는 저항-변형률 관계식을 도출하여, 데이터베이스로 구축하는 단계와; 응력 진단시, 사용자는 응력을 진단하고자 하는 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 형상정보, 탄성계수, 상기 복수의 변형모드들을 변수로 입력하는 단계와; 제어부는, 상기 입력단계에서 입력된 형상 정보를 이용하여, 상기 복수의 변형모드들이 각각 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 변형에 미치는 가중치를 산출하고, 상기 데이터베이스로부터 상기 입력된 변형모드들에 대한 복수의 저항-변형률 관계식들을 찾아내어 상기 가중치를 적용하여 저항-변형률 관계식으로 조합하여, 상기 복수의 변형모드들에 대한 하나의 저항-변형률 관계식을 도출하는 단계와; 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 내부에 형성된 상기 복수의 채널들에 대해 저항 변화를 각각 측정하는 단계와; 상기에서 측정한 전기 저항 변화를 상기 저항-변형률 관계식에 대입하여, 상기 채널들에서 변형율을 산출하는 단계와; 상기 채널들에서 변형율을 산출하면, 상기 변형율과 상기 탄성계수를 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력과 변형율의 관계식에 대입하여, 상기 채널들의 위치에서 응력을 산출하는 단계와; 상기 채널들의 위치에서 산출된 응력을 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물 내부의 응력 분포로 나타내는 단계와; 상기 제어부는, 상기 복수의 채널들 중에서 압축 응력이 나타나는 채널을 균열 직전 채널로 검출하고, 상기 복수의 채널들 중에서 인장 응력이 설정 비율 이상으로 증가하는 채널의 위치를 균열 틈이 위치한 균열 틈 채널로 검출하고, 검출된 채널의 위치 정보로부터 상기 균열의 위치를 도출한다.

[0010] 본 발명의 다른 측면에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 시스템은, 복수의 탄소섬유강화플라스틱 시트들이 적층되어 형성된 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 내부 상,하측에서 서로 소정간격 이격된 위치에 상호간에 복수의 채널들을 형성하도록 구비된 복수의 전극들과; 상기 복수의 전극들에 각각 연결된 전선들과; 상기 복수의 채널들의 저항 변화를 측정하는 저항측정모듈과; 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물들에 가해지는 굽힘, 인장, 전단 및 박리를 포함하는 변형모드에 따라 상기 채널들에서 측정된 변형율과 저항 변화율의 관계를 나타내는 저항-변형률 관계식이 저장된 데이터베이스와; 상기 저항측정모듈에서 저항 변화를 측정하면, 상기에서 측정한 전기 저항 변화를 상기 저항-변형률 관계식에 대입하여, 상기 채널들에서 변형율을 산출하고, 상기 변형율과 상기 탄성계수를 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력과 변형율의 관계식에 대입하여, 상기 채널들의 위치에서 응력을 산출하고, 상기 산출된 응력에 따라 균열의 진전을 판단하는 제어부를 포함한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명은, 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 내부에 복수의 전극들을 배치하고, 상기 복수의 전극들간에 형성된 복수의 채널들에서 저항 변화율을 구하여, 저항변화율과 변형률의 관계식을 데이터베이스로 구축함으로써, 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 전기 저항값을 측정하면 변형률을 산출할 수 있고, 변형률을 이용하여 응력을 진단할 수 있다.

[0012] 또한, 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 전기 저항값을 측정함으로써, 응력 분포도를 도출할 수 있으므로, FEM을 대체할 수 있는 이점이 있다.

[0013] 또한, 균열 진전을 예측할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 시스템을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법을 나타낸 순서도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 균열 진전을 전기 저항 등가 회로로 개략적으로

로 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 시스템에서 균열 진전에 따른 응력을 나타낸 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물에서 응력 분포도를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0016] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 시스템을 나타낸 도면이다.
- [0017] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)은, 복수의 탄소섬유강화플라스틱 시트들이 적층되어 형성된다.
- [0018] 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)은 빔 형상으로 형성된 것으로 예를 들어 설명한다.
- [0019] 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)의 내부 상측에는 서로 소정간격 이격되게 복수의 상부 전극들(11)(12)(13)(14)이 구비되고, 내부 하측에도 서로 소정간격 이격되게 복수의 하부 전극들(15)(16)(17)(18)이 구비된다. 상기 상부 전극들(11)(12)(13)(14)간의 이격 거리는 상기 하부 전극들(15)(16)(17)(18)간의 이격 거리와 동일하게 설정된다. 또한, 상기 이격 거리가 미리 설정된 설정 거리 이상으로 확보되어야 후술하는 채널들에서 측정하는 저항 변화 패턴이 균열이 지나간 이후 균열 진전에 따른 선형 증가 패턴을 얻을 수 있다.
- [0020] 상기 상부 전극들(11)(12)(13)(14)과 상기 하부 전극들(15)(16)(17)(18)은 각각 상하방향으로 서로 대응되게 배치된다. 상기 상부 전극들(11)(12)(13)(14)과 상기 하부 전극들(15)(16)(17)(18)은 두 개씩 쌍을 이루어 채널을 형성한다.
- [0021] 본 실시예에서는, 상기 상부 전극들(11)(12)(13)(14)은 4개의 제1,2,3,4전극들(11)(12)(13)(14)이고, 상기 하부 전극들(15)(16)(17)(18)도 4개의 제5,6,7,8전극들(15)(16)(17)(18)인 것으로 예를 들어 설명한다.
- [0022] 상기 제1,2,3,4,5,6,7,8전극들(11)(12)(13)(14)(15)(16)(17)(18)에는 각각 전선이 연결되어, 상기 전선은 후술하는 저항측정모듈(미도시)에 연결된다.
- [0023] 상기 채널은, 상기 제1전극(11)과 상기 제5전극(15)을 전기적으로 연결하는 제1채널(C1)과, 상기 제2전극(12)과 상기 제6전극(16)을 전기적으로 연결하는 제2채널(C2)과, 상기 제3전극(13)과 상기 제7전극(17)을 전기적으로 연결하는 제3채널(C3)과, 상기 제4전극(14)과 상기 제8전극(18)을 전기적으로 연결하는 제4채널(C4)을 포함한다.
- [0024] 또한, 상기 채널은, 상기 제1전극(11)과 상기 제2전극(12)을 전기적으로 연결하는 제5채널(C5)과, 상기 제2전극(12)과 상기 제3전극(13)을 전기적으로 연결하는 제6채널(C6)과, 상기 제3전극(13)을 상기 제4전극(14)과 전기적으로 연결하는 제7채널(C7)을 포함한다.
- [0025] 상기 제1,2,3,4채널(C1)(C2)(C3)(C4)은, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)의 내부에서 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)의 길이방향에 수직한 상하방향으로 형성된다.
- [0026] 상기 제5,6,7채널(C5)(C6)(C7)은, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)의 내부 상측에서 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)의 길이방향으로 형성된다.
- [0027] 상기 제5,6,7채널(C5)(C6)(C7)은, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)의 내부 상측에서 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물(10)의 길이방향으로 형성된다.
- [0028] 다만, 이에 한정되지 않고, 상기 채널은 상기 제5,6,7,8전극들(15)(16)(17)을 서로 연결하는 채널을 포함하는 것도 가능하다.
- [0029] 상기와 같이 구성된 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력 진단 방법을 설명하면, 다음과 같다.
- [0030] 먼저, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물에 굽힘, 인장, 전단 및 박리 중 적어도 하나의 변형모드를 가하여, 복수의 실험들을 실시하여 데이터 베이스를 구축한다.(S1)
- [0031] 상기 실험시 입력 변수는, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 형상 정보, 변형 모드, 응력, 상기 탄소섬유강

화플라스틱 시트의 전기 전도도, 에너지 해방율(Energy release rate) 등을 포함한다.

- [0032] 여기서, 에너지 해방율은 실험(delamination test)을 진행할 때 특정 인장 길이 및 특정 인장력 대비 크랙 진전도를 비교하는 척도이다. 즉, 같은 인장 길이 및 인장력일 때 에너지 해방율이 크면 크랙 진전이 더 많이 되는 것이다. 각 물질의 에너지 해방율을 알면 동일 인장 길이 대비 크랙 진전도를 비교할 수 있다. 따라서, 상기 입력 변수는 전기 전도도와 에너지 해방율을 포함한다.
- [0033] 상기 탄소섬유강화플라스틱 시트의 전기 전도도는, 상기 탄소섬유의 종류, 크기, 적층 수에 따라 조절할 수 있다.
- [0034] 따라서, 상기 탄소섬유강화플라스틱 시트의 전기 전도도와 상기 에너지 해방율에 따라 다른 데이터가 구축된다.
- [0035] 상기 변형 모드는, 굽힘 변형, 인장 변형, 전단 변형 및 박리 변형에 대한 모드를 포함한다. 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 인장 실험시, 내부에는 굽힘 변형, 인장 변형, 전단 변형 및 박리 변형이 적어도 하나 이상이 발생된다.
- [0036] 따라서, 굽힘 변형, 인장 변형, 전단 변형 및 박리 변형에 대해 각각 실험하고, 각 변형모드에 대한 데이터를 각각 구축한다.
- [0037] 상기 실험에서 측정값은, 각 채널들에서 변형율(strain), 상기 변형율에 따른 전기 저항값을 포함한다. 즉, 상기 변형모드마다 상기 채널에서 응력과 변형율에 따른 전기 저항값을 측정한다.
- [0038] 상기 전기 저항값을 측정한 후, 상기 저항 변화율을 계산하여, 상기 변형률과 상기 저항 변화율의 관계를 나타내는 저항-변형률 관계식을 도출한다.
- [0039] 상기 변형모드에 따른 상기 저항-변형률 관계식은 데이터베이스에 저장된다.
- [0040] 상기 저항-변형률 관계식은 수학적 식 1과 같다.
- [0041] <수학적 식 1>
- [0042] $(\alpha, \beta, \gamma) = f(\epsilon)$
- [0043] 여기서, α, β, γ 는 변형모드별 각 채널에서 저항 변화율이고, ϵ 는 변형율이다.
- [0044] 상기 저항-변형률 관계식은, 상기 변형모드에 따라 서로 다른 식으로 구축된다.
- [0045] 상기과 같이 데이터베이스에는 상기 변형모드에 대한 상기 저항-변형률 관계식이 저장된다.
- [0046] 이후, 사용자는 응력을 진단하고자 하는 진단대상 구조물인 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 형상정보, 탄성계수, 변형 모드를 포함하는 변수들을 입력한다.(S2)
- [0047] 상기 제어부는 상기 데이터베이스로부터 입력된 변형 모드에 대한 저항-변형률 관계식을 찾아낸다.(S3)
- [0048] 이 때, 상기 저항-변형률 관계식은 각 변형 모드에 따라 다른 식이 구축되어 있기 때문에, 복수의 변형 모드들의 입력시 복수의 식들이 각각 도출된다.
- [0049] 상기 제어부는 상기 입력된 변형 모드들에 각각 대응되는 복수의 저항-변형률 관계식들을 모두 찾아낸 후, 이들을 조합하여 하나의 저항-변형률 관계식으로 도출한다.
- [0050] 예를 들어, 상기 입력단계에서 굽힘 변형모드와 인장 변형 모드가 입력되면, 상기 굽힘 변형모드에 대한 저항-변형률 관계식인 제1식(f1)과 상기 인장 변형모드에 대한 저항-변형률 관계식인 제2식(f2)을 각각 도출한다.
- [0051] 상기 제어부는, 상기 입력단계에서 입력된 형상 정보를 이용하여, 상기 굽힘 변형모드와 상기 인장 변형모드가 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 변형에 미치는 가중치를 산출한다.
- [0052] 상기 제어부는, 상기 굽힘 변형모드의 가중치(a)를 상기 제1식에 적용하고, 상기 인장 변형모드의 가중치(b)를 상기 제2식에 적용한 후, 가중치가 적용된 식들을 조합하여 하나의 저항-변형률 관계식으로 재산출한다.
- [0053] 재산출된 저항-변형률 관계식은 수학적 식 2와 같다.
- [0054] <수학적 식 2>
- [0055] $(\alpha, \beta, \gamma) = f(\epsilon) = a*f1(\epsilon) + b*f2(\epsilon)$

- [0056] 여기서, a, b 는 가중치이고 상수이다.
- [0057] 이후, 상기 저항측정모듈(미도시)은, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 모든 채널들에서 전기 저항값을 측정한다.(S4)
- [0058] 상기 전기 저항값을 측정하면, 측정값으로부터 저항 변화율(α, β, γ)을 계산한다.
- [0059] 상기 저항 변화율(α, β, γ)을 상기 저항-변형률 관계식인 수학식 2에 대입하면, 각 채널에서 변형율(ϵ)을 산출할 수 있다.(S5)
- [0060] 상기 채널들에서 상기 변형율(ϵ)을 산출하면, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력과 변형율의 관계식에 대입한다.
- [0061] 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 응력과 변형율의 관계식은 수학식 3과 같다.
- [0062] <수학식 3>
- [0063] $\sigma = E \epsilon$
- [0064] 여기서, E 는 영의 계수(Young's modulus)이고, ϵ 는 수학식 2에서 구한 변형율이다.
- [0065] 따라서, 상기 채널들에서 변형율(ϵ)을 알면, 각 채널들에서 응력(σ)을 산출할 수 있다.(S6)
- [0066] 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 모든 채널들에서 각각 산출된 응력을 조합하여, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물 전체의 응력분포도로 나타낼 수 있다.(S7)
- [0067] 상기 응력분포도를 보면, 균열의 유무나 균열의 진전 상태를 확인할 수 있다.
- [0068] 한편, 도 4를 참조하면, 상기 제어부는 상기 복수의 채널들 중에서 압축 응력이 나타나는 채널을 균열 직전 채널로 검출한다.
- [0069] 상기 균열 직전 채널의 검출시 상기 균열 직전 채널의 위치 정보로부터 상기 균열의 위치를 도출할 수 있다.
- [0070] 또한, 상기 제어부는, 상기 복수의 채널들 중에서 인장 응력이 설정 비율 이상으로 증가하는 채널을 균열 팁이 위치한 균열 팁 채널로 검출한다.
- [0071] 상기 균열 팁 채널의 위치 정보로부터 상기 균열의 위치를 도출할 수 있다.
- [0072] 한편, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화플라스틱 구조물의 균열 진전을 전기 저항 증가 회로로 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0073] 도 3a를 참조하면, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물에 인장력이 가해지지 않는 초기 상태일 때, 상기 제1,2,3,4채널(C1~C4)의 각 초기 저항값(R)은 동일하다.
- [0074] 도 3b를 참조하면, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물에 인장력이 가해지면, 상기 인장력이 가해지는 부분과 가깝게 위치한 상기 제1,2채널(C1)(C2)의 저항값은 다소 증가한다. 상기 제1,2채널(C1)(C2)의 저항 변화율은 β 이다.
- [0075] 도 3c를 참조하면, 상기 탄소섬유강화플라스틱 구조물에 인장력이 가해져서 균열이 발생하여, 상기 균열이 상기 제1채널(C1)에 근접하면, 상기 제1채널(C1)의 저항값이 감소하는 것을 나타낸다. 즉, 상기 균열이 접근하는 채널에서는 저항값이 감소한다. 상기 제1채널(C1)의 저항 변화율은 α 이고, 상기 제2,3채널(C2)(C3)의 저항 변화율은 β 이다.
- [0076] 도 3d를 참조하면, 상기 균열이 상기 제1채널(C1)을 통과하는 시점에는 상기 제1채널(C1)의 저항값은 다시 증가하며, 상기 균열이 접근하는 상기 제2채널(C2)의 저항값은 감소하는 것을 나타낸다. 상기 제2채널(C2)의 저항 변화율은 α 이고, 상기 제3,4채널(C3)(C4)의 저항 변화율은 β 이며, 상기 제1채널(C1)의 저항 변화율은 α 이다.
- [0077] 도 3e를 참조하면, 상기 균열이 상기 제1채널(C1)을 통과하여 계속해서 진전하면, 상기 제1채널(C1)의 저항값은 계속해서 선형적으로 증가한다.
- [0078] 상기과 같이, 상기 균열의 진전 방향으로 서로 소정간격 이격되게 복수의 채널들을 형성하고, 상기 복수의 채널들에서 각각 저항값을 측정하면, 균열 진전에 따라 상기 복수의 채널들에서 측정된 저항 변화율이 달라지는 것을 알 수 있다.

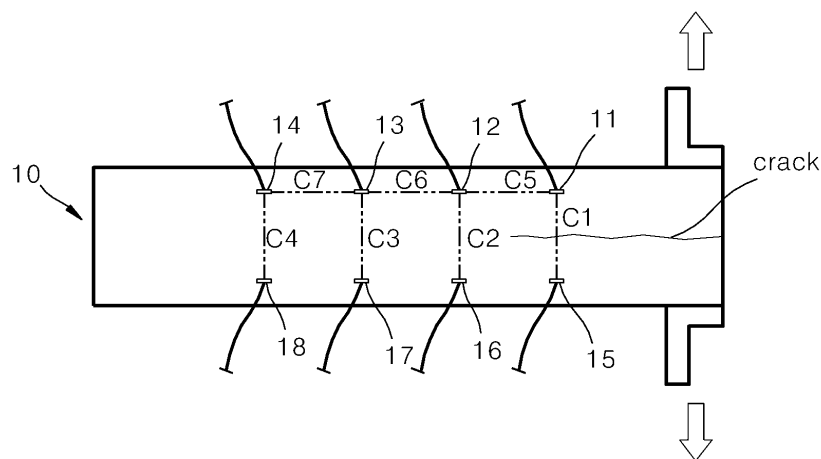
- [0079] 따라서, 상기 저항 변화율은 변형률에 따라 달라지며, 상기 변형률과 상기 저항변화율에 대한 관계식을 데이터 베이스로 구축하면, 추후 상기 저항 변화율을 알면 상기 변형률을 구할 수 있다.
- [0080] 상기 변형률을 알면, 상기 수학식 3으로부터 응력을 산출할 수 있다.
- [0081] 상기와 같은 방법으로 응력 분포도를 나타낼 수 있으므로, FEM을 대체하여 사용할 수 있다.
- [0082] 상기 응력 분포도가 표시되면, 균열의 유무나 균열의 진전 상태를 확인할 수 있다.
- [0083] 본 발명은 도면에 도시된 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

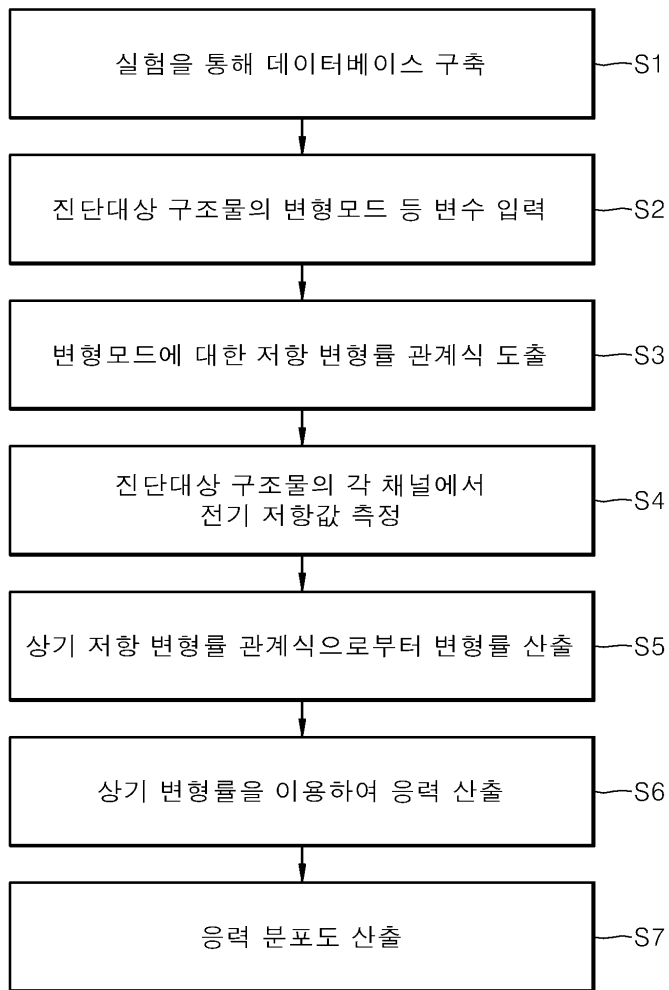
- [0084] 10: 탄소섬유강화플라스틱 구조물
11,12,13,14: 상부 전극
15,16,17,18: 하부 전극

도면

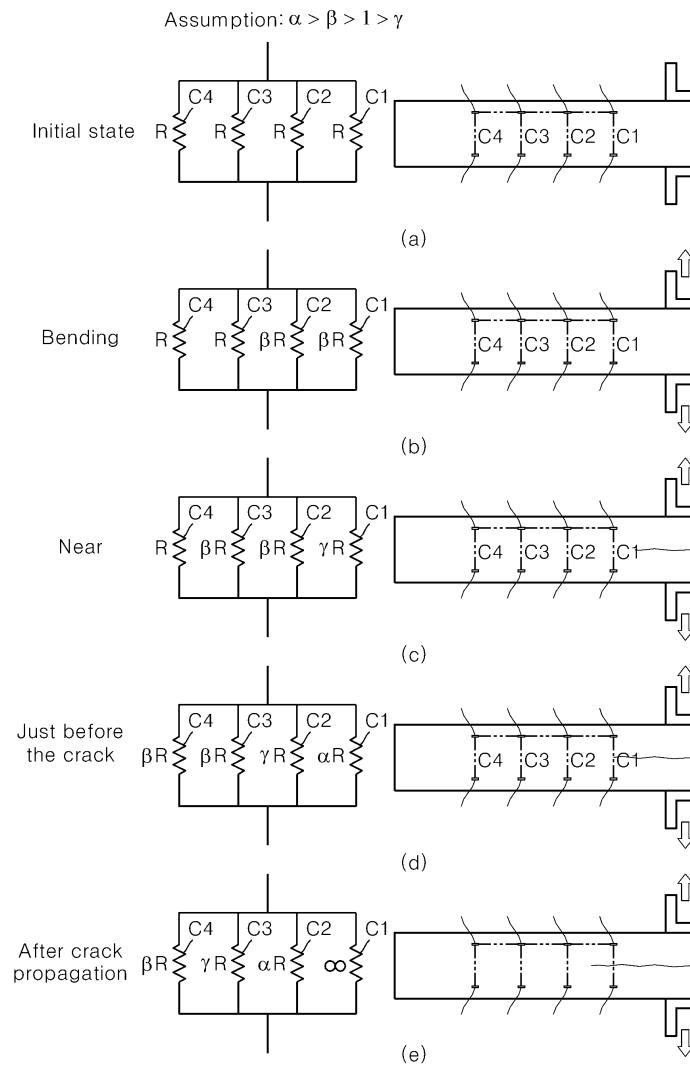
도면1



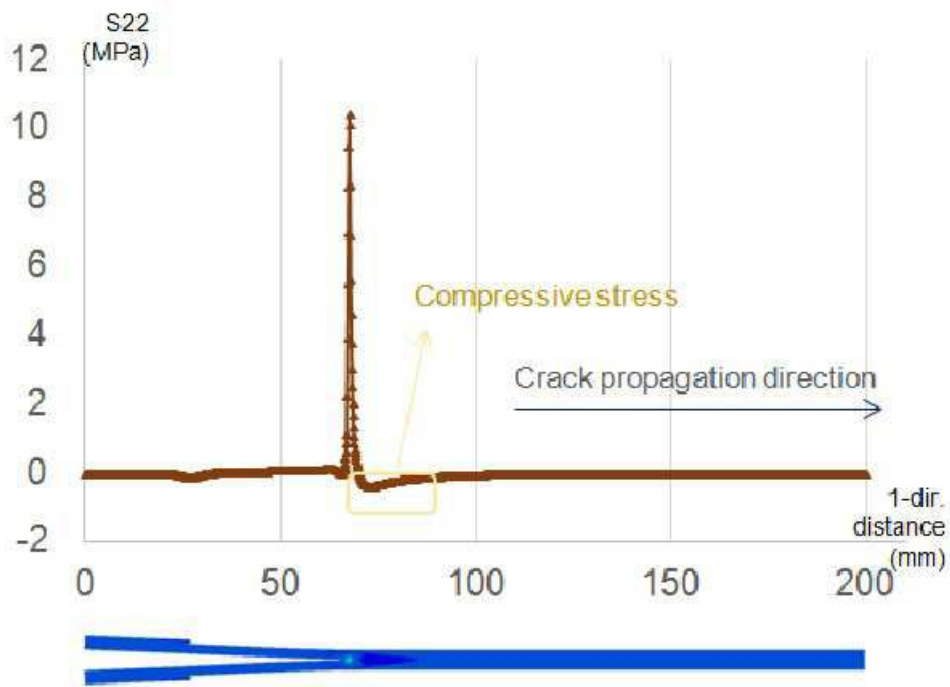
도면2



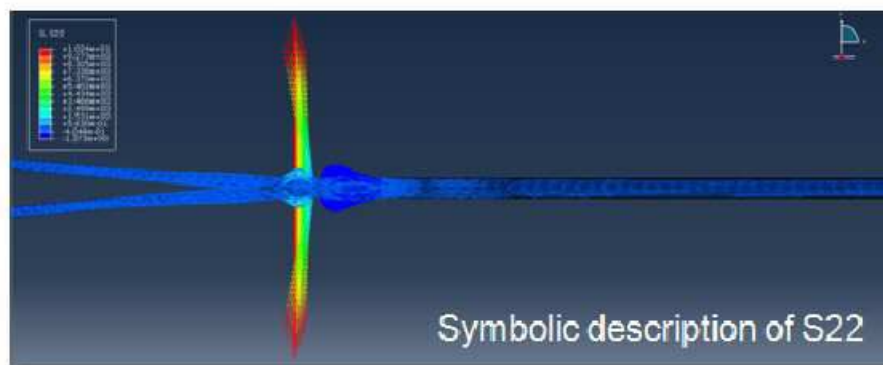
도면3



도면4



도면5



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1의 줄 7

【변경전】

상기 저항 변화율의 관계를 나타내는

【변경후】

저항 변화율의 관계를 나타내는

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 7의 줄 11

【변경전】

상기 탄성계수를

【변경후】

탄성계수를

【식권보정 3】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 6의 줄 7

【변경전】

상기 저항 변화율의 관계를 나타내는

【변경후】

저항 변화율의 관계를 나타내는