



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0129668
(43) 공개일자 2014년11월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 27/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0048248

(22) 출원일자 2013년04월30일

심사청구일자 2013년04월30일

(71) 출원인

현대자동차주식회사

서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

김학수

서울 강동구 성안로25길 6, 103동 1205호 (천호동, 삼성아파트)

김대식

경기 용인시 수지구 신봉1로71번길 25, 305동 902호 (신봉동, 신봉마을자이3차)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

남호현

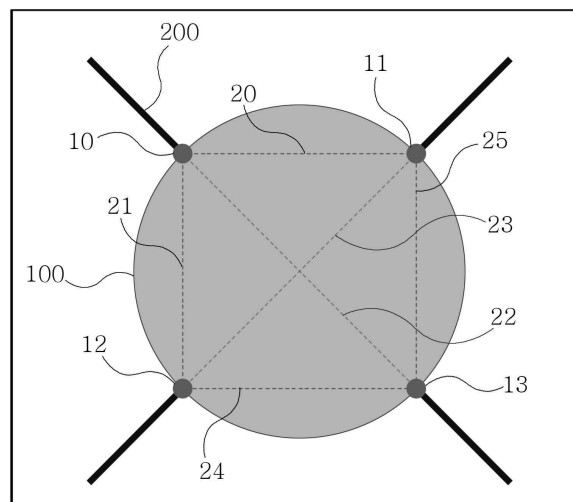
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법

(57) 요약

본 발명은 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법에 관한 것으로서, 전도성 강화재가 포함된 복합재료에 사각 패턴화된 다수의 접점들을 설정하는 제1단계, 상기 설정된 접점들이 형성하는 구간의 전기저항 변화율을 측정하는 제2단계 및 상기 측정된 전기저항 변화율로부터 복합재료의 미세손상을 감지하는 제3단계를 포함함으로써, 고가의 장비 없이 간편하게 복합재료의 미세손상 발생 유무뿐만 아니라 전기저항 변화율의 크기에 따라 미세손상의 크기도 판별할 수 있는 장점이 있는 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

권동준

대구 달서구 선원로 137, 106동 702호 (이곡동, 성서푸른마을아파트)

박종만

경남 진주시 진주대로815번길 11, 118동 704호 (주약동, 주약현대아파트)

구가영

경남 진주시 선학산길17번길 12-1, (상대동)

왕작가

경남 진주시 진주대로 501, 학생생활관 (가좌동, 경상대학교)

특허청구의 범위

청구항 1

전도성 강화제가 포함된 복합재료에 사각 패턴화된 다수의 접점들을 설정하는 제1단계;

상기 설정된 접점들이 형성하는 구간의 전기저항 변화율을 측정하는 제2단계; 및

상기 측정된 전기저항 변화율로부터 복합재료의 미세손상을 감지하는 제3단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전도성 강화제는 탄소나노튜브인 것을 특징으로 하는 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제2단계의 구간은 상기 설정된 접점들 중 임의의 접점(10)을 지정하고,

상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점 우측에 위치하는 제1접점(11)이 형성하는 제1구간(20);

상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점(10) 하측에 위치하는 제2접점(12)이 형성하는 제2구간(21);

상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점(10) 우하측에 위치하는 제3접점(13)이 형성하는 제3구간(22);

상기 제1접점(11) 및 제2접점(12)이 형성하는 제4구간(23);

상기 제2접점(12) 및 제3접점(13)이 형성하는 제5구간(24) 및

상기 제1접점(11) 및 제3접점(13)이 형성하는 제6구간(25)을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1구간, 제2구간, 제5구간 및 제6구간의 길이는 각각 1 ~ 10cm인 것을 특징으로 하는 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 복합재료에 구리선을 접착시켜 접점들을 설정하는 것을 특징으로 하는 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전기저항 변화율은 0.1 이상 또는 -0.1 이하인 것을 특징으로 하는 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법.

명세서

기술 분야

- [0001] 본 발명은 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 전도성 강화제가 포함된 복합재료의 전기저항 변화율을 감지함으로써, 재료에 발생하는 미세손상을 간편하게 감지할 수 있는 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 탄소나노튜브나 나노섬유와 같은 전도성이 있는 탄소나노재료가 포함된 고분자 복합재료는 우수한 기계적 전기적 물성 때문에 최근에 이에 대한 관심이 급격하게 증가하고 있는 추세이다. 탄소나노재료가 포함된 복합재료는 상대적으로 적은 탄소나노재료 함량에서도 우수한 강성, 강도 및 전기전도성을 가지는 장점이 있다. 또한, 우수한 기계적 물성과 전기 전도성을 가지는 탄소나노재료가 포함된 복합재료는 자동차용뿐만 아니라 우주항공용 등으로 적용범위가 넓어지고 있다.
- [0003] 그러나 상기 복합재료에 미세손상이 발생하면 물성이 급격히 저하되고 결국 복합재료가 파괴되는 문제가 나타나게 되었다. 따라서 상기와 같은 문제를 극복하기 위하여 복합재료의 미세손상을 예측 및 확인할 수 있는 평가방법에 대한 연구가 진행되고 있다.
- [0004] 그러나 종래에는 종래 복합재료의 손상을 감지하는 방법으로 고가의 비파괴 장비를 이용하여 평가를 진행했으며, 그에 따른 전문 인력의 필요와 함께 고가의 평가비용 지출로 인하여 손상 감지 평가가 원활하게 이루어지지 않은 문제가 있었다. 또한, 압전(Piezoelectric, PZT) 센서와 같은 고가의 센서를 이용하여 평가하는 방법이 있지만 역시 고비용의 문제가 있기 때문에 널리 사용되지 못했던 문제가 있었다.
- [0005] 전술한 바와 같이 대부분의 복합재료 손상 감지 방법은 대부분 항공기의 연결 부분에 대한 감지를 주로 했기 때문에, 쉬운 평가방법의 개발보다는 비용이 많이 소요되더라도 특정 조건에 맞는 비파괴 평가방법이 개발되는 단점이 있었다.
- [0006] 그러나, 최근 복합재료의 적용 분야가 확대됨에 따라, 우주 항공용 재료뿐만 아니라 차량용 재료와 같은 다양한 분야로 적용이 확대되고 있기 때문에 저비용으로 간편하게 미세손상을 감지할 수 있는 방법에 대한 수요가 증가하고 있지만, 아직까지 저비용으로 간편하게 복합재료의 미세손상을 감지할 수 있는 방법이 없었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 전도성 강화제가 포함된 복합재료에 설정된 점점들로부터 형성된 구간의 전기저항 변화율 분석함으로써, 복합재료를 파괴하지 않고도 미세손상의 존재를 예측할 수 있을 뿐만 아니라, 전기저항 변화율의 크기로부터 미세손상의 크기도 유추할 수 있으며, 고가의 장비 없이 멀티미터와 구리선 등으로 적용이 가능할 만큼 간편한 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법을 제공하고자 함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법은 전도성 강화제가 포함된 복합재료에 사각 패턴화된 다수의 점점들을 설정하는 제1단계, 상기 설정된 점점들이 형성하는 구간의 전기저항 변화율을 측정하는 제2단계 및 상기 측정된 전기저항 변화율로부터 복합재료의 미세손상을 감지하는 제3

단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 또한, 상기 전도성 강화재는 탄소나노튜브인 것이 바람직하다.

[0010] 또한, 상기 제2단계의 구간은 상기 설정된 접점들 중 임의의 접점(10)을 지정하고, 상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점 우측에 위치하는 제1접점(11)이 형성하는 제1구간(20); 상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점(10) 하측에 위치하는 제2접점(12)이 형성하는 제2구간(21); 상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점(10) 우하측에 위치하는 제3접점(13)이 형성하는 제3구간(22); 상기 제1접점(11) 및 제2접점(12)이 형성하는 제4구간(23); 상기 제2접점(12) 및 제3접점(13)이 형성하는 제5구간(24) 및 상기 제1접점(11) 및 제3접점(13)이 형성하는 제6구간(25)을 포함하는 것이 바람직하다.

[0011] 이 때, 상기 제1구간, 제2구간, 제5구간 및 제6구간의 길이는 각각 1 ~ 10cm인 것이 바람직하다.

[0012] 또한, 상기 복합재료에 구리선을 접촉시켜 접점들을 설정하는 것이 바람직하다.

[0013] 여기서, 상기 전기저항 변화율은 0.1 이상 또는 -0.1 이하인 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0014] 상기와 같은 구성을 가지는 본 발명의 효과는, 전도성 강화재가 포함된 복합재료의 전기저항 변화율을 감지함으로써, 재료 내부의 미세손상 여부를 판단할 수 있기 때문에, 본 발명을 멀티미터와 재료를 연결하는 전선을 통하여 간단히 적용할 수 있는 효과가 있다.

[0015] 또한, 복합재료의 미세손상 발생 유무뿐만 아니라 전기저항 변화율의 크기에 따라 미세손상의 크기도 판별할 수 있는 효과가 있다.

[0016] 또한, 본 발명은 비파괴 평가방법이므로, 복합재료를 파괴하지 않고 복합재료의 미세손상을 확인할 수 있는 효과가 있다.

[0017] 또한, 항공, 차량 및 도량 등에 이용될 탄소계 복합재료에 대한 비파괴 평가방법에 적용 가능하다는 효과가 있다.

[0018] 또한, 전기저항의 변화율을 항시 확인할 수 있도록 본 발명을 응용하면, 복합재료의 미세손상을 즉각 알 수 있는 피부와 같은 민감한 감지능력을 지닐 수 있는 손상감지 시스템의 기초가 될 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 복합재료의 접점들과 전기저항 변화율 측정구간을 보여주는 평면도이다.

도 2는 복합재료의 전기 흐름의 상태를 보여주는 회로이다.

도 3은 복합재료 내부 미세손상이 발생하였을 경우, 변화된 전기 흐름의 상태를 보여주는 회로이다.

도 4는 탄소나노튜브 및 폴리프로필렌 등이 포함된 복합재료의 원 모양의 시편을 보여주는 평면도이다.

도 5는 시편에 피로응력을 가하는 실험의 모식도이다.

도 6은 제1구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 7은 제2구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 8은 제3구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 9는 제4구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 10은 제5구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 11은 제6구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 12는 피로응력 실험에 사용된 시편에 대하여 파괴 실험 실시한 결과를 보여주는 그림이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0021] 이하, 본 발명에 대하여 상세히 설명한다.
- [0022] 본 발명은 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법에 관한 것으로, 전도성 강화재가 포함된 복합재료의 미세손상에 의한 전기저항 변화율을 감지함으로써, 복합재료의 미세손상 발생 여부를 예측할 수 있는 방법에 관한 것이다.
- [0023] 보다 구체적으로, 상기 복합재료에 사각 패턴화된 다수의 접점들을 설정하는 제1단계, 상기 설정된 접점들이 형성하는 구간의 전기저항 변화율을 측정하는 제2단계 및 상기 측정된 전기저항 변화율로부터 복합재료의 미세손상을 감지하는 제3단계를 포함하는 것이 바람직하며, 상기 전도성 강화재는 탄소나노튜브인 것이 바람직하다. 또한, 상기 복합재료에 구리선을 접촉시켜 접점들을 설정하는 것이 바람직하다.
- [0024] 도 1은 복합재료의 접점들과 전기저항 변화율 측정구간을 보여주는 평면도이다. 상기 제1단계에서, 복합재료(100)에 구리선(200)들을 접촉시키면 복합재료와 구리선이 접촉되는 부분이 접점이 되는데, 상기 접점들은 격자 무늬를 이루는 가상의 가로 선 및 세로 선이 교차하는 교차점들에 접점들을 설정하는 것이 바람직하지만, 더욱 바람직하게는 사각 패턴화된 다수의 접점들을 설정하는 것이다.
- [0025] 또한, 상기 제2단계에서, 제2단계의 구간은 상기 설정된 접점들 중 임의의 접점(10)을 지정하고, 상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점 우측에 위치하는 제1접점(11)이 형성하는 제1구간(20), 상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점(10) 하측에 위치하는 제2접점(12)이 형성하는 제2구간(21), 상기 지정된 임의의 접점(10) 및 상기 임의의 접점(10) 우하측에 위치하는 제3접점(13)이 형성하는 제3구간(22), 상기 제1접점(11) 및 제2접점(12)이 형성하는 제4구간(23), 상기 제2접점(12) 및 제3접점(13)이 형성하는 제5구간(24) 및 상기 제1접점(11) 및 제3접점(13)이 형성하는 제6구간(25)을 포함하는 것이 바람직하다.
- [0026] 그리고 상기 제1구간, 제2구간, 제5구간 및 제6구간의 길이는 각각 1 ~ 10cm인 것이 바람직하다. 상기 접점의 간격이 1cm 미만일 경우, 지나치게 근접한 접점에 의해 접점 간에 간섭현상이 발생할 수 있으며, 간격이 10cm 초과일 경우, 접점간 거리가 지나치게 멀어져 전기저항 측정이 부정확해질 수 있기 때문이다.
- [0027] 이 때, 전기저항 변화율 측정구간인 상기 제1구간 내지 제6구간의 전기저항 변화율이 0.1 이상 또는 -0.1 이하일 경우, 복합재료의 미세손상을 예측하는 것이 바람직하다. 상기 전기저항 변화율이 0.1 초과일 경우, 전기저항이 큰 폭으로 상승하였다는 것을 뜻하는데, 이는 복합재료 내부에 미세구조의 변화가 일어나서 전기의 흐름이 방해받았다는 것이므로 복합재료에 미세손상이 발생하였다고 간주하는 것이 바람직하다.
- [0028] 마찬가지로, 상기 전기저항 변화율이 -0.1 미만일 경우, 전기저항이 큰 폭으로 감소하였다는 것을 뜻하는데, 이는 복합재료 내부에 미세구조의 변화가 일어나서 전도성 입자간 접촉이 증가하였기 때문이므로 복합재료에 미세손상이 발생하였다고 간주하는 것이 바람직하다.
- [0029] 또한, 상기 전기저항 변화율이란, 처음 전기저항(R_0)에 대한 나중 전기저항(R)의 변화 비율을 말하는 것으로서, $(\text{처음 전기저항}(R_0) - \text{나중 전기저항}(R)) / (\text{처음 전기저항}(R_0))$ 으로 나타낼 수 있으므로, 전기저항의 변화율이 클수록 처음과 나중의 전기저항 차이가 크다는 것을 뜻한다. 따라서 전기저항의 변화율이 클수록 복합재료의 미세구조가 변하였을 가능성이 크기 때문에 복합재료의 미세손상이 발생하였을 가능성이 크다고 예측할 수 있다.
- [0030] 반대로 전기저항의 변화율이 작을수록 복합재료의 미세구조가 변하였을 가능성이 작기 때문에 복합재료의 미세손상이 발생하였을 가능성이 작다고 예측할 수 있다. 그리고 전기저항 측정을 위해서는 2프로브(probe)평가법 및 4 프로브(probe)평가법을 적용하는 것이 바람직하다.
- [0031] 또한, 본 발명의 기본 원리는 키르히호프의 전하량 보존 법칙 및 키르히호프의 전압 법칙 등이 포함되는 키르히호프의 전기회로 법칙이다. 도 2는 복합재료의 전류 흐름의 상태를 보여주는 회로도이며, 도 3은 복합재료 내부 미세손상이 발생하였을 경우, 변화된 전류 흐름의 상태를 보여주는 회로도이다.

- [0032] 이 때, 미세손상이 없는 복합재료의 전류의 흐름을 도 2와 같은 회로로 나타낼 수 있다. 그러나 도 3과 같이 복합재료에 미세손상이 발생하면 전류의 흐름이 변화되고 변화된 전류의 흐름을 전기저항의 변화로 확인할 수 있다. 또한 복합재료에 발생한 미세손상이 클수록 전기저항의 변화율도 커지기 때문에 전기저항 변화율의 크기로부터 미세손상의 크기를 예측할 수 있다.
- [0033] 따라서, 복합재료의 전기저항 변화율 및 그 크기에 따라 상기 복합재료의 미세손상 발생 여부 및 미세손상의 크기를 예측하는 것이 가능하다.
- [0034] [실시예]
- [0035] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 예시하기 위한 것으로서, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되는 것으로 해석되지 않는 것은 당 업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명할 것이다.
- [0036] 전체 중량 대에 대하여, 탄소나노튜브 0.5중량% 및 폴리프로필렌(HP908, Hyundai EP, Co. Korea) 99.5중량% 이하 등이 포함된 복합재료를 이용하여, 도 4와 같은 형태의 시편을 제조하였다. 상기 도 4는 탄소나노튜브 및 폴리프로필렌 등이 포함된 복합재료의 원 모양의 시편을 보여주는 평면도이며, 상기 도 4에서 알 수 있듯이 시편의 지름은 18cm이고, 상기 시편은 측면에서 보면 인위적으로 20도의 각도를 주어 동그란 모형의 범퍼와 같은 형태를 가졌다.
- [0037] 또한, 동적 압축 실험에 앞서, 상기 시편에 일정한 간격을 유지하는 4개의 구리선을 접촉하면 각 구리선의 접점들로부터 제1구간(20), 제2구간(21), 제5구간(24) 및 제6구간(25)의 전기저항 변화율 측정구간이 형성되며, 상기 6개의 전기저항 변화율 측정구간의 각 구간별 기본 전기저항을 측정하였다.
- [0038] 그리고, 도 5는 시편에 피로응력을 가하는 실험의 모식도이며, 만능 재료 시험기(Universal Testing Machine, UTM)를 이용하여, 원형 모양의 시편(300) 중앙부분에 하중을 주어 인위적인 피로응력을 가하는 실험을 30회 반복 진행하면서, 각 구간별 전기저항의 변화율을 측정하였다.
- [0039] 도 6은 제1구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이며, 도 7은 제2구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이며, 도 8은 제3구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이며, 도 9는 제4구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이며, 도 10은 제5구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이며, 도 11은 제6구간의 전기저항 변화율을 나타낸 그래프이다.
- [0040] 상기 피로응력 실험 결과, 제1구간의 전기저항 변화율은 실험 초기 큰 폭으로 상승 후 지속되는데, 이는 시편에 가해진 하중의 영향으로 상기 제1구간의 미세구조 변화로 시편의 전기저항이 크게 상승하였다는 것을 알 수 있으므로, 상기 구간에서 시편의 미세손상이 발생하였다는 것을 예측할 수 있었다.
- [0041] 또한, 제2구간의 전기저항 변화율은 실험 초기 상승하였다가 점차 감소하여 오히려 초기 전기저항 변화율보다 더 낮은 값을 나타내었는데, 이는 시편에 가해진 하중의 영향으로 시편 내부의 굴곡진 부분이 펴짐으로 인해 탄소나노튜브와 폴리프로필렌의 접촉이 증가 되었기 때문이며, 전기저항 변화율에 큰 변화가 없다는 것으로부터 시편의 상기 구간은 미세손상이 발생하지 않았다는 것을 예측할 수 있었다.
- [0042] 또한, 제3구간의 전기저항 변화율은 초기 크게 증가하였다가 곧바로 크게 감소하였는데, 이는 시편에 가해진 하중의 영향으로 상기 구간의 미세구조 변화가 발생하여 전기저항 변화율이 큰 폭으로 움직였다는 것을 알 수 있으므로, 상기 구간에서 시편의 미세손상이 발생하였다는 것을 예측할 수 있었다.
- [0043] 또한, 제4구간, 제5구간 및 제6구간의 전기저항 변화율은 큰 폭의 변화가 없었기 때문에 시편의 상기 구간에서는 미세손상이 발생하지 않았다는 것을 예측할 수 있었다.
- [0044] 따라서, 상기 제1구간 및 제3구간에서 전기저항 변화율에 큰 폭의 변화가 있었기 때문에 시편의 상기 구간에 발생한 것으로 예측되는 미세손상으로 인해, 추가적인 하중이 상기 구간에 가해질 경우 상기 구간에서 시작된 균열로 인해 시편이 파괴될 수 있다는 것을 예측할 수 있었다.

표 1

구분	전기저항 변화율 측정구간					
	제1구간	제2구간	제3구간	제4구간	제5구간	제6구간
전기저항 변화율	1.20	-0.05	-0.15	0.06	0.05	0.03

[0045]

[0046]

상기 표 1은 상기 제1구간 내지 제6구간의 전기저항 변화를 정량적으로 표현하여 정리한 표이다. 여기서, 피로응력 실험 결과 전기저항 변화율이 0.1 이상 또는 -0.1 이하일 경우, 시편에 미세구조 변화가 발생하였을 가능성이 높기 때문에, 시편에 미세손상이 발생하였다는 것을 예측할 수 있다.

[0047]

따라서, 상기 표 1의 제1구간은 전기저항 변화율이 0.1 이상이고, 제3구간은 전기저항 변화율이 -0.1 이하이기 때문에 제1구간과 제3구간에서 미세손상의 존재를 예측할 수 있었다.

[0048]

도 12는 피로응력 실험에 사용된 시편에 대하여 파괴 실험 실시한 결과를 보여주는 그림이다. 파괴 실험 결과 시편에서 균열(400)이 크게 발생된 것을 확인하였으며, 그 균열(400)의 위치는 본 발명으로 예측한 구간과 동일한 제1구간(20)과 제3구간(22)이었다.

[0049]

따라서, 본 발명인 전기저항을 이용한 복합재료의 미세손상 감지방법으로 예측한 시편의 미세손상 위치와 실제 파괴 실험을 통하여 확인한 균열(400) 위치가 일치한다는 것으로부터, 본 발명의 타당성과 신뢰성을 확인할 수 있었다.

[0050]

이상 본 발명의 구체적 실시형태와 관련하여 본 발명을 설명하였으나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 설명된 실시형태를 변경 또는 변형할 수 있으며, 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

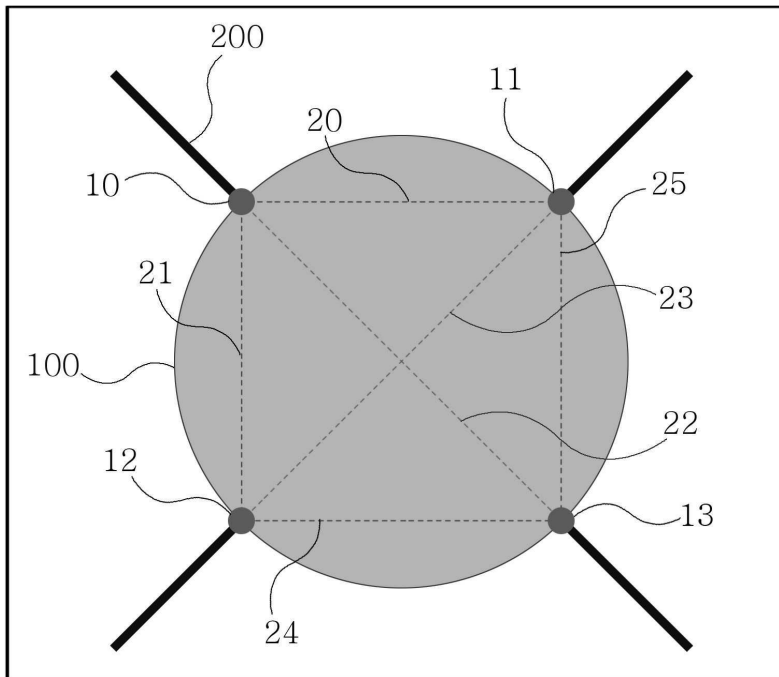
부호의 설명

[0051]

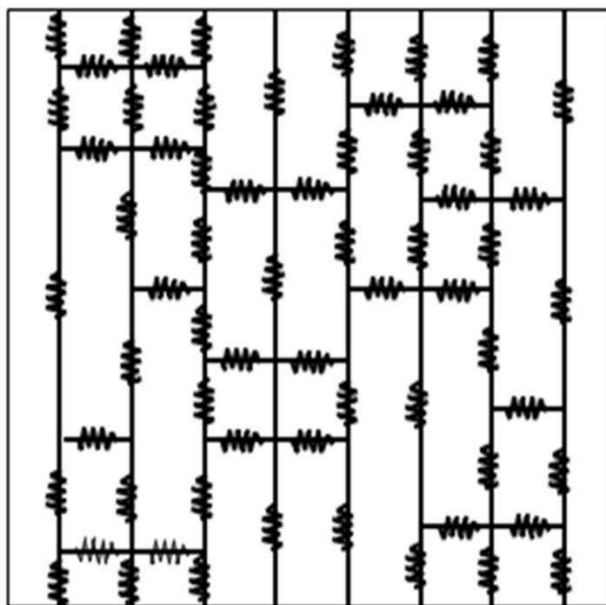
10 : 임의의 접점	20 : 제1구간
11 : 제1접점	21 : 제2구간
12 : 제2접점	22 : 제3구간
13 : 제3접점	23 : 제4구간
100 : 복합재료	24 : 제5구간
200 : 구리선	25 : 제6구간
300 : 시편	
400 : 균열	

도면

도면1



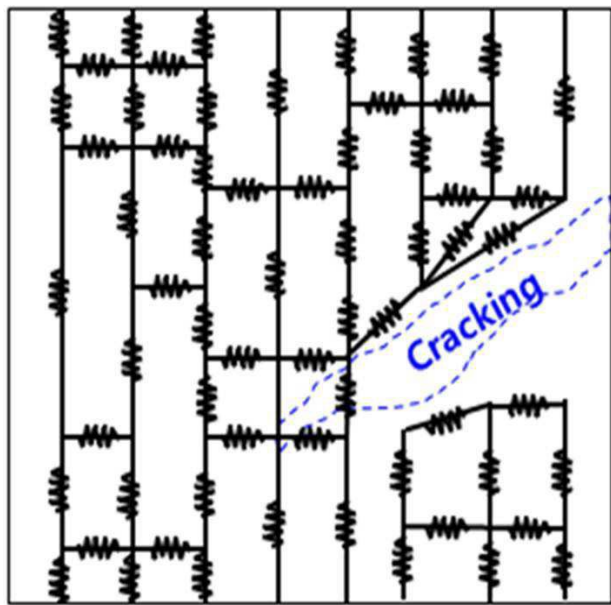
도면2



Connected CNT (current flow)

Obstructed electricity factor

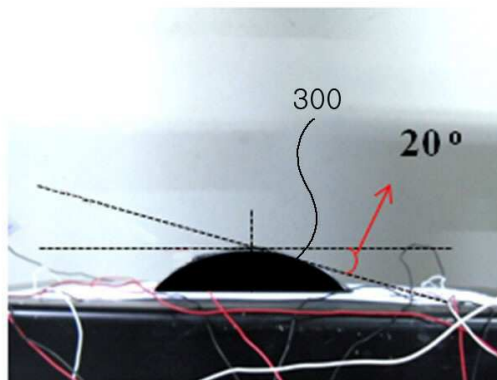
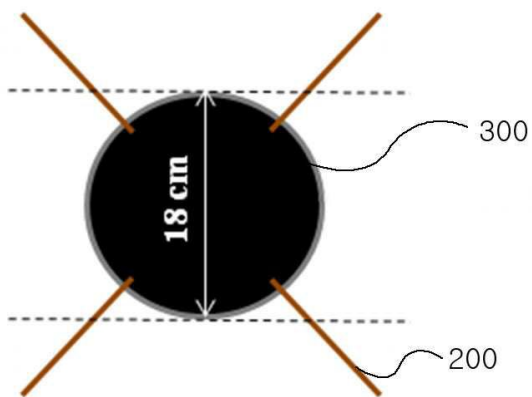
도면3



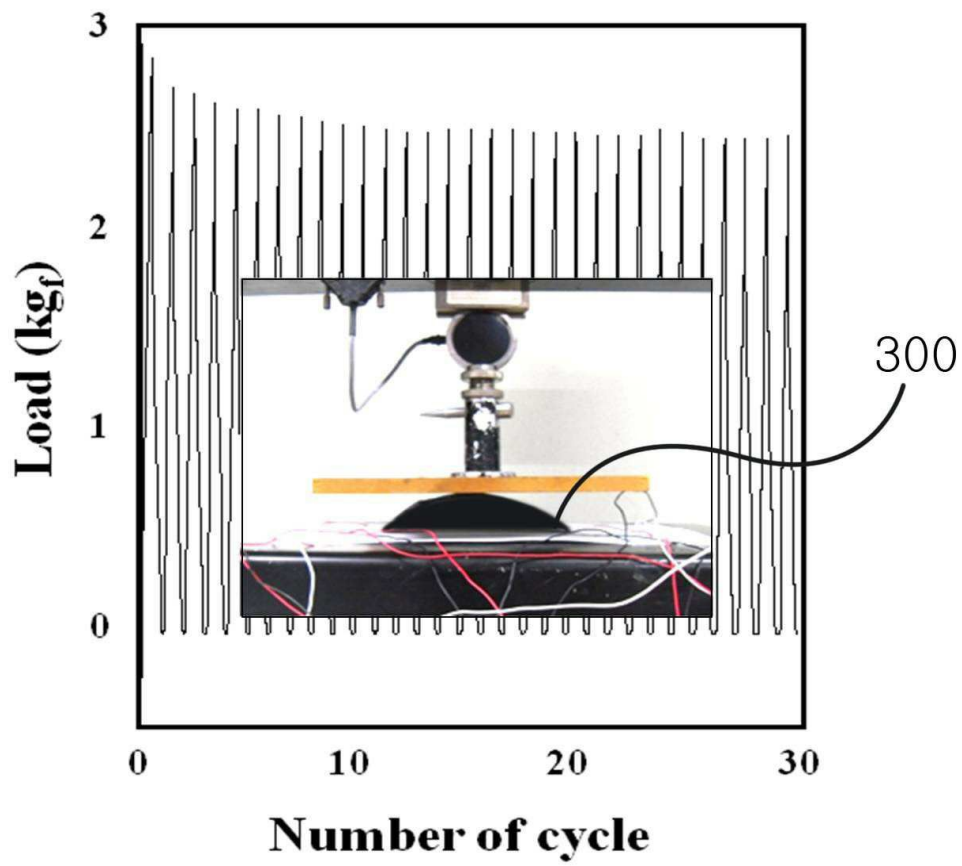
| Connected CNT (current flow)

〰 Obstructed electricity factor

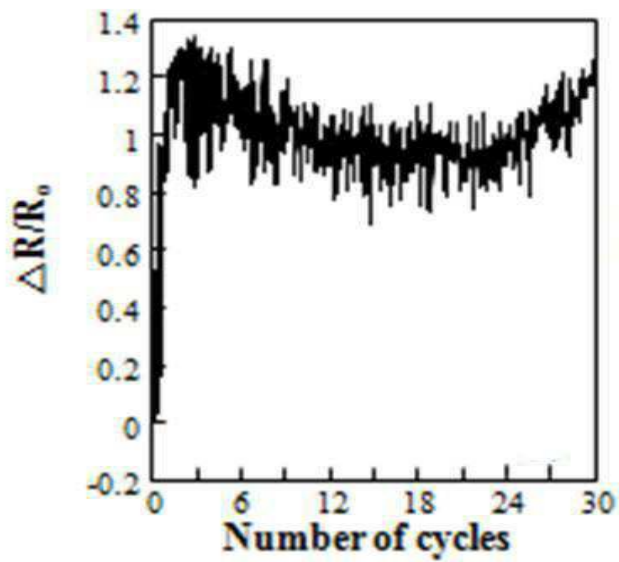
도면4



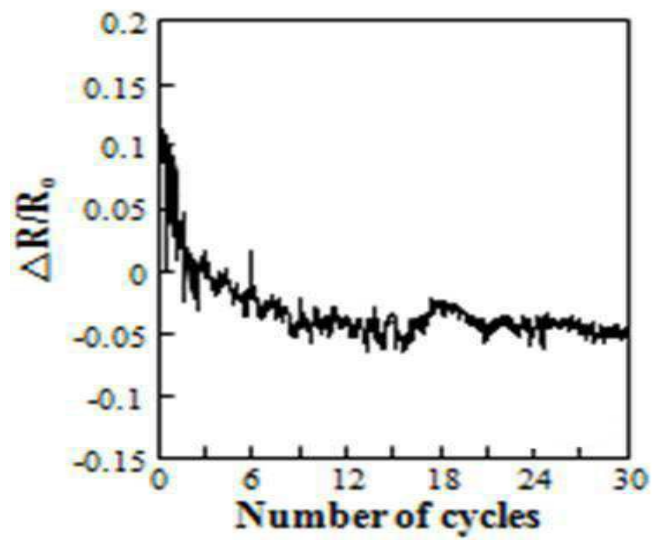
도면5



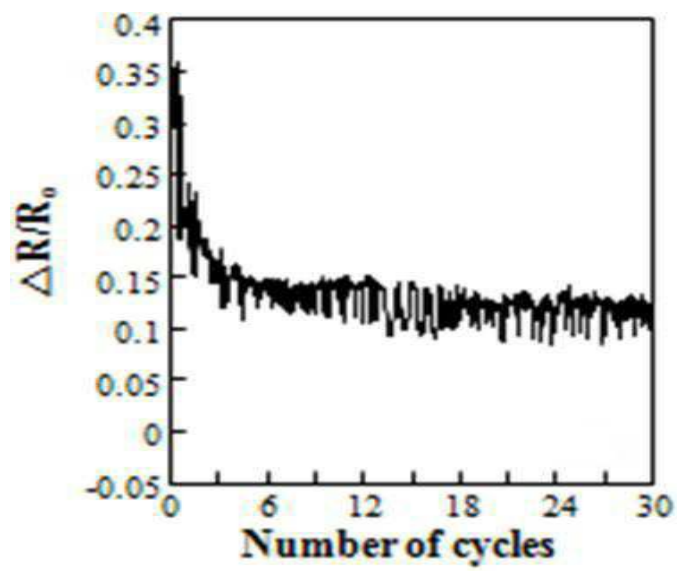
도면6



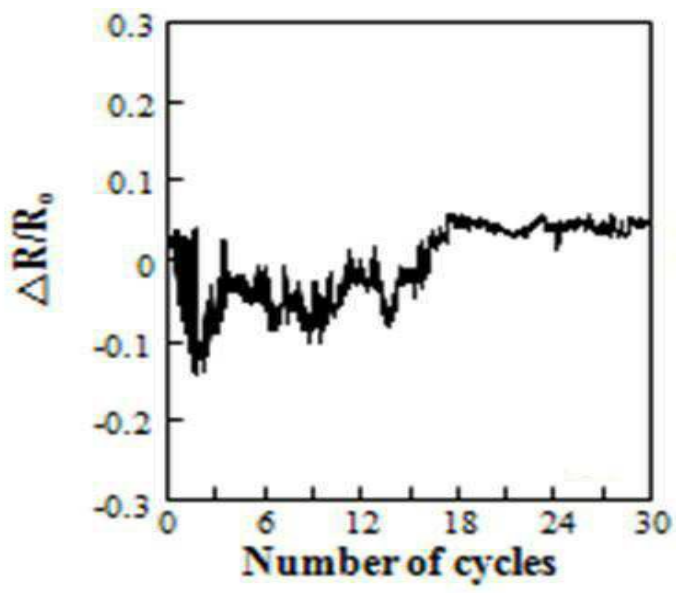
도면7



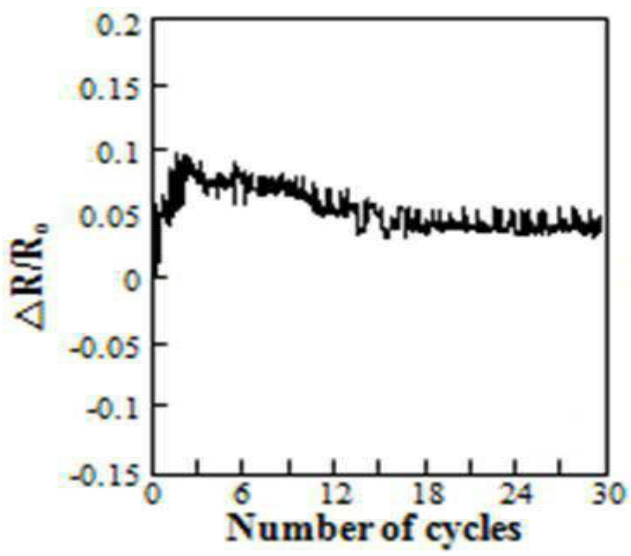
도면8



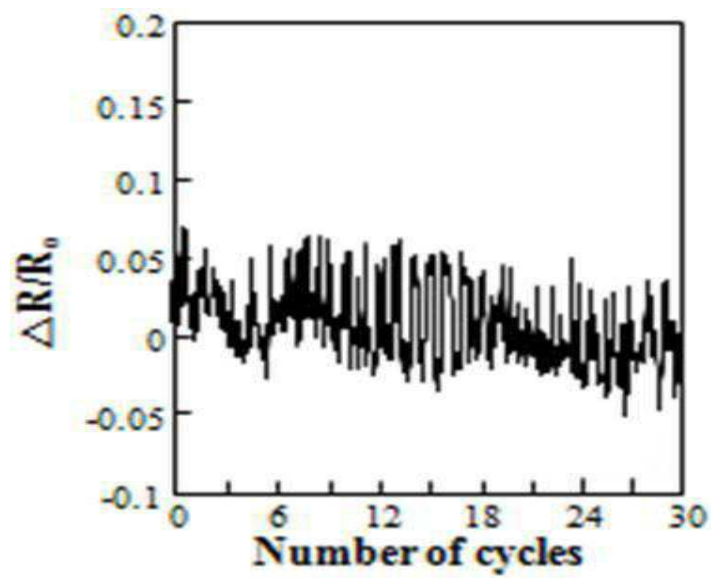
도면9



도면10



도면11



도면12

