(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0145759
(43) 공개일자 2023년10월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 7/16 (2006.01) *G01B 7/293* (2006.01)
G01L 1/18 (2006.01) *G01L 1/22* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01B 7/18 (2013.01)
G01B 7/293 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0044537
(22) 출원일자 2022년04월11일
심사청구일자 2022년04월11일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
강인필
부산광역시 해운대구 센텀중앙로 145, 110동 4704호(재송동, 더샵센텀파크1차아파트)
최백규
경상남도 양산시 대운5길 7, 104동 301호(명동, 웅상신도시 화성파크드림)
(74) 대리인
남건필, 박종수, 정지향, 차상윤

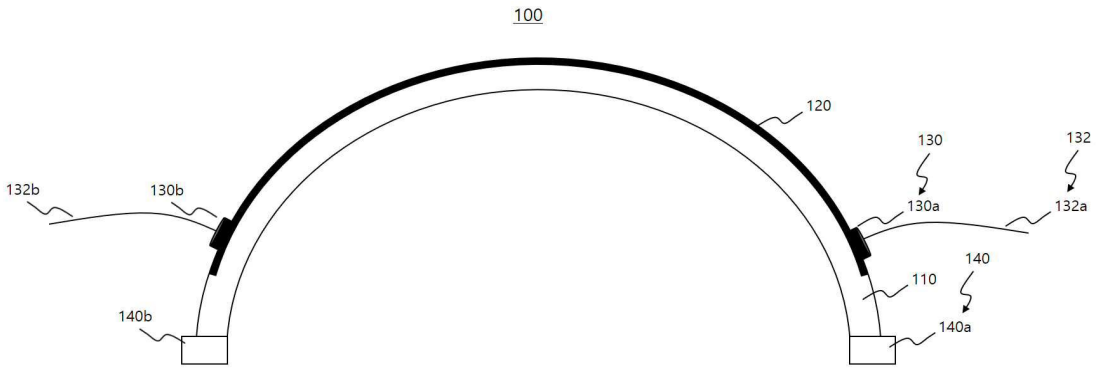
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **초탄성 소재의 대변형 측정을 위한 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서는 기 설정된 곡률거리와 곡률높이를 갖는 굴곡(curvature) 형상으로 형성되되 외력에 따라 상기 곡률거리와 곡률높이가 변하며, 상기 굴곡의 상부면에 기 설정된 두께의 홈을 포함하는 신축성의 변형부, 상기 변형부의 홈에 형성되며 형상이 변형됨에 따라 저항이 변화하는 압저항(piezoresistivity) 센서부, 상기 압저항 센서부의 양 끝단에 형성되어 상기 압저항 센서부에 전기적으로 연결되는 전극 및 상기 변형부의 양 끝단에 구비되어 상기 변형부의 양 끝단을 변형 측정 대상에 고정시키는 고정부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01L 1/18 (2013.01)
G01L 1/2287 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345322071
과제번호 2020R1A6A3A13076361
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기초연구기반구축사업
연구과제명 초탄성 재료의 비선형 거동 계측을 위한 탄소나노 기반 대변형 스트레인 센서의 전왜성 매커니즘 분석 및 설계 연구
기 여 율 1/1
과제수행기관명 부경대학교(제2캠퍼스)
연구기간 2020.06.01 ~ 2021.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

기 설정된 곡률거리와 곡률높이를 갖는 굴곡(curvature) 형상으로 형성되되 외력에 따라 상기 곡률거리와 곡률높이가 변하며, 상기 굴곡의 상부면에 기 설정된 두께의 홈을 포함하는 신축성의 변형부;

상기 변형부의 홈에 형성되며 형상이 변형됨에 따라 저항이 변화하는 압저항(piezoresistivity) 센서부;

상기 압저항 센서부의 양 끝단에 형성되어 상기 압저항 센서부에 전기적으로 연결되는 전극; 및

상기 변형부의 양 끝단에 구비되어 상기 변형부의 양 끝단을 변형 측정 대상에 고정시키는 고정부를 포함하는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 변형부는

외력에 의한 굽힘에 대하여 표면의 인장과 압축의 방향성이 존재하며, 외력이 사라지는 경우 탄성에 의해 본래 곡률거리로 복귀하는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 변형부는

신축성 폴리머로 구성되는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 신축성 폴리머는

열가소성 소재 또는 실리콘을 포함하는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 변형부는

23㎜의 곡률거리, 13㎜의 곡률높이 및 4㎜의 곡률 형상 폭을 가지며, 상기 홈은 1.5㎜의 폭으로 형성되는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 압저항 센서부는

탄소 나노 복합소재로 구성되는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 탄소 나노 복합소재는

다중벽 탄소나노 튜브(Multi-Walled Carbon NanoTube, MWCNT)와 결정성 폴리머가 혼합된 복합 소재인 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 압저항 센서부는

액상 또는 필라멘트 형태의 탄소 나노 복합소재가 페인팅, 스프레이 또는 3D 인쇄 방법을 통해 상기 변형부의 홈에 형성되는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 전극은

실버 페이스트를 통해 전선과 연결되는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 고정부는

쐐기 고정부, 기계적 계면 접촉 고정부 또는 접착 고정부를 포함하는 굴곡 형상의 변형 측정 센서.

청구항 11

상부면에 기 설정된 두께의 홈을 포함하고 기 설정된 곡률거리와 곡률높이를 갖는 굴곡(curvature) 형상의 신축성 변형부를 형성하는 단계;

상기 변형부의 홈에 형상이 변형됨에 따라 저항이 변화하는 압저항(piezoresistivity) 센서부를 형성하는 단계; 및

상기 압저항 센서부의 양 끝단에 전기적으로 연결되는 전극을 형성하는 단계를 포함하는 굴곡 형상의 변형 측정 센서 제조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 압저항 센서부를 형성하는 단계는

초음파 분산 처리된 탄소 나노 입자와 폴리머 수지를 혼합한 후 진공에서 가열하여 탄소 나노 복합소재를 제조하는 단계; 및

상기 탄소 나노 복합소재를 페인팅, 스프레이 또는 3D 인쇄 방법을 이용하여 상기 변형부의 홈에 형성하는 단계를 포함하는 굴곡 형상의 변형 측정 센서 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 고무와 같이 대변형의 비선형 거동을 나타내는 초탄성 소재의 변형을 직접적으로 측정할 수 있는 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 초탄성 소재는 우수한 탄성 복원력과 감쇠 특성으로 인해 방진/방음을 위한 기계 시스템에 널리 활용되고 있다. 그러나, 현재 초탄성/대변형 소재의 설계 및 평가 기술은 소재의 공정 불확실성으로 인해 시행착오적인 경험에 의해 이루어지고 있다.

[0003] 초탄성/대변형 소재로 제작된 부품의 특성을 분석하기 위해 초탄성 소재의 특성(인장, 전단, 압축 등)을 예측하는 기술은 중요하다. 초탄성 소재의 특성을 예측하기 위한 방법으로, 시편 기반의 제한된 시험환경에서 추출된 데이터를 기초로 초탄성 모델의 특성 파라미터를 추정하고 이를 전산 해석 기법에 활용하는 방법 등이 사용되고 있다. 그러나, 이러한 방법은 부품 단위에서 소재 물성의 재현성, 온도 및 동적 환경에서의 점탄성(visco-elastic) 거동 등으로 인해 신뢰성 확보가 어려운 문제가 있다. 따라서, 초탄성/대변형 소재의 특성을 부품 단위에서 계측하기 위한 센서 기술을 개발하는 것이 중요하다.

[0004] 물리적 변형율을 측정하는 센싱 방식으로 금속 및 반도체 기반의 스트레인 게이지 방식, 광섬유 격자 방식 및 비전 방식 등이 사용되고 있다. 그러나, 상기의 방식은 초탄성 소재의 변형율을 측정하는데 아래와 같은 문제점이 있다.

[0005] 금속 및 반도체 기반의 변형율 게이지 방식은 측정 범위(0.5% 이하)가 협소하지만 직접 접착방식으로 국소 평면(in-plane)상 정확도가 높다. 따라서, 금속 및 반도체 기반의 변형율 게이지 방식은 낮은 변형율 계측에 적합하며 초탄성 소재의 변형율 측정에는 적용이 어려운 문제가 있다.

[0006] 광섬유 격자 방식은 측정 범위 (1% 이하)가 협소하지만 직접 접착방식의 대규모 구조물 영역에서 변형율을 계측하는 데 적합하다. 광섬유 격자 방식은 다차원의 변형율 거동을 보이는 소규모 부품 소재의 계측에는 적용이 어려운 문제가 있다.

[0007] 비전 방식은 측정 범위에 제한이 없고 비접촉방식으로 대변형을 계측할 수 있다. 그러나, 비전 방식은 측정 장비의 공간상 제약 조건으로 인해 변형률의 직접 계측이 어렵고 소재 부품의 작동 환경에서 활용이 어려운 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 10-1500840(2015.03.03)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 측정 대상과 센서의 특성이 독립적으로 분리가 되어 측정 대상과 센서 사이의 강성차이로 인한 측정 부정확성을 최소화할 수 있으며, 측정 대상에서 발생하는 응력이 센서의 성능에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법을 제공한다.

[0010] 본 발명은 측정 대상의 초탄성 거동에도 센서와 측정 대상의 접착력 및 결합력이 긴밀하게 유지될 수 있는 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법을 제공한다.

[0011] 본 발명은 센서의 전극이 변형을 받는 측정 대상의 표면 위에 놓이지 않으므로, 센서의 안정성과 신호의 정확도를 높일 수 있는 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법을 제공한다.

[0012] 본 발명은 고무의 탄성 거동과 함께 변형에 대하여 신호의 히스테리시스 현상이 보상되어 고무의 절대적 변형량을 측정할 수 있는 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서는 기 설정된 곡률거리와 곡률높이를 갖는 굴곡(curvature) 형상으로 형성되되 외력에 따라 상기 곡률거리와 곡률높이가 변하며, 상기 굴곡의 상부면에 기 설정된 두께의 홈을 포함하는 신축성의 변형부, 상기 변형부의 홈에 형성되며 형상이 변형됨에 따라 저항이 변화하는 압저항

(piezoresistivity) 센서부, 상기 압저항 센서부의 양 끝단에 형성되어 상기 압저항 센서부에 전기적으로 연결되는 전극 및 상기 변형부의 양 끝단에 구비되어 상기 변형부의 양 끝단을 변형 측정 대상에 고정시키는 고정부를 포함한다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 변형부는 외력에 의한 굽힘에 대하여 표면의 인장과 압축의 방향성이 존재하며, 외력이 사라지는 경우 탄성에 의해 본래 곡률거리로 복귀할 수 있다.

[0015] 일 실시예에서, 상기 변형부는 신축성 폴리머로 구성될 수 있다.

[0016] 일 실시예에서, 상기 신축성 폴리머는 열가소성 소재 또는 실리콘을 포함할 수 있다.

[0017] 일 실시예에서, 상기 변형부는 23㎜의 곡률거리, 13㎜의 곡률높이 및 4㎜의 곡률 형상 폭을 가지며, 상기 홈은 1.5㎜의 폭으로 형성될 수 있다.

[0018] 일 실시예에서, 상기 압저항 센서부는 탄소 나노 복합소재로 형성될 수 있다.

[0019] 일 실시예에서, 상기 탄소 나노 복합소재는 다중벽 탄소나노 튜브(Multi-Walled Carbon NanoTube, MWCNT)와 결정성 폴리머가 혼합된 복합 소재일 수 있다.

[0020] 일 실시예에서, 상기 압저항 센서부는 액상 또는 필라멘트 형태의 탄소 나노 복합소재가 페인팅, 스프레이 또는 3D 인쇄 방법을 통해 상기 변형부의 홈에 형성될 수 있다.

[0021] 일 실시예에서, 상기 전극은 실버 페이스트를 통해 전선과 연결될 수 있다.

[0022] 일 실시예에서, 상기 고정부는 쐐기 고정부, 기계적 계면 접촉 고정부 또는 접착 고정부를 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서 제조 방법은 상부면에 기 설정된 두께의 홈을 포함하고 기 설정된 곡률거리와 곡률높이를 갖는 굴곡(curvature) 형상의 신축성 변형부를 형성하는 단계, 상기 변형부의 홈에 형상이 변형됨에 따라 저항이 변화하는 압저항(piezoresistivity) 센서부를 형성하는 단계 및 상기 압저항 센서부의 양 끝단에 전기적으로 연결되는 전극을 형성하는 단계를 포함한다.

[0024] 일 실시예에서, 상기 압저항 센서부를 형성하는 단계는 초음파 분산 처리된 탄소 나노 입자와 폴리머 수지를 혼합한 후 진공에서 가열하여 탄소 나노 복합소재를 제조하는 단계 및 상기 탄소 나노 복합소재를 페인팅, 스프레이 또는 3D 인쇄 방법을 이용하여 상기 변형부의 홈에 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0025] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법은 측정 대상과 센서의 특성이 독립적으로 분리가 되어 측정 대상과 센서 사이의 강성차이로 인한 측정 부정확성을 최소화할 수 있으며, 측정 대상에서 발생하는 응력이 센서의 성능에 미치는 영향을 최소화할 수 있다.

[0026] 본 발명에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법은 측정 대상의 초탄성 거동에도 센서와 측정 대상의 접착력 및 결합력이 긴밀하게 유지될 수 있다.

[0027] 본 발명에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법은 센서의 전극이 변형을 받는 측정 대상의 표면 위에 놓이지 않으므로, 센서의 안정성과 신호의 정확도를 높일 수 있다.

[0028] 본 발명에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법은 고무의 탄성 거동과 함께 변형에 대하여 신호의 히스테리시스 현상이 보상되어 고무의 절대적 변형량을 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서의 구성을 나타내는 구성도

도 2는 도 1의 굴곡 형상 변형 측정 센서의 정면도와 상면도를 나타낸 도면

도 3은 굴곡 형상 변형 측정 센서의 외력에 따른 변형을 나타내는 도면

도 4는 굴곡 형상 변형 측정 센서의 측정 원리를 나타내는 도면

도 5는 인장 변형에 대한 센서부의 구조해석 결과를 나타내는 도면

도 6은 굴곡 형상 변형 측정 센서의 제작 예를 나타내는 도면

도 7은 센서부의 두께(0.5㎜ (가), 0.3㎜ (나))에 따른 굴곡 형상 변형 측정 센서의 저항 변화를 나타내는 그래프

도 8은 센서부의 두께 변화에 따른 센서의 감도를 비교한 그래프

도 9는 굴곡 형상 변형 측정 센서의 물리량 교정 범위를 나타내는 도면

도 10은 굴곡 형상 변형 측정 센서를 이용한 고무 인장 시편(ASTM D 412A)의 변형율 측정 예시를 나타내는 도면

도 11은 변형율 0-100% 범위에서의 고무 인장 시편에 대한 인장시험 결과를 나타내는 그래프

도 12는 변형율 0-100% 범위에서의 고무 인장 시편에 대한 반복 변형 시험 결과를 나타내는 그래프

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서의 제조 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하, 본 발명에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서의 구성을 나타내는 구성도이다.

[0032] 도 1을 참조하면, 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)는 변형부(110), 압저항(piezoresistivity) 센서부(120), 전극(130) 및 고정부(140)를 포함하고, 전극(130)은 전선(132)과 연결될 수 있다.

[0033] 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)는 굴곡 형상의 곡선 부재에 전도성을 지니는 복합소재가 적층되어 있는 이중 소재의 적층 구조로 형성될 수 있다. 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)는 곡률의 변형에 따라 저항이 변화하는 전왜성 방식의 센서이다. 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)는 변형부를 유연성 소재로 제작하여 측정 대상에 물리적으로 고정시키고, 곡률 거리의 변화에 따라 인장 방향으로의 측정 대상의 대변형을 측정할 수 있다.

[0034] 변형부(110)는 기 설정된 곡률거리와 곡률높이를 갖는 굴곡(curvature) 형상으로 형성되며 외력에 따라 곡률거리와 곡률높이가 변하는 신축성 소재로 제작될 수 있다. 일 실시예에서, 기 설정된 초기 곡률거리와 초기 곡률높이는 구현 예에 따라 다르게 제작될 수 있다. 굴곡 형상으로 형성된 변형부(110)를 통해, 측정 대상과 센서의 특성이 독립적으로 분리가 되어 측정 대상과 센서 사이의 강성차이로 인한 측정 부정확성을 최소화할 수 있으며, 측정 대상에서 발생하는 응력이 센서의 성능에 미치는 영향을 최소화할 수 있다.

[0035] 일 실시예에서, 변형부(110)는 외력에 의한 굽힘에 대하여 표면의 인장과 압축의 방향성이 존재하며, 외력이 사라지는 경우 탄성에 의해 본래 곡률거리로 복귀하는 신축성 폴리머로 제작될 수 있다. 예를 들어, 변형부(110)는 열가소성 소재(ex. Thermoplastic polyurethane, TPU) 또는 실리콘으로 제작될 수 있다.

[0036] 변형부(110)의 굴곡의 상부면에는 기 설정된 두께의 홈이 형성될 수 있으며, 압저항 센서부(120)는 변형부(110)의 홈에 형성되어 형상이 변형됨에 따라 저항이 변화한다. 센서(100)에 외력이 가해지는 경우, 외력에 의해 변형부(110)는 측정 대상(초탄성 소재)과 맞닿는 고정된 양 지점의 곡률거리가 변화하며, 변형부(110)는 변화에 대응하는 힘을 압저항 센서부(120)에 전달하되 압저항 센서부(120)에 균일한 응력이 작용하도록 한다.

[0037] 일 실시예에서, 압저항 센서부(120)는 탄소 나노 입자를 포함하는 탄소 나노 복합소재로 형성될 수 있다. 예를 들어, 압저항 센서부(120)는 다중벽 탄소나노 튜브(Multi-Walled Carbon NanoTube, MWCNT)와 결정성 폴리머(ex. Epoxy)가 혼합된 탄소 나노 복합 소재로 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 탄소 나노 복합 소재는 상용의 높은 종횡비(>1000)를 가지는 탄소 나노 입자와 에폭시 수지 소재가 전기적 안전성을 나타내는 percolation threshold 구간(≥0.5wt%)의 함량비로 제조되어 형성될 수 있다.

[0038] 탄소 나노 복합 소재에 가해지는 외력 및 형상 변형에 의해, 탄소 나노 복합소재의 폴리머 내부에 일정 비율로 분산된 탄소 나노 입자 사이에 상대적 접촉 저항의 변화(△R)가 발생한다. 압저항 센서부(120)는 이러한 탄소 나노 복합소재의 특성을 이용하여 압저항성을 지니는 물리적 센서로 활용활 수 있다.

[0039] 탄소 나노 입자와 결정성 폴리머가 혼합된 탄소 나노 복합 소재는 구조적으로 유연성을 지니며, 반복되는 변형 거동에 따른 탄소 나노 입자 및 폴리머 분자 구조의 재배열과 회복에도 안정적이므로 신호의 선형특성이 우수하고 전기적인 반복 측정 오차를 일으키는 히스테리시스 현상을 억제할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 탄소 나노 복합 소재로 압저항 센서부(120)를 형성하는 경우, 대변형에 대한 반복되는 측정에 대해 센서(100)의 내구성과 신호 복귀 특성을 향상시킬 수 있다.

[0040] 전극(130)은 압저항 센서부(120)의 양 끝단에 형성되어 압저항 센서부(120)에 전기적으로 연결되며, 전극(130)은 전선(132)과 전기적으로 연결된다. 일 실시예에서, 전극(130)은 실버 페이스트를 통해 전선(132)과 연결될 수 있다. 측정 대상의 표면과 분리되어 낮은 응력이 작용하는 곡률 형상의 양 끝 지점에 전극(130)을 형성함으로써, 센서(100)는 측정 대상의 대변형에 대하여 전기적 측정 안정성을 유지할 수 있다. 측정부(미도시)는 전선(132)과 연결되어 전선(132)을 통해 기 설정된 전압을 가하고, 전선(132)통해 흐르는 전류를 측정하여 압저항 센서부(120)의 전기적 특성을 측정한다. 일 실시예에서, 측정부(미도시)는 측정된 전류의 변화를 기초로 압저항 센서부(120)의 저항의 변화를 측정할 수 있다.

[0041] 고정부(140)는 변형부(110)의 양 끝단에 구비되어 변형부(110)의 양 끝단을 측정 대상에 고정시킨다. 일 실시예에서, 고정부(140)는 점 고정방식의 쐐기 고정부 또는 면 고정 방식의 기계적 계면 접촉 고정부 또는 접착 고정부를 포함할 수 있다.

[0042] 도 2는 도 1의 굴곡 형상 변형 측정 센서의 정면도와 상면도를 나타낸 도면이고, 도 3은 굴곡 형상 변형 측정 센서의 외력에 따른 변형을 나타내는 도면이다.

[0043] 도 2와 도 3을 참조하면, 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)는 정면에서 보았을 때 기 설정된 초기 곡률거리(L)와 곡률높이(H)를 갖는 굴곡 형상으로 제작될 수 있다. 측정 대상이 압축 방향으로 변형이 되는 경우, 측정 대상에 고정된 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)도 압축 방향으로 힘을 받아 곡률거리는 감소(L-△L)하고, 곡률높이는 증가(H+△H)할 수 있다. 측정 대상이 인장 방향으로 변형이 되는 경우, 측정 대상에 고정된 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)도 인장 방향으로 힘을 받아 곡률거리는 증가(L+△L)하고, 곡률높이는 감소(H-△H)할 수 있다.

[0044] 도 4는 굴곡 형상 변형 측정 센서의 측정 원리를 나타내는 도면이다.

[0045] 도 4를 참조하면, 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)의 초기 곡률 거리(L_0)에 대한 압저항 센서부(120)의 초기 저항은 R_0로 정의될 수 있다. 측정 대상에 고정된 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)가 측정 대상의 변형에 의해 곡률 거리가 △L만큼 변화하는 경우, 측정부(미도시)는 압저항 센서부(120)의 저항 변화량(△R)을 측정하고 이를 기초로 측정 대상의 변형율을 산출할 수 있다. 일 실시예에서, 측정부는 하기 수학식 1을 통해 측정 대상의 변형율을 산출할 수 있다.

[0046] [수학식 1]

[0047] $$\epsilon_L = \frac{\triangle L}{L_0} = \alpha \frac{\triangle R}{R_0} \ (\alpha = \text{곡률형상계수})$$

[0048] 여기에서, ϵ_L 은 변형율을 나타낸다.

[0049] 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)는 제작된 굴곡 형상에 따라 정의되는 곡률 형상 계수(감도)가 존재하며, 이는 실험을 통해 미리 얻어질 수 있다. 수학식 1을 참조하면, 측정 대상의 변형율은 굴곡 형상의 변형 측정 센서(100)의 곡률 형상 계수와 측정 대상에서 측정된 저항 변화량(△R)을 기초로 표준화된 저항의 곱으로 표현될 수 있다.

[0050] 도 5는 인장 변형에 대한 센서부의 구조해석 결과를 나타내는 도면이다.

[0051] 도 5를 참조하면, 도 5는 유한요소해석(FEM, Finite Element Method) 해석을 통하여 압저항 센서부(120)의 곡률 형상 거동을 나타낸 도면이다. 굴곡 형상의 압저항 센서부(120)는 현의 길이 변화에 대하여 압축 방향으로 변형이 발생하므로 중앙에서는 저항이 감소하게 되지만, 굴곡의 양 끝단에서는 변형이 발생하지 않아 저항의 변화가 적은 것을 확인할 수 있다. 따라서, 전극을 압저항 센서부(120)의 양 끝단에 형성하는 경우, 전극이 변형을 받는 측정 대상의 표면 위에 놓이지 않으므로, 전극의 안정성이 높아질 수 있다.

[0052] 도 6은 굴곡 형상 변형 측정 센서의 제작 예를 나타내는 도면이다.

[0053] 도 6의 (a)는 굴곡 형상 변형 측정 센서의 변형부를 제작한 예이다. 도 6의 (a)의 변형부는 열가소성 폴리우레탄(TPU, Ultimaker, TPU95A) 필라멘트를 재료로 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터를 이용하여 제작되었다. 변형부는 23㎜(곡률거리) x 13㎜(곡률높이) x 4㎜(곡률 형상 폭)의 크기로 제작되었으며, 변형부에

형성된 홈의 폭은 1.5㎜의 크기로 제작되었다.

[0054] 도 6의 (b)는 굴곡 형상 변형 측정 센서를 제작한 예이다. 도 6의 (b)의 센서는 결정성 폴리머 에폭시 수지(Kukdo, Yd-128)와 탄소 나노 입자(Hanwha, CM-280)를 혼합하여 제조된 액상 형태의 탄소 나노 복합소재를 도 6의 (a)의 변형부의 홈에 삽입한 후 경화하여 제작되었다.

[0055] 탄소 나노 복합소재로 형성된 압저항 센서부의 양 끝단에는 전극이 형성될 수 있고, 전극에는 실버 페이스트를 이용하여 전선이 연결될 수 있다. 압저항 센서부와 전극의 상부에는 에폭시 접착 보호층이 형성되어 외부 오염으로부터 보호될 수 있다.

[0056] 도 7은 센서부의 두께((가)0.5㎜, (나)0.3㎜)에 따른 굴곡 형상 변형 측정 센서의 저항 변화를 나타내는 그래프이다.

[0057] 도 7은 도 6의 굴곡 형상 변형 측정 센서에서 압저항 센서부의 두께를 각각 0.5㎜(가) 및 0.3㎜(나)로 제작한 후 두께에 대한 센서의 저항 변화 특성을 테스트한 결과이다. 도 7의 각 그래프는 굴곡 형상 변형 측정 센서의 곡률거리가 초기 곡률 거리(10㎜)에서 최대 곡률 거리(40㎜)까지 변화하는 경우, 압저항 센서부의 저항 변화를 나타낸다.

[0058] 굴곡 형상 변형 측정 센서의 경우, 곡률거리가 증가함에 따라 압저항 센서부에는 압축응력이 작용하며 탄소 나노 입자의 상대적 거리가 가까워지므로 압저항 센서부의 저항은 감소한다. 곡률 거리가 일정 범위 이상으로 증가하는 경우, 곡률 형상의 압축 굽힘이 동시에 발생하므로 압저항 센서부의 저항 변화 그래프에는 선형구간이 이중으로 나타난다.

[0059] 도 7을 참조하면, 두께가 두꺼운 경우(0.5㎜) 압저항 센서부의 기본 저항(14.9 kΩ)은 낮아지며, 두께가 얇은 경우(0.3㎜) 압저항 센서부의 기본 저항(26.6 kΩ)이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 저항체의 길이에 비례하며 단면적에 반비례하는 전기저항체의 기본 특성 관계에 기인한다. 또한, 도 7을 참조하면, 압저항 센서부의 두께가 얇을수록 압축 변형에 대한 변형 포화가 빠르게 일어나는 것을 확인할 수 있다.

[0060] 도 8은 센서부의 두께 변화에 따른 센서의 감도를 비교한 그래프이다.

[0061] 도 8은 압저항 센서부의 두께에 대한 영향을 초기 곡률 거리(10㎜)를 기준으로 무차원화하여 저항의 변화 감도를 비교하여 나타낸 그래프이다. 도 8을 참조하면, 두께가 두꺼운 경우(0.5㎜)와 두께가 얇은 경우(0.3㎜) 모두 변형률(curvature length change) 50% 구간까지는 동일한 감도를 나타내며 50% 이상의 변형률에서는 점차 두께가 얇은 센서에서 더 큰 저항의 변화를 보이는 것을 확인할 수 있다. 두께가 얇은(0.3㎜) 압저항 센서부를 갖는 센서의 경우, 150% 이상의 변형률에서 측정 감도가 크게 증가하며 기울기를 유지하는 것으로 나타나며, 150 % 이상의 변형률 범위에서 이중 선형 구간(bi-linear)을 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한, 완전한 압축이 될 때 저항 변화에 포화 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

[0062] 도 8을 참조하면, 굴곡 형상 변형 측정 센서의 경우, 두께가 얇을수록 기본 저항이 커지며 곡률 거리 변화에 대하여 민감하게 변형하므로 센서의 감도가 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 굴곡 형상 변형 측정 센서의 대변형 측정 감도를 향상시키는 측면에서 압저항 센서부의 두께를 얇게 제작하는 것이 적합하다.

[0063] 도 9는 굴곡 형상 변형 측정 센서의 물리량 교정 범위를 나타내는 도면이다.

[0064] 굴곡 형상 변형 측정 센서를 이용하여 측정 대상의 변형율을 측정하는 경우, 센서의 곡률 거리에 대한 저항 변화 데이터를 이용하여 물리량을 교정할 수 있다. 도 9는 0.3㎜ 두께의 압저항 센서부를 포함하는 굴곡 형상 변형 측정 센서의 곡률거리 변화에 따른 저항 변화를 나타내는 그래프이다. 도 9를 참조하면, 측정 교정 범위를 초기 곡률거리 20㎜에서부터 최대 곡률거리 40㎜까지 설정하고, 이 구간에 대하여 변형율과 저항의 관계식을 도출하였다.

[0065] 일 실시예에서, 0-100%의 변형율에 대한 물리량 교정범위 내에서 변형율은 저항의 변화와 형상 교정 계수의 곱으로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 도 9의 실시예에서, 교정범위 내에서 변형율(Strain)은 0.1473(형상 교정계수)ㅅRn(저항의 변화)의 값으로 나타낼 수 있다.

[0066] 도 10은 굴곡 형상 변형 측정 센서를 이용한 고무 인장 시편의 변형율 측정 예시를 나타내는 도면이다.

[0067] 사용자는 측정 대상에 3차원 굴곡 형상 변형 측정 센서(1020)를 물리적으로 고정한 후 간편하게 변형율을 측정할 수 있으며, 굴곡 형상 변형 측정 센서(1020)는 독립형 센서로 활용될 수 있다. 도 10을 참조하면, 측정 대상인 고무 인장 시편(ASTM D412A)(1010)의 표면에 굴곡 형상 변형 측정 센서(1020)를 쐐기 방식으로 물리적 부착

하고 고무 인장 시편(1010)의 변형율을 측정하는 예를 나타낸다. 고무 인장 시편(1010)에 굴곡 형상 변형 측정 센서(1020)를 설치한 후 변형율을 반복적으로 측정하여, 해당 센서의 정확도와 성능을 테스트할 수 있다.

[0068] 도 11은 변형율 0-100% 범위에서의 고무 인장 시편에 대한 인장시험 결과를 나타내는 그래프이고, 도 12는 변형율 0-100% 범위에서의 고무 인장 시편에 대한 반복 변형 시험 결과를 나타내는 그래프이다.

[0069] 도 11을 참조하면, 굴곡 형상 변형 측정 센서는 100%의 실험치 변형율에 대하여 도 9에서 도출된 관계식을 이용하여 산출한 변형율이 98%의 스트레인을 추정하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 굴곡 형상 변형 측정 센서는 오차율 2% 이내의 정확도로 고무 인장 시편에서 발생하는 초탄성 변형율을 측정할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 하중(load) 그래프에서 굴곡 형상 변형 측정 센서는 변형에 대하여 손실 없이 물리량을 측정 가능한 것을 확인할 수 있다.

[0070] 도 12는 연속적인 변형율 인가 시험에 대해 굴곡 형상 변형 측정 센서의 저항 변화량과 하중(load)의 변화를 비교한 그래프이다. 도 12를 참조하면, 굴곡 형상 변형 측정 센서는 100%의 반복적인 인가 변형율에서 안정적으로 전기적 신호를 획득할 수 있음을 확인할 수 있으며, 초탄성의 하중 변화에 대해 독립적인 변형율 측정 센서로 활용 가능함을 확인할 수 있다.

[0071] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 굴곡 형상의 변형 측정 센서의 제조 방법을 설명하는 흐름도이다.

[0072] 도 13을 참조하면, 상부면에 기 설정된 두께의 홈을 포함하고 기 설정된 곡률거리와 곡률높이를 갖는 굴곡(curvature) 형상의 신축성 변형부(110)를 형성한다(단계 S1310). 일 실시예에서, 변형부(110)는 외력에 의한 굽힘에 대하여 표면의 인장과 압축의 방향성이 존재하며, 외력이 사라지는 경우 탄성에 의해 본래 곡률거리로 복귀하는 신축성 폴리머로 제작될 수 있다. 예를 들어, 변형부(110)는 열가소성 소재(ex. Thermoplastic polyurethane, TPU) 또는 실리콘으로 제작될 수 있다. 일 실시예에서, 변형부는 3D 프린터를 이용하여 제작될 수 있다.

[0073] 변형부(110)의 홈에 형상이 변형됨에 따라 저항이 변화하는 압저항(piezoresistivity) 센서부(120)를 형성한다(단계 S1320). 일 실시예에서, 압저항 센서부(120)는 탄소 나노 복합소재로 형성될 수 있다.

[0074] 탄소 나노 복합소재는 초음파 분산 처리된 탄소 나노 입자와 폴리머 수지를 혼합한 후 진공에서 가열하여 제조될 수 있다. 제조된 탄소 나노 복합소재는 페인팅, 스프레이 또는 3D 인쇄 방법을 통해 변형부(110)의 홈에 삽입될 수 있다. 예를 들어, 결정성 폴리머 에폭시 수지(Kukdo, Yd-128)와 탄소 나노 입자(Hanwha, CM-280)를 혼합하여 제조된 액상 형태의 탄소 나노 복합소재를 변형부(110)의 홈에 삽입한 후 경화하여 압저항 센서부(120)를 형성할 수 있다.

[0075] 압저항 센서부(120)의 양 끝단에 전기적으로 연결되는 전극(130)을 형성한다(단계 S1330). 전극(130)은 실버 페이스트를 통해 전선(132)과 전기적으로 연결될 수 있다.

[0076] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 굴곡 형상의 변형 측정 센서 및 그 제조 방법으로 구현할 수 있다.

부호의 설명

[0077] 100 : 굴곡 형상의 변형 측정 센서

110 : 변형부

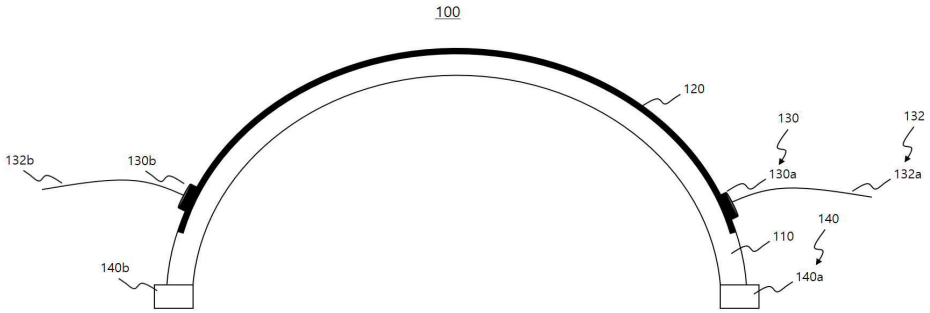
120 : 압저항 센서부

130 : 전극

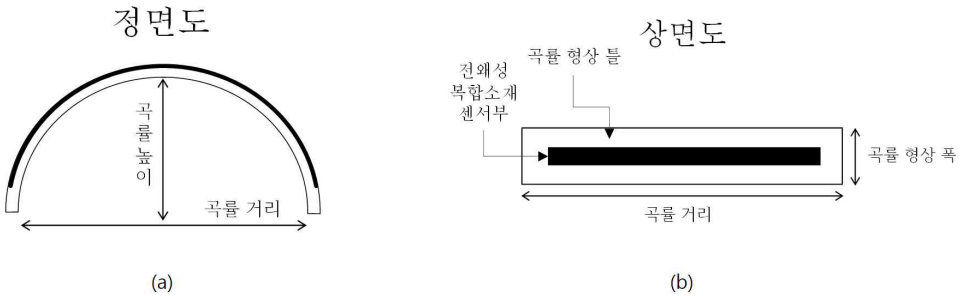
140 : 고정부

도면

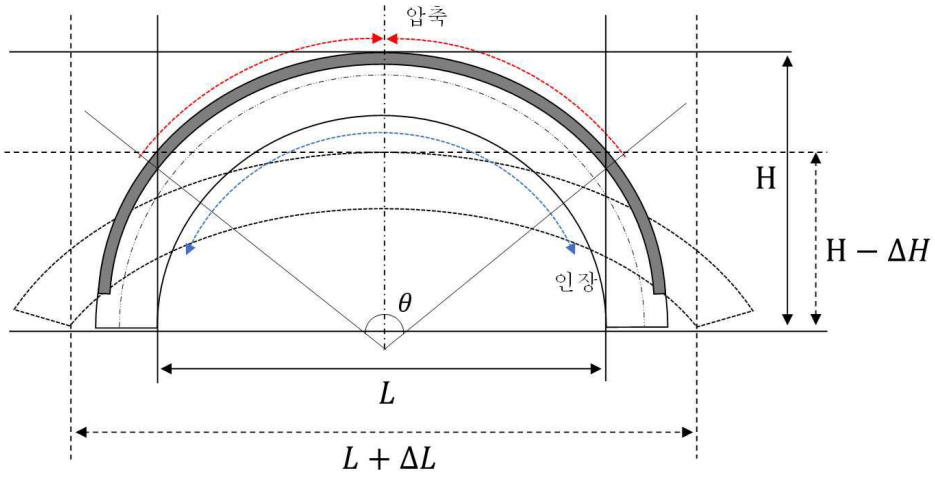
도면1



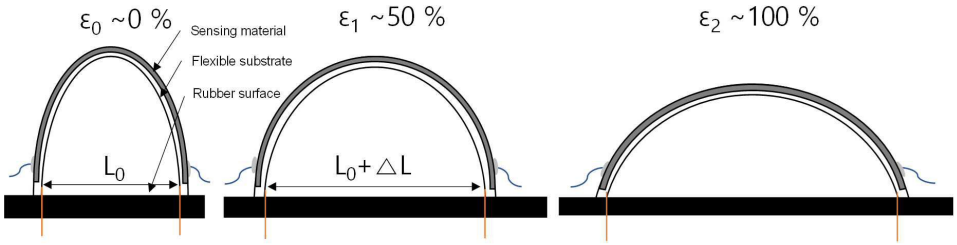
도면2



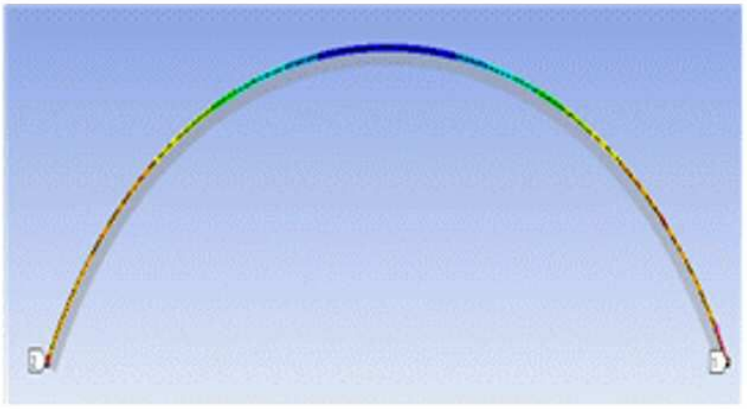
도면3

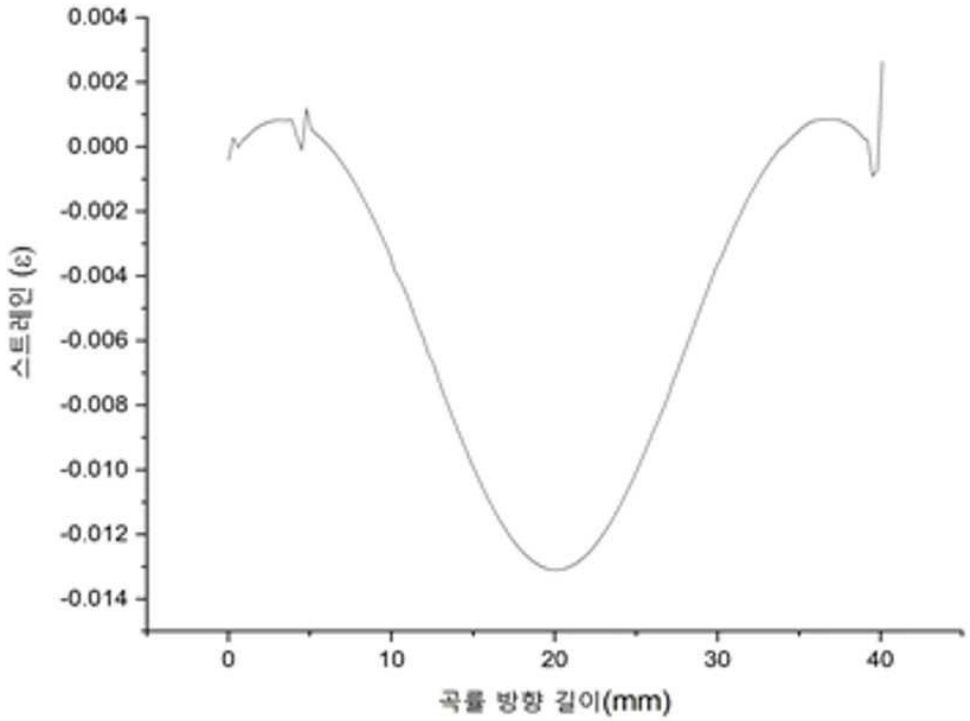


도면4

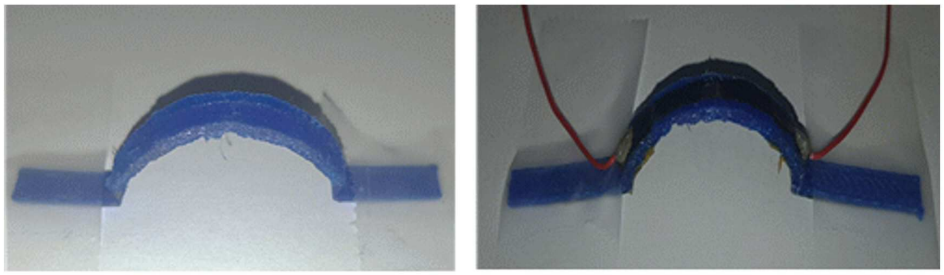

ε0 ~0 %
Sensing material
Flexible substrate
Rubber surface
L0
ε1 ~50 %
L0+△L
ε2 ~100 %

도면5



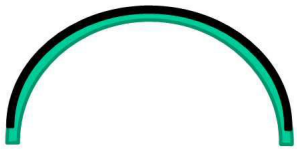

0.004
0.002
0.000
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.010
-0.012
-0.014
스트레인 (ε)
0
10
20
30
40
곡률 방향 길이(mm)

도면6

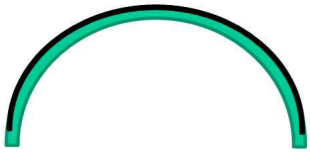


(a) (b)

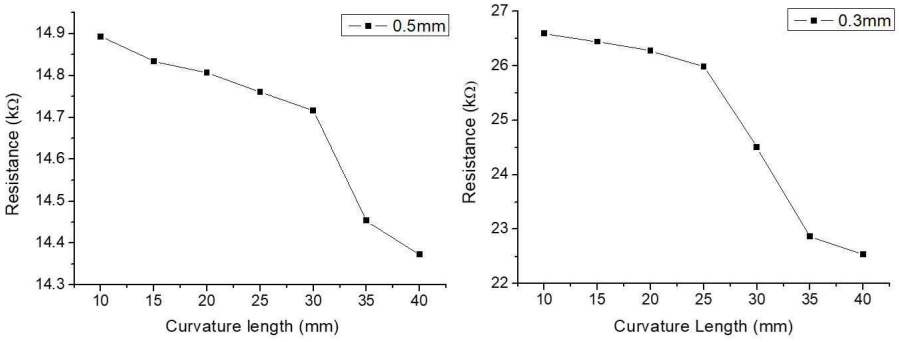
도면7



센서부 두께 : 0.5mm

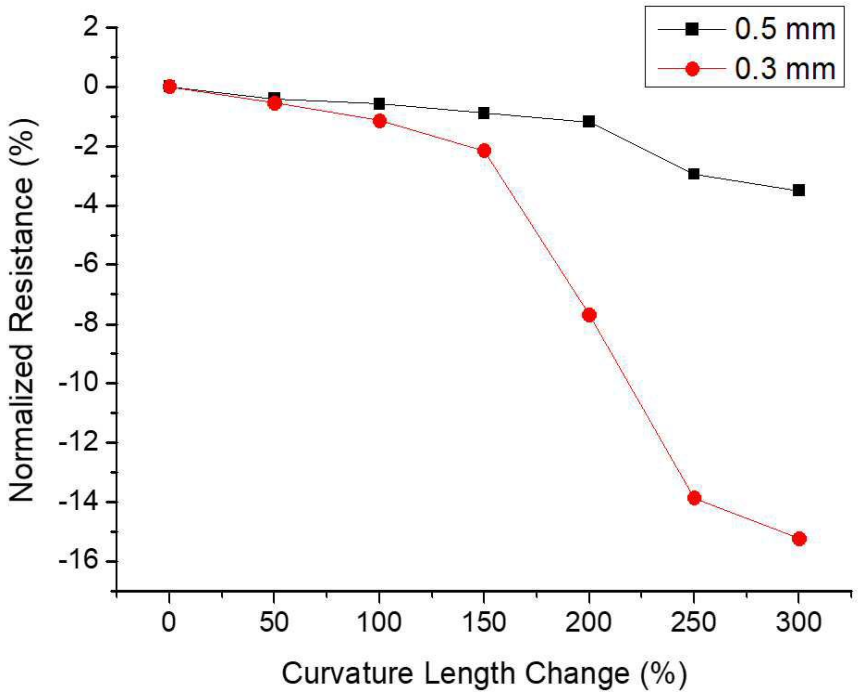


센서부 두께 : 0.3mm

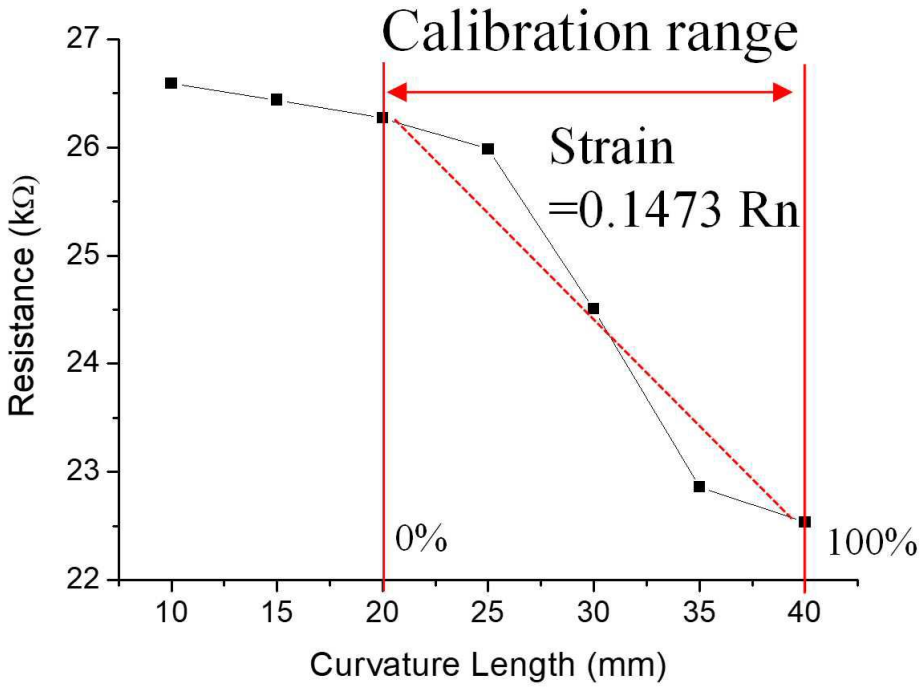


(a) (b)

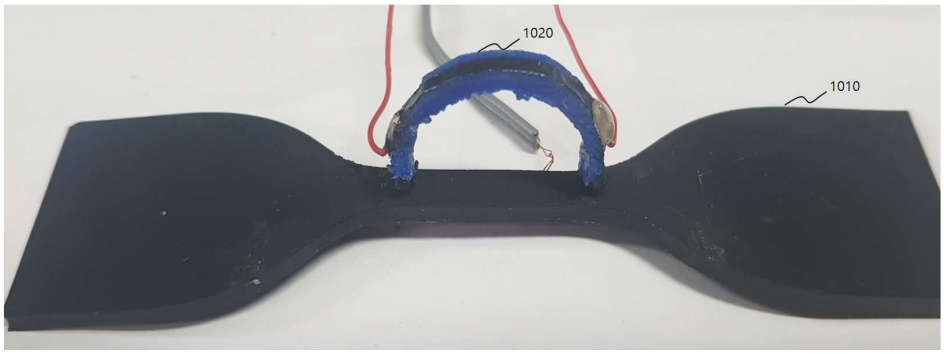
도면8


0.5 mm
0.3 mm
Normalized Resistance (%)
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
-16
0
50
100
150
200
250
300
Curvature Length Change (%)

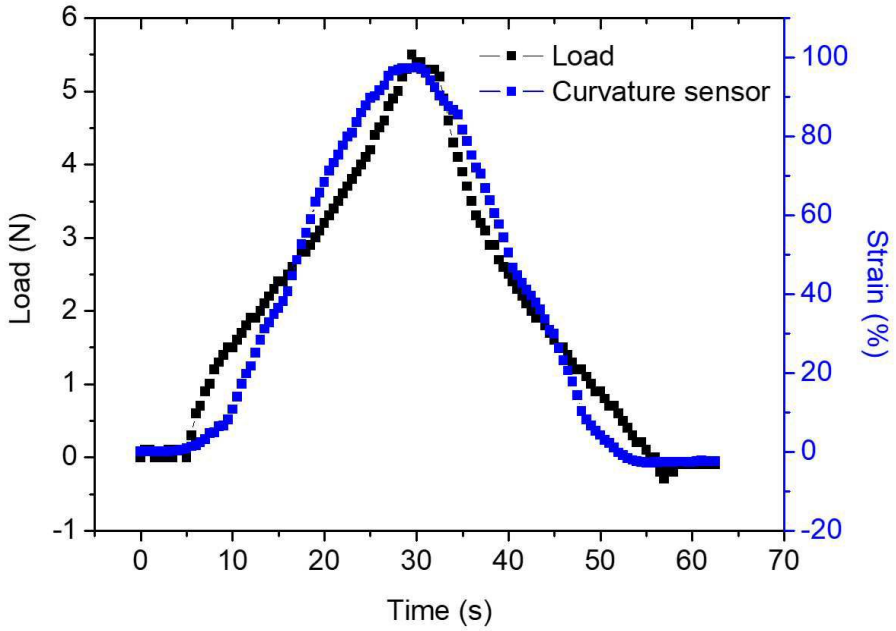
도면9


Calibration range
Strain
=0.1473 Rn
0%
100%
Resistance (kΩ)
27
26
25
24
23
22
10
15
20
25
30
35
40
Curvature Length (mm)

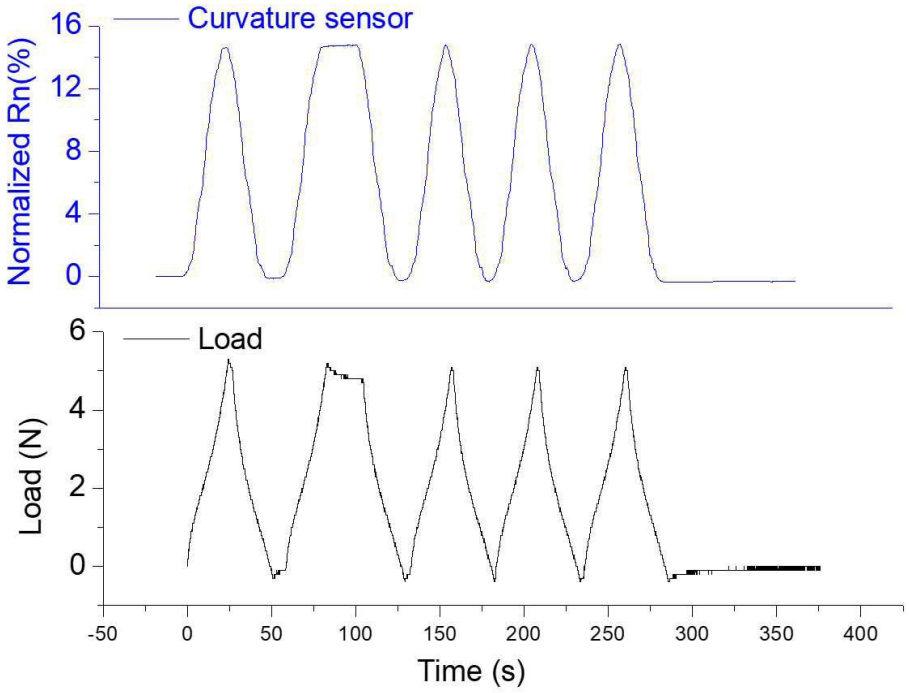
도면10


1020
1010

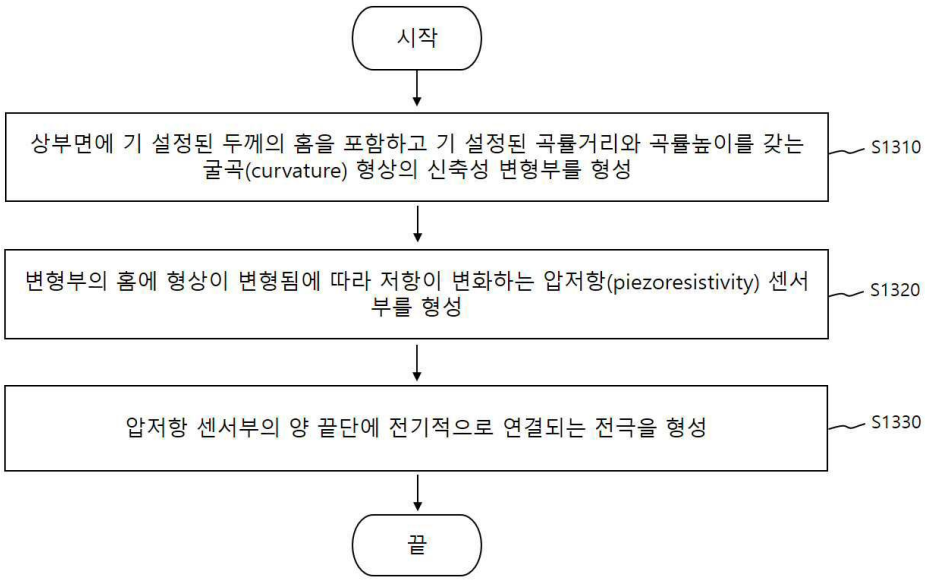
도면11


Load
Curvature sensor
Load (N)
Strain (%)
Time (s)
6
5
4
3
2
1
0
-1
100
80
60
40
20
0
-20
0
10
20
30
40
50
60
70

도면12


Curvature sensor
Normalized Rn(%)
16
12
8
4
0
Load
Load (N)
6
4
2
0
-50
0
50
100
150
200
250
300
350
400
Time (s)

도면13


시작
상부면에 기 설정된 두께의 홈을 포함하고 기 설정된 곡률거리와 곡률높이를 갖는 굴곡(curvature) 형상의 신축성 변형부를 형성
S1310
변형부의 홈에 형상이 변형됨에 따라 저항이 변화하는 압저항(piezoresistivity) 센서부를 형성
S1320
압저항 센서부의 양 끝단에 전기적으로 연결되는 전극을 형성
S1330
끝