(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0079025
(43) 공개일자 2019년07월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
D06M 15/15 (2006.01) *D06M 101/40* (2006.01)
(52) CPC특허분류
D06M 15/15 (2013.01)
D06M 2101/40 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0180917
(22) 출원일자 2017년12월27일
심사청구일자 2017년12월27일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
신현석
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
황현태
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
강동우
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인 무한

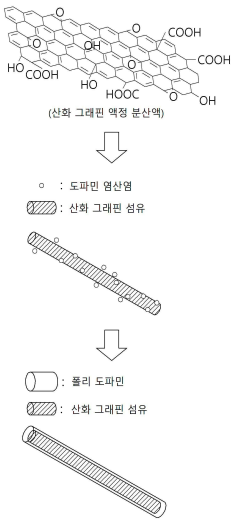
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 **도파민을 이용한 기계적으로 강화된 산화 그래핀 섬유 및 환원된 산화 그래핀 섬유**

(57) 요 약

본 발명은 탄소 섬유 소재에 관한 것으로 보다 상세하게는 각각의 가닥이 코팅된 층으로 둘러 쌓인 산화 그래핀 섬유 소재에 관한 것으로서, 본 발명의 일 측에 따르는 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는, 산화 그래핀 섬유; 및 상기 산화 그래핀 섬유 상에 형성된, 폴리 도파민을 포함하는 코팅층;을 포함한다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1.170016.01
부처명 울산과학기술원
연구관리전문기관 울산과학기술원
연구사업명 UHCR 육성사업
연구과제명 이종계면 반데르발스 구조체 합성 및 물리화학적 특성 연구
기 여 율 1/1
주관기관 울산과학기술원
연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

산화 그래핀 섬유; 및

상기 산화 그래핀 섬유에 형성된, 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 코팅층;을 포함하는,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유는, 환원된 산화 그래핀 또는 탄소 나노튜브를 포함하는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 도파민은, 상기 산화 그래핀 섬유에 분산된 도파민 입자 간에 중합이 형성되어 생성된 폴리 도파민을 포함하는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유와 상기 코팅층의 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상은 물리적, 화학적 또는 둘 다의 방식으로 결합되는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 코팅층의 일부는 상기 산화 그래핀 섬유 내부로 침투하여 형성되는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유 외부로 형성된 상기 코팅층의 두께는 5 nm 내지 50 nm인 것이고,

상기 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는, 240 MPa 이상의 스트레스와 2.5% 이상의 스트레인 특성을 동시에

가지는,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유.

청구항 7

산화 그래핀 섬유를 포함하는 액정 분산액을 준비하는 단계;

상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계; 및

상기 산화 그래핀 섬유 표면에 분산 형성된 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자로부터, 상기 산화 그래핀 섬유에 코팅층을 형성하는 단계;를 포함하는,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계는,

상기 액정 분산액을 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액이 담긴 응고 욕조(coagulation bath)에 주입하는 단계를 포함하는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액의 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염의 농도는 1 중량% 내지 10 중량% 인 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계는,

상기 액정 분산액을 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액이 담긴 응고 욕조에 주입하는 단계; 후에,

상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액의 용매와 동일한 용매를 이용하여 세정하는 단계;를 더 포함하는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유에 코팅층을 형성하는 단계에서,

상기 코팅층의 일부가 상기 산화 그래핀 섬유 내부로 침투 형성되는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유에 코팅층을 형성하는 단계는,

완충 용액에 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 투입하는 단계를 포함하는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 완충 용액은 pH 농도가 7.5 내지 9.5 인 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유에 코팅층을 형성하는 단계는,

상기 완충 용액에 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 투입하는 단계; 후에,

상기 완충 용액의 용매와 동일한 용매를 이용하여 세정하는 단계; 및 건조하는 단계;를 더 포함하는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 15

제7항에 있어서,

상기 산화 그래핀 섬유는 환원된 산화 그래핀 또는 탄소 나노튜브를 포함하는 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법.

청구항 16

제7항 내지 제15항 중 어느 한 항의 제조방법에 의해 제조된 것이고,

상기 코팅층의 일부는 상기 산화 그래핀 섬유 내부로 침투 형성되는 것이고,

상기 산화 그래핀 섬유 외부로 형성된 상기 코팅층의 두께는 5 nm 내지 50 nm인 것인,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유.

청구항 17

제16항에 있어서,

240 MPa 이상의 인장 강도(Tensile stress) 와 2.5% 이상의 변형(Strain) 특성을 동시에 가지는,

코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 도파민을 비롯한 카테콜아민류를 이용한 산화 그래핀 섬유 소재에 관한 것으로 보다 상세하게는 카테콜아민류를 이용한 산화 그래핀 섬유의 직조방법과 이를 환원한 환원된 산화 그래핀 섬유, 이 들의 구조 및 물성에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 탄소 나노 튜브(Carbon nanotube)는 6 각형 고리로 연결된 탄소들이 긴 원통 모양을 이루는 지름 1 nm 크기의 미세한 분자이다. 탄소 나노 튜브는 탄소 원자가 3 개씩 결합하여 벌집 모양의 구조를 갖게 된 탄소 평면이 도르르 말려서 튜브 모양이 됐다고 해서 붙여진 이름이다. 탄소 나노 튜브는 인장력이 강철보다 100 배 강하고 유연성이 뛰어난 미래형 신소재인데, 속이 비어 있어 가벼우며, 전기도 구리만큼 잘 통하며, 열전도도 또한 다이아몬드만큼 좋은 것으로 알려져 있다. 게다가 탄소 나노 튜브는 그 튜브의 지름 및 카이랄성(chirality)에 따라 도체가 되기도 하고 반도체가 되는 성질이 있음이 밝혀지면서 차세대 반도체 물질로도 각광을 받고 있다.

[0005] 한편, 그래핀(graphene)은 2007 년부터 전 세계적으로 주목을 받기 시작한 탄소계 신소재이다. 그래핀은, 흑연(graphite)의 층상 구조에서 고립된 단일 층 또는 10 층 미만의 층을 형성하며, 3 개의 전자가 sp^2 결합을 하고, 1개의 전자는 2 차원적 평면의 상면 및/또는 하면에 π-결합을 한 평면 벌집 모양의 구조를 갖는다. 이러한 구조를 갖는 그래핀은 2 차원 평면에서 전자들의 움직임이 탄도성(Ballistic)을 갖게 되어, 길이에 상관없는 전기 전도성을 나타내므로 허용 전류 밀도가 구리 및 은 등과 같은 금속의 1,000 배 이상을 나타내는 특징이 있다. 이러한 그래핀은, 탄소 나노 튜브(Carbon nanotube)보다 전기 전도도가 더 좋은 것으로 평가되고 있다. 그래핀의 이러한 특성에 기인하여, 도전 재료, 전자파 차폐 재료, 태양 전지, 고분자 복합 재료 등에 다양하게 응용되고 있다.

[0006] 이러한 그래핀의 여러 형태 가운데, 산화 그래핀 섬유는 많은 친수성 산소 작용기(Oxygen-functional group)를 가지고 있으며, 이러한 산소 작용기는 복합 재료를 보강할 수 있는 높은 가공성을 부여할 수 있다.

[0008] 이와 같이 다양하게 존재하는 탄소 섬유 기반 복합재들은 비강도, 비탄성, 내열성과 같은 물성이 다른 종류의 섬유에 비해 월등히 우수하고, 경량이면서 고강도, 고탄성 복합체를 만들 수 있는 장점이 있다.

[0010] 이와 같이 탄소 소재를 기반으로 한 복합재들은 1950 년대에서 시작되어 오늘날에 이르기까지 여러 분야에서 사용이 점차 증가하고 있다. 특히, 탄소 섬유 복합재의 발달은 소재 고유의 특성인 비강성, 내식성, 내마모성, 고강도, 우수한 감쇠 특성으로 현재 항공산업에 가장 많이 사용되고 있으며, 스포츠용품, 기계구조물, 자동차 등 많은 분야에서 사용이 점차 증가하고 있다.

[0011] 그 중, 직물을 이용한 복합재는 취급이 용이하고 유연성이 높기 때문에 복잡한 형상을 가지는 금형에 적용하기

가 수월하여 열성형(Thermoforming)이나 RTM(Resin Transfer Moulding) 및 여러 가지 드레이핑(Draping) 재료로 많이 사용되고 있다.

[0013] 이러한 탄소 섬유 기반의 복합재의 적용 분야를 확대시키고, 적용되는 제품 등에서의 내구성을 확보하기 위하여, 탄소 섬유 기반 복합재의 기계적 강도를 향상시키는 연구가 다양하게 진행되고 있다.

[0014] 그 중 최근에는 탄소 섬유에 특정 분자들을 코팅하는 방법 등을 이용하여 섬유 각각의 가닥에 있어서 기계적 물성을 향상시키는 기술에 대한 연구가 진행되고 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명은, 기계적 물성이 강화된 산화 그래핀 섬유 및 그 제조방법을 제공하기 위한 것으로, 비교적 간단한 방법을 이용하여 도파민을 포함하는 물질을 산화 그래핀 섬유 내부에 침투 시키고 중합 시킴으로써 산화 그래핀 섬유의 내구성을 강화시킨 새로운 개념의 탄소계 소재 및 그 제조방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0018] 본 발명의 일 측에 따르는 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는, 산화 그래핀 섬유; 및 상기 산화 그래핀 섬유에 형성된, 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 코팅층;을 포함한다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀은 환원된 산화 그래핀 또는 탄소 나노 튜브를 포함할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 도파민은, 상기 산화 그래핀 섬유에 분산된 도파민 입자 간에 중합이 형성되어 생성된 폴리 도파민을 포함하는 것일 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유와 상기 코팅층의 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상은 물리적, 화학적 또는 둘 다의 방식으로 결합되는 것일 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 코팅층의 일부는 상기 산화 그래핀 섬유 내부로 침투하여 형성되는 것일 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유 외부로 형성된 상기 코팅층의 두께는 5 nm 내지 50 nm인 것이고, 상기 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는 240 MPa 이상의 스트레스와 2.5% 이상의 스트레인 특성을 동시에 가지는 것일 수 있다.

[0025] 본 발명의 다른 일 측에 따르는 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법은, 산화 그래핀 섬유를 포함하는 액정 분산액을 준비하는 단계; 상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계; 및 상기 산화 그래핀 섬유에 분산 형성된 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자로부터, 상기 산화 그래핀 섬유에 코팅층을 형성하는 단계;를 포함한다.,

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계는, 상기 액정 분산액을 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액이 담긴 응고 욕조(coagulation bath)에 주입하는 단계를 포함하는 것일 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액의 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포

함하는 염의 농도는 1 중량% 내지 10 중량% 인 것일 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계는, 상기 액정 분산액을 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액이 담긴 응고 욕조에 주입하는 단계; 후에, 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액의 용매와 동일한 용매를 이용하여 세정하는 단계; 및 건조하는 단계;를 더 포함하는 것일 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유에 코팅층을 형성하는 단계는, 완충 용액에 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 투입하는 단계를 포함하는 것일 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 완충 용액은 pH 농도가 7.5 내지 9.5 인 것일 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유 상에 코팅층을 형성하는 단계는, 완충 용액에 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 투입하는 단계 후에, 상기 완충 용액의 용매와 동일한 용매를 이용하여 세정하는 단계를 더 포함하는 것일 수 있다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유는 환원된 산화 그래핀 또는 탄소 나노튜브를 포함하는 것일 수 있다.

[0034] 본 발명의 또 다른 일 측면에 따르는 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는, 본 발명의 일 실시예에 따르는 제조방법에 의해 제조된 것이고, 상기 코팅층의 일부는 상기 산화 그래핀 섬유 내부로 침투 형성되는 것이고, 상기 산화 그래핀 섬유 외부로 형성된 상기 코팅층의 두께는 5 nm 내지 50 nm인 것일 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 240 MPa 이상의 스트레스와 2.5% 이상의 스트레인 특성을 동시에 가지는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0037] 본 발명의 일 측면에 따르면, 기계적 물성이 강화된 산화 그래핀 섬유와 그를 제조할 수 있는 방법이 제공되는 효과가 있으며, 비교적 간단한 방법을 이용하여 도파민을 포함하는 코팅층을 산화 그래핀 섬유에 형성함으로써, 산화 그래핀 섬유의 스트레스 및 스트레인 특성을 모두 상당한 수준으로 강화시킨 새로운 개념의 탄소계 소재 및 그 제조방법을 제공하기 위한 것이다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은, 본 발명의 일 실시예에 따라 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유가 형성되는 과정과 그로부터 형성된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 구조를 나타내는 개략도이다.

도 2는, 본 발명의 일 실시예에 따라 산화 그래핀 섬유 상에서 도파민 염산염 입자가 폴리 도파민으로 중합되는 과정을 나타내는 화학식이다.

도 3은, 본 발명의 일 실시예에 이용되는 산화 그래핀 및 그래핀 섬유들의 단면 SEM 사진이다.

도 4는, 본 발명의 실시예로서 제조된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유와 다양한 비교예들에 대한 FT-IR 스펙트럼 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

도 5는, 본 발명의 실시예로서 제조된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 XPS 스펙트럼 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

도 6은, 본 발명의 비교예로서 제조된 염화칼슘 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유의 XPS 스펙트럼 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

도 7은, 본 발명의 비교예로서 제조된 도파민 염산염(Dopamine hydrochloride) 입자가 분산 형성된 산화 그래핀

섬유의 XPS 스펙트럼 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

도 8은, 도파민-산화 그래핀 섬유 단면의 광학 현미경 이미지 및 FT-IR mapping 이미지 사진이다.

도 9는, 본 발명의 실시예로서 제조된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유와 다양한 비교예들에 대하여 각각의 기계적 특성을 확인할 수 있는 스트레스-스트레인 그래프이다.

도 10은, 본 발명의 실시예로서 제조된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유와 다양한 비교예들에 대하여 각각의 기계적 특성을 확인할 수 있는 스트레스 및 스트레인 값을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다.

[0041] 아래 설명하는 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있다. 아래 설명하는 실시예들은 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 이들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0042] 실시예에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 실시예를 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0043] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0044] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0046] 본 발명의 일 측에서는 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유를 제공한다. 본 발명에서 제공하는 산화 그래핀 섬유는 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 코팅층을 표면에 구비함으로써 코팅층이 없는 산화 그래핀 섬유에 비해 기계적인 성질이 향상된 특징을 가진다.

[0048] 본 발명의 일 측에 따르는 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는, 산화 그래핀 섬유; 및 상기 산화 그래핀 섬유에 형성된, 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 코팅층;을 포함한다.

[0049] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유는, 환원된 산화 그래핀 또는 탄소 나노튜브를 포함하는 것일 수 있다.

[0050] 상기 산화 그래핀은 흑연 산화물을 박리한 것으로서, 이와 같은 산화 그래핀은 분산 용액을 제조하는 것이 가능하므로, 박막화가 가능하다는 특징을 갖는다.

[0051] 상기 그래핀은 복수개의 탄소원자들이 서로 공유결합으로 연결되어 형성된 폴리 사이클릭 방향족 분자를 의미하며, 상기 공유결합으로 연결된 탄소원자들은 기본 반복단위로서 6원환을 형성하나, 5원환 및/또는 7원환을 더 포함하는 것도 가능하다. 따라서, 상기 그래핀은 서로 공유 결합된 탄소원자들의 단일층으로 확보될 수 있다. 그래핀은 단일층으로 이루어질 수 있으나, 이들이 여러 개 서로 적층되어 복수층을 형성하는 것도 가능하며, 수십 ㎛ 정도 까지의 두께를 형성할 수 있다. 그래핀의 측면 말단부는 수소 원자로 포화될 수 있다.

[0053] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 도파민은, 상기 산화 그래핀 섬유에 분산된 도파민 입자 간에 중합이 형성되어 생성된 폴리 도파민을 포함하는 것일 수 있다.

[0054] 이 때, 도파민 입자는 도파민을 포함하는 분산 형성된 입자를 의미하며, 상기 도파민 입자는 다른 성분과 함께 염 형태로 산화 그래핀 섬유에 분산 형성되는 것일 수 있다. 일 예로서, 상기 도파민 입자는 도파민 염산염(Dopamine hydrochloride) 입자일 수 있다.

[0055] 일 예로서, 분산 형성된 도파민 입자를 포함하는 산화 그래핀 섬유는 본 발명에서 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유를 형성하기 위한 중간체 물질일 수 있다. 즉, 본 발명의 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는 일 예로서, 산화 그래핀 섬유로부터 도파민 염산염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 거쳐, 폴리 도파민 코팅층이 형성된 산화 그래핀 섬유를 확보할 수 있다.

[0056] 최근 일부 연구실에서는 평평한 산화 그래핀 박막 상에 도파민 또는 폴리 도파민 입자를 화학적으로 결합 또는 분산시키는 기술에 대해 연구 결과를 발표(ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 13037-13050)한 바 있다.

[0057] 본 발명은 상기 기술에서 훨씬 더 나아가, 산화 그래핀 섬유 각각의 가닥에 균질하게 형성된 나노 사이즈 두께의 폴리 도파민 코팅층을 형성하는 기술을 제공하는 것이다. 본 발명의 폴리 도파민 코팅층은, 일 예로서 산화 그래핀 섬유 상에 도파민 입자를 분산 형성시킨 후, 각각의 도파민 입자들 간에 중합이 형성됨으로써 생성된 것일 수 있다.

[0059] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유와 상기 코팅층의 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상은 물리적, 화학적 또는 둘 다의 방식으로 결합되는 것일 수 있다.

[0060] 일 예로서, 산화 그래핀에는 많은 수산화 작용기(hydroxyl functional group) 및 카르복시기(carboxyl functional group)가 존재하고 도파민에는 아민 작용기(amine functional group)들이 존재한다. 산화 그래핀 상에 도파민을 형성하는 과정에서, 이 두 물질에 포함된 작용기 그룹 간에는 각각 수소결합 및 탈수반응으로 인한 펩타이드결합(peptide bonding) 등이 형성될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 코팅층의 일부는 상기 산화 그래핀 섬유 내부로 침투하여 형성되는 것일 수 있다.

[0062] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유 외부로 형성된 상기 코팅층의 두께는 5 nm 내지 50 nm인 것이고, 상기 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는 240 MPa 이상의 스트레스와 2.5% 이상의 스트레인 특성을 동시에 가지는 것일 수 있다.

[0063] 상기 코팅층의 두께가 5 nm 미만으로 형성될 경우, 실질적인 기계적 물성의 향상에 크게 기여하지 못하는 문제가 생길 수 있고, 50 nm 초과로 형성될 경우, 오히려 코팅층의 성분이 주성분을 형성하여 기계적 강도가 감소되는 문제가 생길 수 있다. 상기 폴리 도파민 코팅층이 산화 그래핀 섬유 상에 도입됨으로써 산화 그래핀 섬유의 기계적 물성이 전반적으로 향상될 수 있으며, 본 발명의 폴리 도파민 코팅층을 산화 그래핀 섬유 상에 형성시킬 경우, 산화 그래핀 섬유 각각의 가닥에 대한 스트레스와 스트레인 특성이 코팅층이 형성되지 않은 산화 그래핀 섬유에 비해 향상될 수 있다.

[0065] 본 발명의 다른 일 측에서는 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법을 제공한다.

[0066] 도 1은, 본 발명의 일 실시예에 따라 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유가 형성되는 과정과 그로부터 형성된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 구조를 나타내는 개략도이다. 아래에서는 도 1을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따르는 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법 각 단계에 대해 상세히 설명한다.

[0068] 본 발명의 다른 일 측에 따르는 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 제조방법은, 산화 그래핀을 포함하는 액정 분산액을 준비하는 단계; 상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계; 및 상기 산화 그래핀 섬유에 분산 형성된 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자로부터, 상기 산화 그래핀 섬유에 코팅층을 형성하는 단계;를 포함한다.,

[0070] 본 발명의 일 예에서는 산화 그래핀 섬유를 액정 분산액 상태로 준비하고, 그로부터 산화 그래핀 섬유에 도파민 성분을 화학적으로 결합시키는 것일 수 있다. 이 때, 산화 그래핀 섬유를 준비하는 과정에서, 본 발명의 특징을 구현하기 위하여 산화 그래핀 플레이크(flake) 간의 정렬이 중요한 요소로 작용할 수 있다. 이를 수행하기 위해서는, 산화 그래핀을 액정으로 형성하는 것이 바람직한 것일 수 있다.

[0071] 일 예로서, 상기 산화 그래핀 섬유에 도파민을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계에서 상기 산화 그래핀 섬유는 겔 상태인 것일 수 있다.

[0072] 상기 도파민을 포함하는 염 입자는, 도파민과 추가적인 성분을 포함하여 염 형태로 존재하는 입자로서, 일 예로서, 상기 도파민을 포함하는 염 입자는 도파민 염산염(Dopamine hydrochloride) 입자인 것일 수 있다.

[0074] 도 2는, 본 발명의 일 실시예에 따라 산화 그래핀 섬유에서 도파민 염산염 입자가 폴리 도파민으로 중합되는 과정을 나타내는 화학식이다.

[0075] 도 2에 도시된 일 예와 같이, 본 발명의 일 실시예에서 산화 그래핀 섬유에 분산 형성된 도파민을 포함하는 염 입자의 도파민 물질들은 산소와 반응하여 도파민 퀴놀린으로 전환된 뒤 분자 구조가 재배열되는 일련의 과정을 거쳐 인돌 형태를 형성하고, 상호 간에 중합을 형성하면서 폴리 도파민이 생성될 수 있다.

[0076] 도 3은, 본 발명의 일 실시예에 이용되는 산화 그래핀 및 그래핀 섬유들의 단면 SEM 사진이다.

[0077] 본 발명에서는 이와 같이 산화 그래핀 섬유 표면 및 내부에 분산 형성된 도파민을 포함하는 염 입자의 도파민 간에 중합을 유도함으로써, 산화 그래핀 섬유에 균질한 폴리 도파민 코팅층을 형성할 수 있다.

[0079] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계는, 상기 액정 분산액을 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액이 담긴 응고 욕조(coagulation bath)에 주입하는 단계를 포함하는 것일 수 있다.

[0080] 일 예로서, 상기 염 용액은 5 중량%의 도파민 염산염을 포함하는 것일 수 있다. 이 때, 상기 염 용액에 이용되는 용매는 유기 용매일 수 있다. 상기 유기 용매의 종류에 대해서는 본 발명에서 특별히 한정하지 않으나, 물과 에탄올의 혼합 용매인 것일 수 있다. 일 예로서, 상기 도파민 염산염 용액은 물과 에탄올이 3 : 1의 부피비로 혼합된 혼합 용매를 이용하여 형성된 것일 수 있다.

[0082] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액의 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염의 농도는 1 중량% 내지 10 중량% 인 것일 수 있다.

[0083] 상기 도파민을 포함하는 염의 농도가 1 중량% 미만일 경우 산화 그래핀 섬유의 응고가 잘 형성되지 않거나, 산화 그래핀 섬유 내부로 코팅층이 효과적으로 침투하지 못하는 문제가 생길 수 있고, 10 중량% 초과일 경우 코팅층의 성분이 지나치게 과다하여 기계적 물성이 저하되는 문제가 생길 수 있다.

[0085] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유에 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자를 분산 형성하는 단계는, 상기 액정 분산액을 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액이 담긴 응고 욕조에 주입하는 단계; 후에, 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 용액의 용매와 동일한 용매를 이용하여 세정하는 단계; 및 건조하는 단계;를 더 포함하는 것일 수 있다.

[0086] 일 예로서, 상기 도파민을 포함하는 염 용액을 물과 에탄올이 3 : 1의 부피비로 혼합된 혼합 용매를 이용하여 형성할 경우, 상기 세정하는 단계에서도 동일하게 물과 에탄올이 3 : 1의 부피비로 혼합된 혼합 용매를 이용하여 세정할 수 있다.

[0087] 도파민을 포함하는 염 용액이 담긴 응고 욕조에서 상기 산화 그래핀 섬유에 도파민을 포함하는 염 입자가 분산

형성된 후, 상기 세정하는 단계를 추가로 더 포함함으로써, 산화 그래핀 섬유 표면에 과도한 코팅층 성분이 형성되는 것을 방지하는 효과를 기대할 수 있다. 상기 세정하는 단계가 수행된 산화 그래핀 섬유는, 겔 상태인 것일 수 있다.

[0088] 상기 세정하는 단계가 수행된 후, 건조하는 단계를 추가적으로 포함할 수 있다.

[0090] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유에 코팅층을 형성하는 단계는, 완충 용액에 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 투입하는 단계를 포함하는 것일 수 있다.

[0091] 완충 용액이란, 외부로부터 어느 정도의 산이나 염기를 가했을 때, 영향을 크게 받지 않고 수소이온 농도를 일정하게 유지하는 용액을 말한다.

[0093] 이때, 일 예로서 상기 완충 용액은 트리스 완충 용액(Tris-buffer)을 사용할 수 있다.

[0095] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 완충 용액은 pH 농도가 7.5 내지 9.5 인 것일 수 있다.

[0096] 일 예로서, 상기 완충 용액의 pH 농도가 7.5 내지 9.5 정도의 약염기 환경을 조성할 경우, 도파민 성분이 상호 중합하여 폴리 도파민이 효과적으로 생성되는 효과가 생길 수 있다. 만약, 완충액의 산도가 pH 7.5 미만일 경우에는 용액이 산성을 띄어서 용액 내 수소이온이 많아짐에 따라 도파민간의 중합이 효과적으로 일어나지 않는다는 문제가 있고, pH 9.5를 초과할 경우에는 도파민 간의 중합속도와 중합도가 너무 높아져서 산화 그래핀 섬유를 코팅하지 않고 자체 중합만이 일어나는 문제가 생길 수 있다.

[0098] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유 상에 코팅층을 형성하는 단계는, 완충 용액에 상기 도파민, 노르에피네프린 및 에피네프린으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상을 포함하는 염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 투입하는 단계 후에, 상기 완충 용액의 용매와 동일한 용매를 이용하여 세정하는 단계를 더 포함하는 것일 수 있다.

[0099] 일 예로서, 상기 완충 용액을 물과 에탄올이 3 : 1의 부피비로 혼합된 혼합 용매를 이용하여 형성할 경우, 상기 세정하는 단계에서도 동일하게 물과 에탄올이 3 : 1의 부피비로 혼합된 혼합 용매를 이용하여 세정할 수 있다.

[0101] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 산화 그래핀 섬유는 환원된 산화 그래핀 또는 탄소 나노 튜브를 포함하는 것일 수 있다.

[0102] 본 발명의 또 다른 일 측면에 따르는 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는, 본 발명의 일 실시예에 따르는 제조방법에 의해 제조된 것이고, 상기 코팅층의 일부는 상기 산화 그래핀 섬유 내부로 침투 형성되는 것이고, 상기 산화 그래핀 섬유 외부로 형성된 상기 코팅층의 두께는 5 nm 내지 50 nm인 것일 수 있다.

[0103] 상기 코팅층의 일부가 상기 산화 그래핀 섬유 내부로 침투 형성됨으로써 코팅층과 상기 산화 그래핀 간의 밀착력이 향상될 수 있다.

[0105] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 240 MPa 이상의 인장 강도(Tensile stress) 2.5% 이상의 변형(Strain) 특성을 동시에 가지는 것일 수 있다.

[0106] 즉, 상술한 제조방법을 이용하여 형성된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 경우, 인장 강도의 특성 및 변형 특성이 모두 향상되어 기계적인 성질이 향상된 산화 그래핀 섬유의 특징을 나타낸다.

[0108] **실시예**

[0109] 본 발명의 실시예로서, 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유(graphene oxide fiber)를 제조하기 위

하여, 다음의 과정을 수행하였다.

[0111] **단계 1. 산화 그래핀 액정 분산액의 형성**

[0112] 산화 흑연 분산액 10 mg/ml 를 준비하고 욕조에서 30분 간 초음파 처리(sonification)를 수행하였다. 그 후 3일간 투석한 후에, 1시간 동안 원심분리하고, 박리되지 않은 산화 그래핀과 물을 제거하는 과정을 3번 반복하여 수행하여 원심분리 된 산화 그래핀 용액을 형성하였다. 이 후, 10 mg/ml로 농도를 희석함으로써 최종적으로 산화 그래핀 분산액을 확보하였다.

[0114] **단계 2. 도파민 염산염이 분산된 산화 그래핀 섬유의 형성**

[0115] 3 : 1 부피비의 물과 에탄올의 혼합 용매에 5 중량%의 도파민 염산염이 용해된 혼합 용액이 담긴 욕조에 위에서 제조한 산화 그래핀 분산액을 0.15 ml/hr의 주입 속도로 주입하였다. 이 후, 3 : 1 부피비의 물과 에탄올의 혼합 용매를 이용하여 30초 동안 세정하였다. 이로써 표면과 내부에 도파민 염산염 입자가 분산 형성된 겔 상태의 산화 그래핀 섬유를 확보하였다.

[0116] 이 후, 3 : 1 부피비의 물과 에탄올의 혼합 용매를 이용하여 겔 상태의 산화 그래핀 섬유 표면의 과도한 도파민 염산염을 제거하기 위해 30초 동안 세정하였다. 그 다음으로 공기에서 3시간 동안 건조하고, 진공 상태에서 하루 동안 건조하여 최종적으로 도파민 염산염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 확보하였다.

[0117]

[0118] **단계 3. 산화 그래핀 섬유에 분산된 도파민 염산염으로부터 폴리 도파민 코팅층의 형성**

[0119] 위에서 제조한 표면 및 내부에 도파민 염산염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유를 pH 농도 8.5의 트리스-염산(Tris-HCl) 완충 용액에 침지시켰다. 재응고(re-coagulation)를 위해, 5 중량%의 염화칼슘 1 ml를 추가하고, 3 : 1 부피비의 물과 에탄올의 혼합 용매를 이용하여 30초 동안 다시 세정하였다. 이로써 표면 및 내부에 폴리 도파민 코팅층이 형성된 산화 그래핀 섬유를 확보하였다.

[0121] **비교예 1.**

[0122] 상기 단계 1. 이후에 3 : 1 부피비의 물과 에탄올의 혼합 용매에 5 중량%의 염화칼슘이 용해된 혼합 용액이 담긴 욕조에 위에서 제조한 산화 그래핀 분산액을 0.15 ml/hr의 주입 속도로 주입하였다. 이 후, 3 : 1 부피비의 물과 에탄올의 혼합 용매를 이용하여 30초 동안 세정하였다. 그 다음으로 공기에서 3시간 동안 건조하고, 진공 상태에서 하루 동안 건조하여 최종적으로 염화칼슘 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유(비교예 1)를 확보하였다.

[0124] **비교예 2.**

[0125] 상기 단계 1. 이후에 3 : 1 부피비의 물과 에탄올의 혼합 용매에 5 중량%의 도파민 염산염이 용해된 혼합 용액이 담긴 욕조에 위에서 제조한 산화 그래핀 분산액을 0.15 ml/hr의 주입 속도로 주입하였다. 이 후, 3 : 1 부피비의 물과 에탄올의 혼합 용매를 이용하여 30초 동안 세정하였다. 그 다음으로 공기에서 3시간 동안 건조하고, 진공 상태에서 하루 동안 건조하여 최종적으로 도파민 염산염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유(비교예 2)를 확보하였다.

[0128] 상기 실시예와 비교예들(비교예 1 및 비교예 2) 각각에 대해 분석을 실시하여 의도한 반응들이 효과적으로 발생하였는지를 검증하였다.

[0130] 도 4는, 본 발명의 실시예로서 제조된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유와 다양한 비교예들에

대한 FT-IR 스펙트럼 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0131] 도 4에 나타난 FT-IR 스펙트럼 분석에서는, 추가적인 비교예로서, 도파민(DA), 그래핀 옥사이드(GO), 도파민이 중합된 산화 그래핀(dGO)에 대해서도 함께 분석하여 그 결과를 비교하였다.

[0132] 도 4의 FT-IR 결과를 통해 상기 실시예 및 비교예들의 제조 과정에서 의도했던 반응들이 효과적으로 수행되어, 의도했던 원자간의 결합이 상기 실시예 및 비교예들에 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

[0134] 도 5는, 본 발명의 실시예로서 제조된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 XPS 스펙트럼 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0135] 도 5(a)는 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 탄소, 산소 및 질소의 존재를 확인할 수 있었고, 도 5(b) 내지 도 5(d)에서는 탄소, 산소 및 질소 각각의 1s 오비탈에 대한 분석을 통해 결합되어 생성된 작용기들의 피크를 확인할 수 있었다.

[0136] 도 6은, 본 발명의 비교예로서 제조된 염화칼슘 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유의 XPS 스펙트럼 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0137] 도 6(a)는 염화칼슘 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유의 탄소, 산소, 칼슘 및 염소의 존재를 확인할 수 있었고, 도 6(b) 및 도 6(c)에서는 탄소 및 산소 1s 오비탈에 대한 분석을 통해 결합되어 생성된 작용기들의 피크를 확인할 수 있었다.

[0138] 도 7은, 본 발명의 비교예로서 제조된 도파민 염산염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유의 XPS 스펙트럼 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0139] 도 7(a)는 도파민 염산염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유의 탄소, 산소 및 질소의 존재를 확인할 수 있었고, 도 7(b) 및 도 7(d)에서는 탄소, 산소 및 질소 각각의 1s 오비탈에 대한 분석을 통해 결합되어 생성된 작용기들의 피크를 확인할 수 있다. 도 5 내지 도 7에 도시된 XPS 스펙트럼 분석 결과를 통해서도 각각의 의도했던 원자들 간의 결합이 해당 실시예 및 비교예들에 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

[0140] 즉, 도 4 내지 도 7에 나타난 결과를 통해, 본 발명의 실시예 및 비교예들에서 의도했던 반응들이 효과적으로 수행됨으로써, 의도했던 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유(실시예), 염화칼슘 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유(비교예 1), 도파민 염산염 입자가 분산 형성된 산화 그래핀 섬유(비교예 2)가 확보된 것을 확인하였다.

[0142] 도 8은, 도파민-산화 그래핀 섬유 단면의 광학 현미경 이미지 및 FT-IR mapping 이미지 사진이다.

[0143] 도 8에 나타난 사진들의 분석을 통해 코팅층의 성분이 산화 그래핀 섬유 내부까지 침투해 형성되는 것을 확인하였다.

[0145] 상기 실시예와 비교예 1 및 비교예 2를 이용하여 기계적인 물성을 테스트하였다. 이 때, 스트레인-스트레스 측정은, TA instrument 사의 동적기계분석기(DMA, Dynamic mechanical analyzer)를 이용하였으며, 분석 조건은 50 μm/min의 변형을 가하면서, 응력의 변화를 측정하였다.

[0146] 도 9는, 본 발명의 실시예로서 제조된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유와 다양한 비교예들에 대하여 각각의 기계적 특성을 확인할 수 있는 스트레스-스트레인 그래프이다.

[0147] 도 10은, 본 발명의 실시예로서 제조된 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유와 다양한 비교예들에 대하여 각각의 기계적 특성을 확인할 수 있는 스트레스 및 스트레인 값을 나타내는 그래프이다.

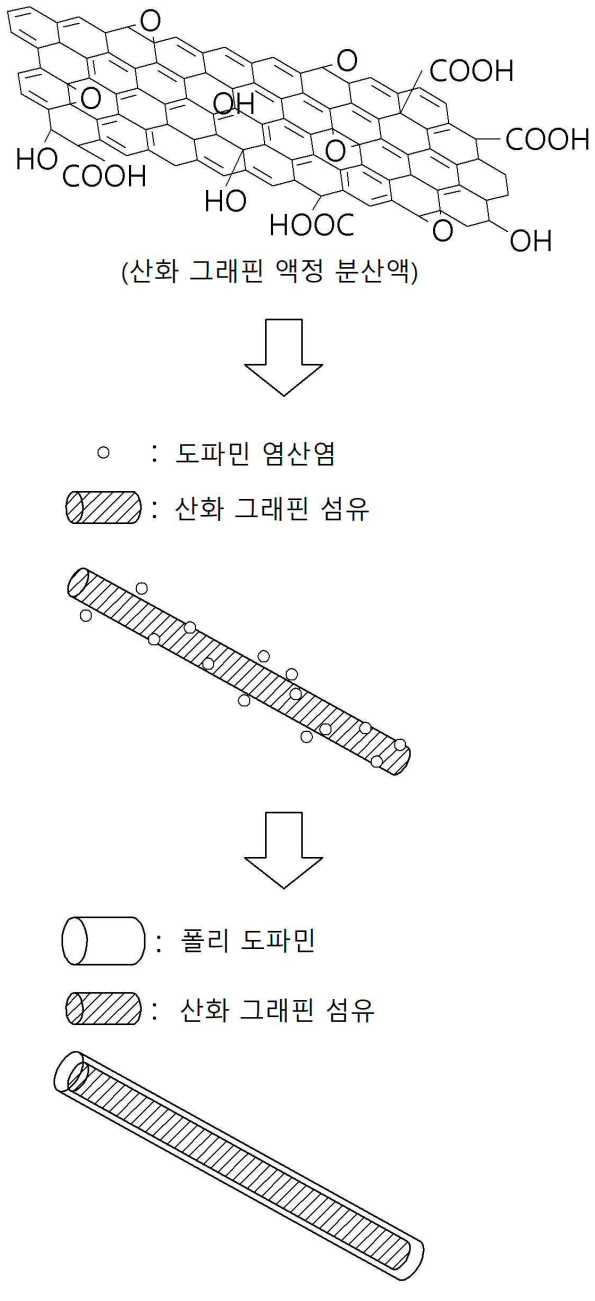
[0148] 도 9 및 도 10에 나타난 결과를 통해, 본 발명의 실시예로서 제조한 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유의 경우, 240 MPa 이상의 스트레스와 2.5% 이상의 스트레인 특성을 동시에 가지는 것을 확인하였다. 또한, 본 발명의 실시예로 제조한 폴리 도파민 코팅층을 포함하는 산화 그래핀 섬유는, 폴리 도파민 코팅층으로 인해 비교예들에 비해 더욱 우수한 기계적 성질을 가지는 것을 확인하였다.

[0150] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

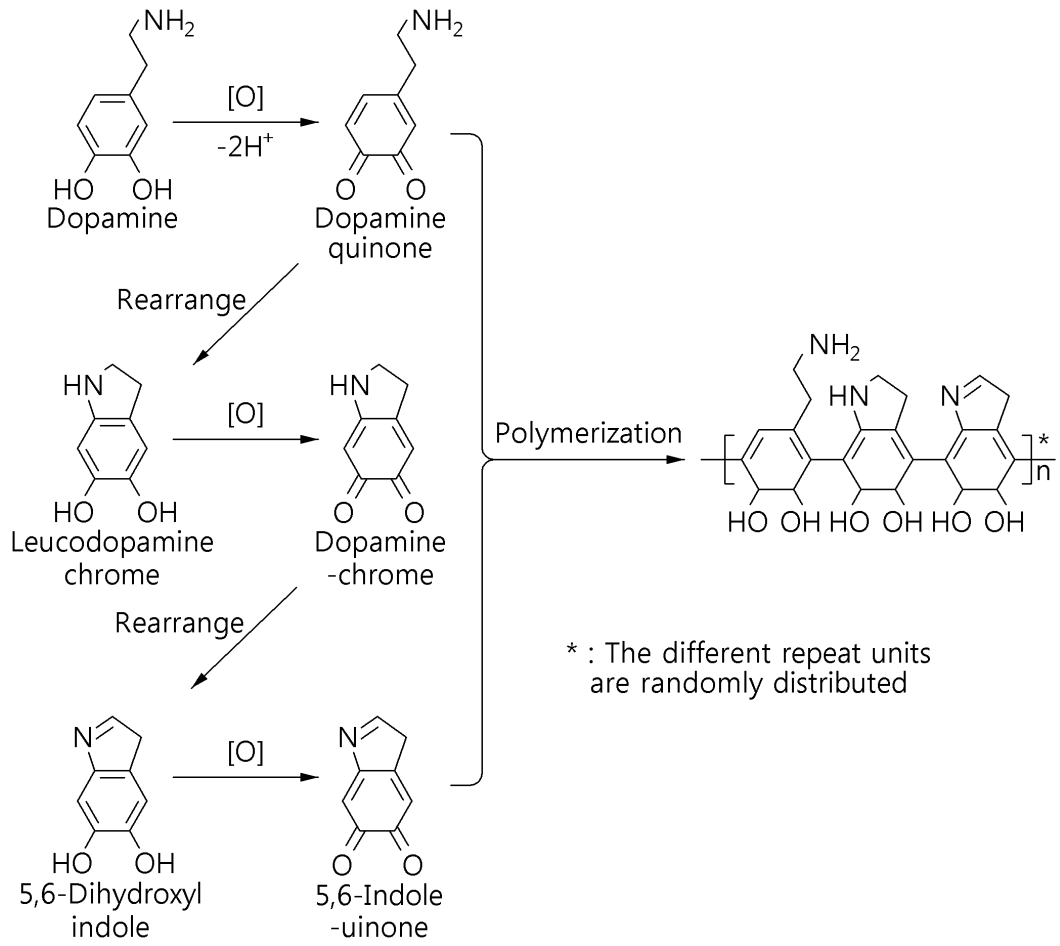
[0151] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

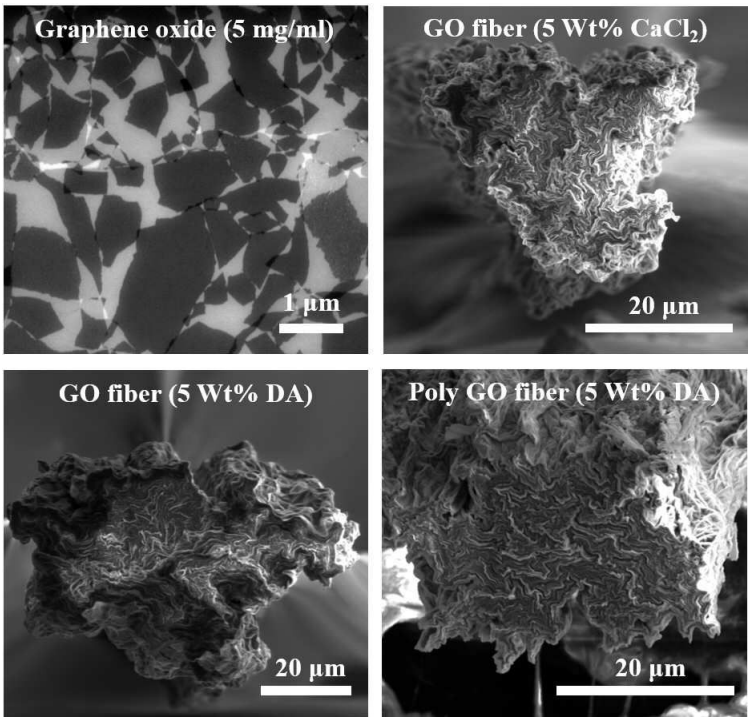
도면1



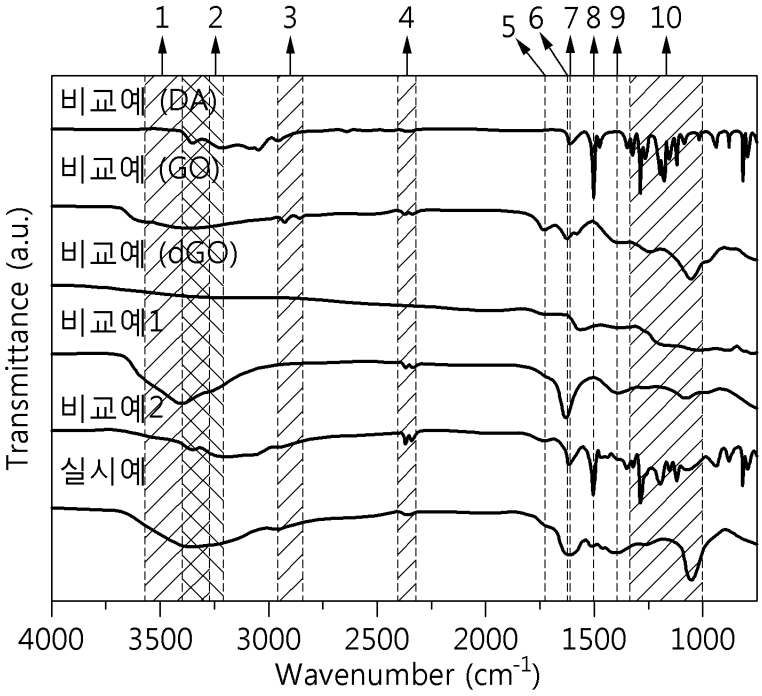
도면2


NH2
[O]
-2H+
HO OH
Dopamine
O O
Dopamine
quinone
Rearrange
HN
HO OH
Leucodopamine
chrome
Dopamine
-chrome
Rearrange
N
5,6-Dihydroxyl
indole
5,6-Indole
-uinone
Polymerization
* : The different repeat units
are randomly distributed

도면3

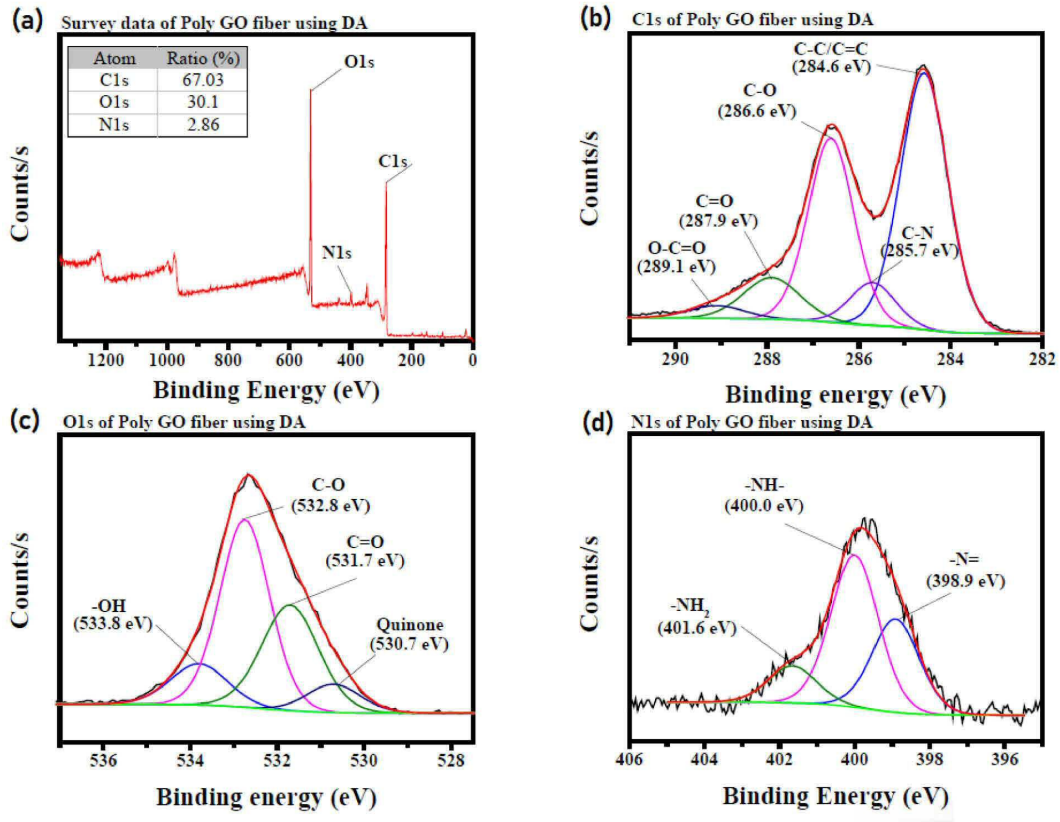

Graphene oxide (5 mg/ml)
1 μm
GO fiber (5 Wt% CaCl2)
20 μm
GO fiber (5 Wt% DA)
20 μm
Poly GO fiber (5 Wt% DA)
20 μm

도면4

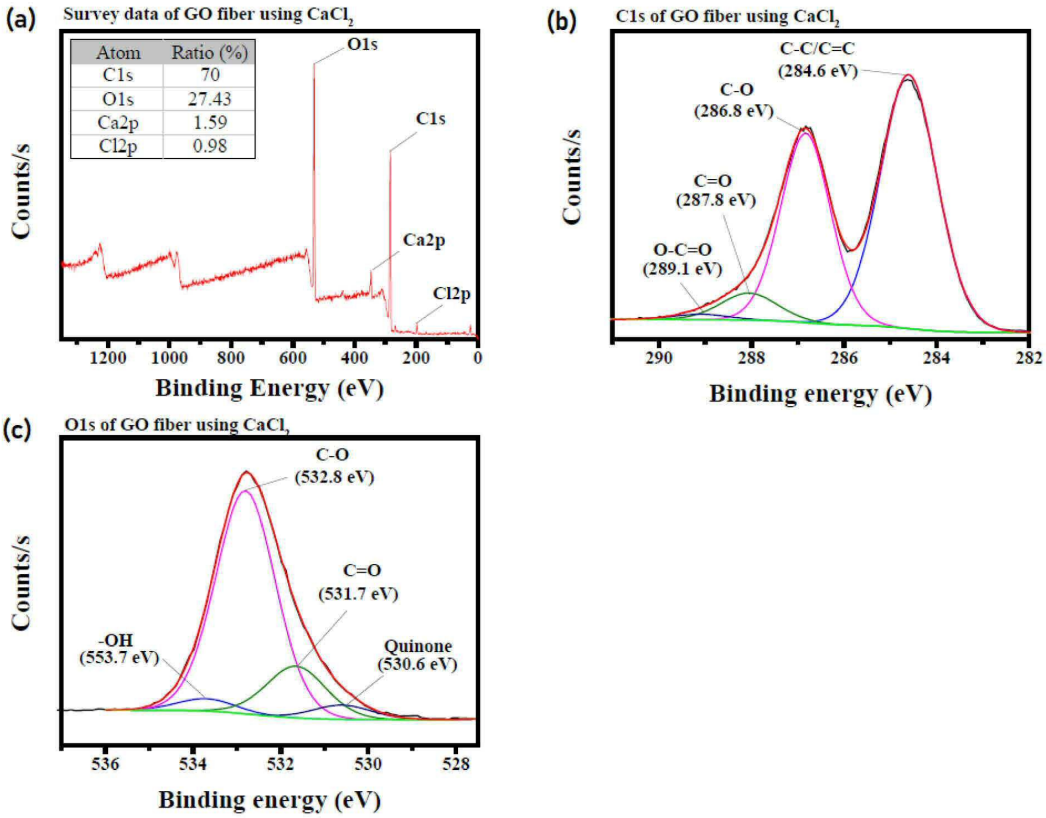


No.	Assignment	Wavenumber (cm^{-1})
1	O-H stretching	3200-3550
2	N-H stretching (1°-amide)	3170-3500 (2 bands)
3	C-H stretching	2850-3000 (2 bands)
4	CO_2	
5	C=O stretching	1731.8
6	C=C stretching	1621.9
7	N-H bending	1608.4
8	-OH stretching of diols	1500.4
9	C-O-H bending	1396
10	C-O stretching	1000-1320

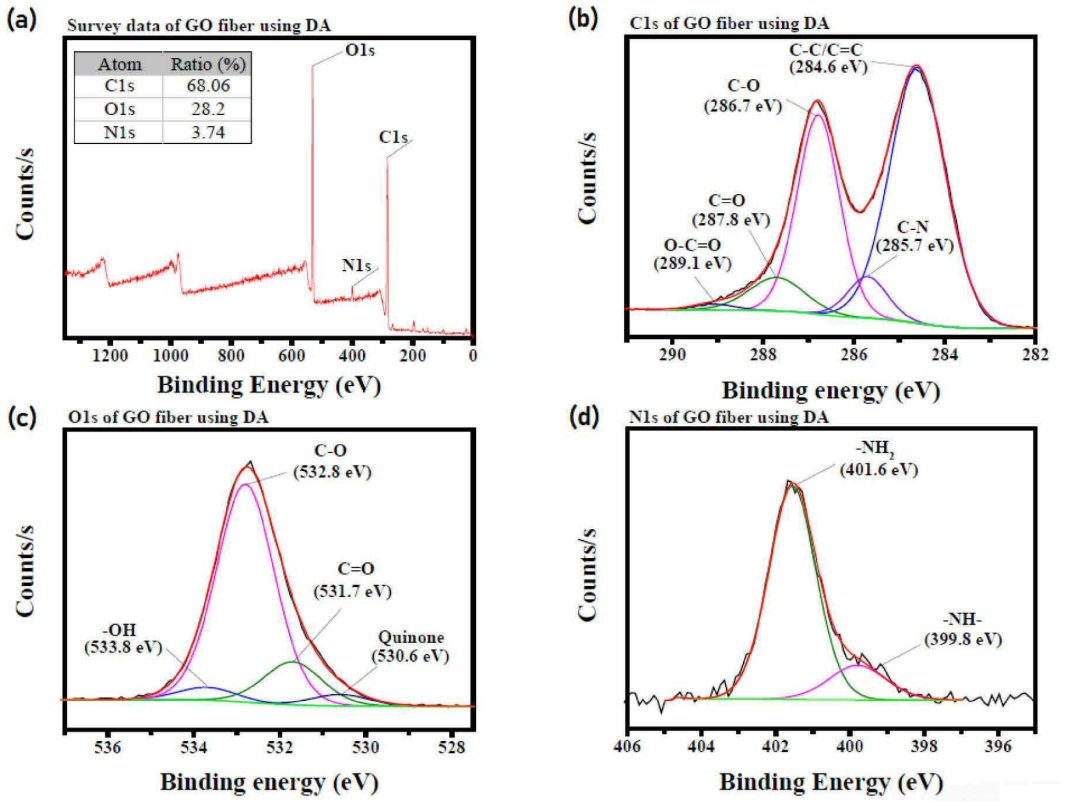
도면5


(a)
Survey data of Poly GO fiber using DA
Atom | Ratio (%)
C1s | 67.03
O1s | 30.1
N1s | 2.86
O1s
C1s
N1s
Counts/s
Binding Energy (eV)
(b)
C1s of Poly GO fiber using DA
C-C/C=C (284.6 eV)
C-O (286.6 eV)
C=O (287.9 eV)
O-C=O (289.1 eV)
C-N (285.7 eV)
Counts/s
Binding energy (eV)
(c)
O1s of Poly GO fiber using DA
C-O (532.8 eV)
C=O (531.7 eV)
-OH (533.8 eV)
Quinone (530.7 eV)
Counts/s
Binding energy (eV)
(d)
N1s of Poly GO fiber using DA
-NH- (400.0 eV)
-N= (398.9 eV)
-NH2 (401.6 eV)
Counts/s
Binding Energy (eV)

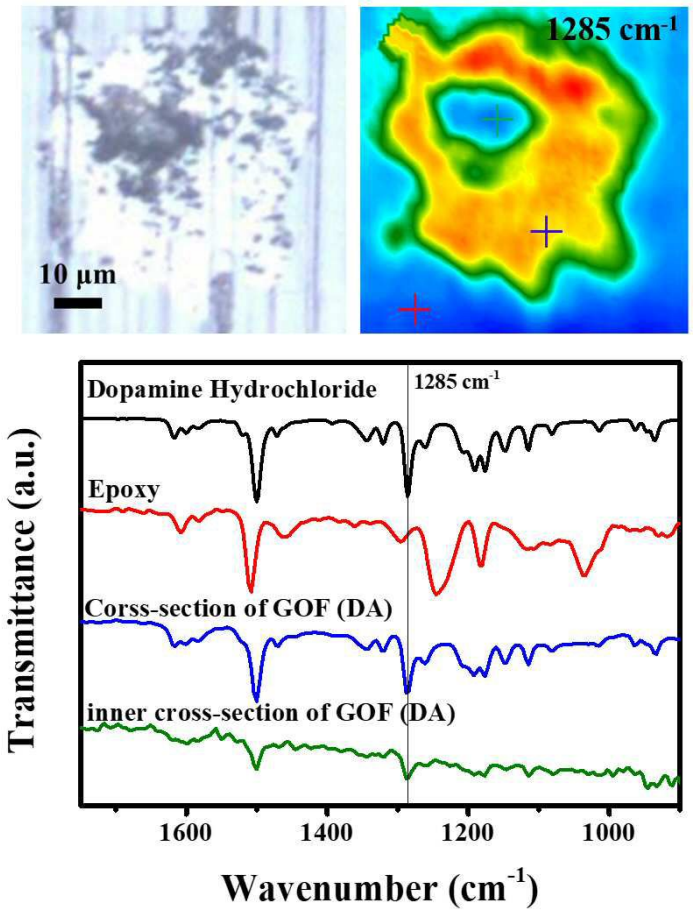
도면6


(a)
Survey data of GO fiber using CaCl2
Atom | Ratio (%)
C1s | 70
O1s | 27.43
Ca2p | 1.59
Cl2p | 0.98
O1s
C1s
Ca2p
Cl2p
Counts/s
Binding Energy (eV)
(b)
C1s of GO fiber using CaCl2
C-C/C=C (284.6 eV)
C-O (286.8 eV)
C=O (287.8 eV)
O-C=O (289.1 eV)
Counts/s
Binding energy (eV)
(c)
O1s of GO fiber using CaCl2
C-O (532.8 eV)
C=O (531.7 eV)
-OH (553.7 eV)
Quinone (530.6 eV)
Counts/s
Binding energy (eV)

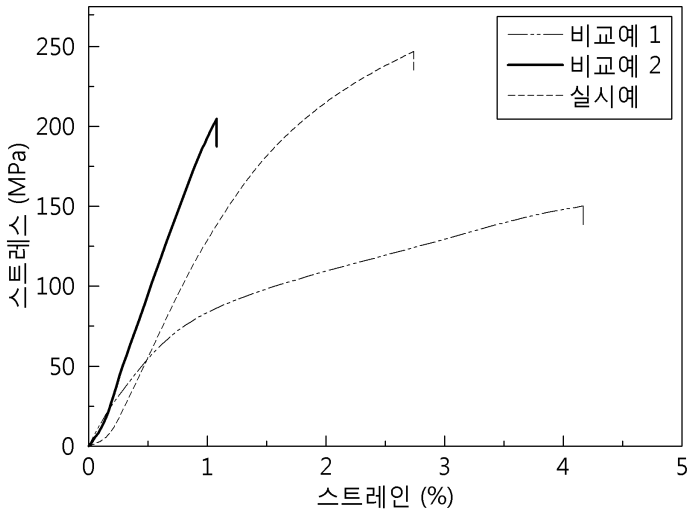
도면7


(a)
Survey data of GO fiber using DA
Atom | Ratio (%)
C1s | 68.06
O1s | 28.2
N1s | 3.74
O1s
C1s
N1s
Counts/s
1200 1000 800 600 400 200 0
Binding Energy (eV)
(b)
C1s of GO fiber using DA
C-C/C=C (284.6 eV)
C-O (286.7 eV)
C=O (287.8 eV)
O-C=O (289.1 eV)
C-N (285.7 eV)
Counts/s
290 288 286 284 282
Binding energy (eV)
(c)
O1s of GO fiber using DA
C-O (532.8 eV)
C=O (531.7 eV)
-OH (533.8 eV)
Quinone (530.6 eV)
Counts/s
536 534 532 530 528
Binding energy (eV)
(d)
N1s of GO fiber using DA
-NH2 (401.6 eV)
-NH- (399.8 eV)
Counts/s
406 404 402 400 398 396
Binding Energy (eV)

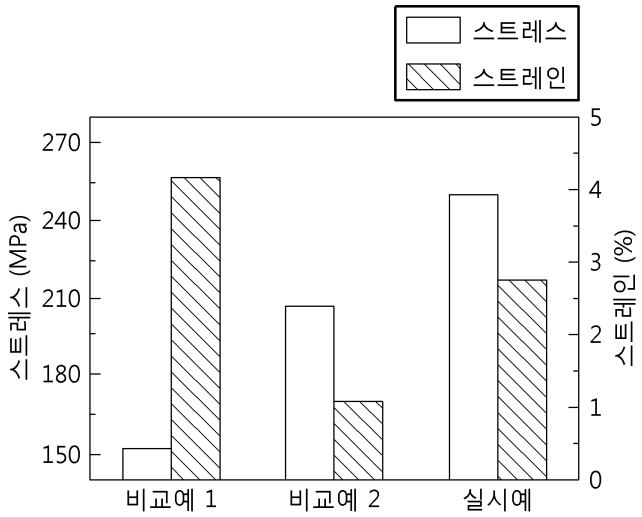
도면8


1285 cm-1
10 μm
Dopamine Hydrochloride
1285 cm-1
Epoxy
Corss-section of GOF (DA)
inner cross-section of GOF (DA)
Transmittance (a.u.)
1600
1400
1200
1000
Wavenumber (cm-1)

도면9


비교예 1
비교예 2
실시예
스트레스 (MPa)
스트레인 (%)
0
50
100
150
200
250
0
1
2
3
4
5

도면10


스트레스
스트레인
270
240
210
180
150
스트레스 (MPa)
5
4
3
2
1
0
스트레인 (%)
비교예 1
비교예 2
실시예