



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0077458
(43) 공개일자 2023년06월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
D01F 9/12 (2006.01) C01B 32/159 (2017.01)
D01D 10/02 (2006.01) D01D 5/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
D01F 9/12 (2021.01)
C01B 32/159 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2021-0164747
(22) 출원일자 2021년11월25일
심사청구일자 2021년11월25일

(71) 출원인
한국과학기술연구원
서울특별시 성북구 화랑로14길 5 (하월곡동)
(72) 발명자
구본철
전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92
김서균
전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
유미특허법인

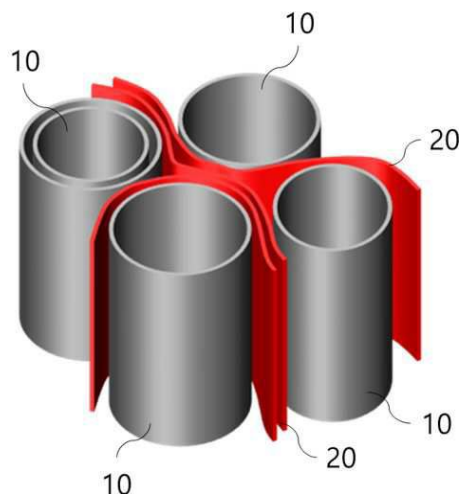
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 2차원 탄소나노물질과 탄소나노튜브를 포함하는 섬유 복합체 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 산화 그래핀과 탄소나노튜브를 포함하는 섬유 복합체 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 상기 섬유 복합체는 비강도, 비탄성률, 전기화학적 활성이 크게 향상된 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

D01D 10/02 (2013.01)

D01D 5/06 (2013.01)

D10B 2401/061 (2013.01)

D10B 2401/063 (2013.01)

(72) 발명자

김중환

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

이동주

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

김남동

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

황준연

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

김대윤

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

김정원

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

명세서

청구범위

청구항 1

섬유의 형상을 갖고,
상기 섬유의 축방향으로 배향된 복수 개의 탄소나노튜브; 및
인접한 탄소나노튜브 사이에 충전된 판상형 탄소재;를 포함하는 섬유 복합체.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 탄소나노튜브의 직경은 1nm 내지 5nm인 섬유 복합체.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 탄소나노튜브의 종횡비는 1,000 내지 20,000인 섬유 복합체.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 탄소나노튜브는 단일벽(Single wall) 탄소나노튜브, 이중벽(Double wall) 탄소나노튜브, 다중벽(Multiwall) 탄소나노튜브 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 섬유 복합체.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 탄소나노튜브의 I_G/I_D 는 1 내지 200인 섬유 복합체.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 판상형 탄소재는 그래핀, 산화 그래핀, 환원된 산화 그래핀, 그래핀 나노리본 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 섬유 복합체.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 판상형 탄소재의 탄소/산소 비율(C/O)은 1 내지 20인 섬유 복합체.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 판상형 탄소재 0중량% 초과 및 90중량% 이하; 및
상기 탄소나노튜브 10중량% 이상 및 100중량% 미만;을 포함하는 섬유 복합체.

청구항 9

제1항에 있어서,

평균 직경이 $5\mu\text{m}$ 내지 $100\mu\text{m}$ 인 섬유 복합체.

청구항 10

제1항에 있어서,

밀도가 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 내지 $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ 인 섬유 복합체.

청구항 11

제1항에 있어서,

비강도가 $1\text{cN}/\text{tex}$ 이상, 비탄성률이 $100\text{cN}/\text{tex}$ 이상, 선밀도가 0.05 tex 이상인 섬유 복합체.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 섬유 복합체 제조용 조성물로서,

탄소나노튜브;

관상형 탄소재가 적층되어 조립된 형태를 갖는 탄소 입자; 및

용매;를 포함하는 섬유 복합체 제조용 조성물.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 탄소 입자의 입자 크기는 100nm 내지 $100\mu\text{m}$ 인 섬유 복합체 제조용 조성물.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 용매는 클로로술포산(Chlorosulfonic acid, CSA), 황산, 발연황산(Oleum), 플루오로술포산(Fluorosulfonic acid), 삼불화아세트산, 삼불화메탄술포산, 불화안티몬산, 카르보란산(Carborane acid) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 섬유 복합체 제조용 조성물.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 탄소나노튜브와 관상형 탄소재는 라이오토크 네마틱상(Lyotropic nematic phase)을 나타내는 섬유 복합체 제조용 조성물.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 탄소나노튜브 및 탄소 입자의 농도는 $5\text{mg}/\text{mL}$ 내지 $100\text{mg}/\text{mL}$ 인 섬유 복합체 제조용 조성물.

청구항 17

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 섬유 복합체의 제조방법으로서,

탄소나노튜브, 관상형 탄소재가 적층되어 조립된 형태를 갖는 탄소 입자 및 용매를 포함하는 방사도프를 제조하는 단계;

상기 방사도프를 방사하는 단계; 및

방사된 결과물을 응고하는 단계;를 포함하는 섬유 복합체의 제조방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 탄소나노튜브는 산소 분위기에서 400℃ 내지 600℃로 10분 내지 6시간 동안 열처리하여 산화시킨 것인 섬유 복합체의 제조방법.

청구항 19

제17항에 있어서,

방사된 결과물을 1.5 내지 10의 연신비로 연신한 뒤 응고하는 것인 섬유 복합체의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 산화 그래핀과 탄소나노튜브를 포함하는 섬유 복합체 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 상기 섬유 복합체는 비강도, 비탄성률, 전기화학적 활성이 크게 향상된 것을 특징으로 한다.

배경 기술

[0002] 탄소나노튜브 또는 산화 그래핀은 기계적 특성, 열적, 전기적 특성이 우수하다. 개별적인 탄소나노튜브 또는 산화 그래핀이 아닌 연속상으로 존재하는 섬유상의 집합체, 즉 탄소나노튜브 또는 산화 그래핀 섬유는 섬유 형태 그대로 혹은 직물 형태로 제작하여 다양한 방식으로 활용할 수 있다. 탄소나노튜브 섬유는 구리와 같은 금속과 비교하였을 때도 밀도가 최대 1/5 수준으로 낮고, 전기 전도성이 기존 탄소 섬유와 비교하여 최대 10배 수준으로 높아 초경량 복합재료 분야와 같이 가볍고, 전도성이 우수하며, 강도가 높은 물질을 제작하는데 매우 효과적이다.

[0003] 다만, 탄소나노튜브 또는 산화 그래핀은 섬유화가 되었을 때, 섬유 내 패킹, 결함, 배향 문제 등에 인해 이를 실제로 적용하는 것은 제한적이다. 또한, 전기화학적 응용 측면에서도 기능화되지 않은 탄소나노튜브 섬유의 표면은 반응성이 매우 부족하기 때문에 기능화 및 이중 원소와의 복합화에 매우 불리하다.

[0004] 현재까지 알려진 탄소나노튜브 또는 산화 그래핀 섬유는 기계적 물성 및 표면의 전기화학적 활성이 만족할 만한 수준에 도달하지 못하여 이에 대해 개선이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 탄소나노튜브 및 산화 그래핀을 포함하고, 비강도, 비탄성률, 전기화학적 활성이 우수한 섬유 복합체 및 이의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0006] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않는다. 본 발명의 목적은 이하의 설명으로 더욱 분명해질 것이며, 특허청구범위에 기재된 수단 및 그 조합으로 실현될 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 섬유 복합체는 섬유의 형상을 갖고, 상기 섬유의 축방향으로 배향된 복수 개의 탄소나노튜브; 및 인접한 탄소나노튜브 사이에 충전된 판상형 탄소재;를 포함할 수 있다.

[0008] 상기 탄소나노튜브의 직경은 1nm 내지 5nm일 수 있다.

[0009] 상기 탄소나노튜브의 종횡비는 1,000 내지 20,000일 수 있다.

[0010] 상기 탄소나노튜브는 단일벽(Single wall) 탄소나노튜브, 이중벽(Double wall) 탄소나노튜브, 다중벽(Multiwall) 탄소나노튜브 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 탄소나노튜브의 I_G/I_D 는 1 내지 200일 수 있다.

[0012] 상기 판상형 탄소재는 그래핀, 산화 그래핀, 환원된 산화 그래핀, 그래핀 나노리본 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

- [0013] 상기 판상형 탄소재의 탄소/산소 비율(C/O)은 1 내지 20일 수 있다.
- [0014] 상기 섬유 복합체는 상기 판상형 탄소재 0중량% 초과 및 90중량% 이하; 및 상기 탄소나노튜브 10중량% 이상 및 100중량% 미만;을 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 섬유 복합체는 평균 직경이 $5\mu\text{m}$ 내지 $100\mu\text{m}$ 일 수 있다.
- [0016] 상기 섬유 복합체는 밀도가 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 내지 $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ 일 수 있다.
- [0017] 상기 섬유 복합체는 비강도가 $1\text{cN}/\text{tex}$ 이상, 비탄성률이 $100\text{cN}/\text{tex}$ 이상, 선밀도가 0.05 tex 이상일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 섬유 복합체 제조용 조성물은 탄소나노튜브; 판상형 탄소재가 적층되어 조립된 형태를 갖는 탄소 입자; 및 용매;를 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 탄소 입자의 입자 크기는 100nm 내지 $100\mu\text{m}$ 일 수 있다.
- [0020] 상기 용매는 클로로술포산(Chlorosulfonic acid, CSA), 황산, 발연황산(Oleum), 플루오로술포산(Fluorosulfonic acid), 삼불화아세트산, 삼불화메탄술포산, 불화안티몬산, 카르보란산(Carborane acid) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 탄소나노튜브와 판상형 탄소재는 라이오토로픽 네마틱상(Lyotropic nematic phase)을 나타낼 수 있다.
- [0022] 상기 탄소나노튜브 및 탄소 입자의 농도는 $5\text{mg}/\text{mL}$ 내지 $100\text{mg}/\text{mL}$ 일 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 섬유 복합체의 제조방법은 탄소나노튜브, 판상형 탄소재가 적층되어 조립된 형태를 갖는 탄소 입자 및 용매를 포함하는 방사도프를 제조하는 단계; 상기 방사도프를 방사하는 단계; 및 방사된 결과물을 응고하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0024] 상기 탄소나노튜브는 산소 분위기에서 400°C 내지 600°C 로 10분 내지 6시간 동안 열처리하여 산화시킨 것일 수 있다.
- [0025] 상기 제조방법은 방사된 결과물을 1.5 내지 10의 연신비로 연신한 뒤 응고하는 것일 수 있다.

발명의 효과

- [0026] 본 발명에 따르면 비강도, 비탄성률, 전기화학적 활성이 우수한 섬유 복합체를 얻을 수 있다.
- [0027] 본 발명의 효과는 이상에서 언급한 효과로 한정되지 않는다. 본 발명의 효과는 이하의 설명에서 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명에 따른 섬유 복합체의 내부 미세 구조를 개략적으로 도시한 것이다.
- 도 2는 실시예1 내지 실시예9에서 사용한 입자 크기가 $15\mu\text{m}$ 인 산화 그래핀 입자를 동적광산란법으로 측정한 결과이다.
- 도 3은 실시예10 내지 실시예13에서 사용한 입자 크기가 $60\mu\text{m}$ 인 산화 그래핀 입자를 동적광산란법으로 측정한 결과이다.
- 도 4는 실시예14 내지 실시예17에서 사용한 입자 크기가 $4\mu\text{m}$ 인 산화 그래핀 입자를 동적광산란법으로 측정한 결과이다.
- 도 5는 실시예들에 따른 섬유 복합체에 대한 비강도 측정 결과이다.
- 도 6은 실시예들에 따른 섬유 복합체에 대한 비탄성률 측정 결과이다.
- 도 7은 실시예들에 따른 섬유 복합체에 대한 비전기전도도 측정 결과이다.
- 도 8a는 실시예1에 따른 섬유 복합체의 단면을 주사전자현미경(TEM)으로 분석한 결과이다.
- 도 8b는 실시예6에 따른 섬유 복합체의 단면을 주사전자현미경(TEM)으로 분석한 결과이다.
- 도 8c는 실시예8에 따른 섬유 복합체의 단면을 주사전자현미경(TEM)으로 분석한 결과이다.

도 9a는 탄소나노튜브, 실시예14 내지 실시예16에 따른 섬유 복합체의 전기화학적 활성을 측정한 결과이다.

도 9b는 실시예3 내지 실시예5, 실시예7 및 실시예9에 따른 섬유 복합체의 전기화학적 활성을 측정한 결과이다.

도 9c는 실시예10 내지 실시예13에 따른 섬유 복합체의 전기화학적 활성을 측정한 결과이다.

도 10은 실시예18 내지 실시예21의 섬유 복합체에 대한 비강도를 측정한 결과이다.

도 11은 실시예18 내지 실시예21의 섬유 복합체에 대한 비탄성률을 측정한 결과이다.

도 12는 실시예18 내지 실시예21의 섬유 복합체에 대한 비전기전도도를 측정한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하에서 설명되는 본 창의적 사상(present inventive concept)은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고, 상세하게 설명한다. 그러나 이는 본 창의적 사상을 특정 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 창의적 사상의 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 이하에서 사용되는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 창의적 사상을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 이하에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품, 성분, 재료 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 나타내려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품, 성분, 재료 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0031] 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 확대하거나 축소하여 나타냈다. 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 동일한 도면 부호를 붙였다. 명세서 전체에서 층, 막, 영역, 판 등의 부분이 다른 부분 "상에" 또는 "위에" 있다고 할 때, 이는 다른 부분의 바로 위에 있는 경우와 그 중간에 또 다른 부분이 있는 경우도 포함한다. 명세서 전체에서 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의하여 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0032] 비록 제1, 제2 등의 용어가 여러 가지 요소들, 성분들, 영역들, 층들 및/또는 지역들을 설명하기 위해 사용될 수 있지만, 이러한 요소들, 성분들, 영역들, 층들 및/또는 지역들은 이러한 용어에 의해 한정되어서는 안 된다는 것을 이해할 것이다.
- [0033] 또한, 본 발명에서 설명하는 공정은 반드시 순서대로 적용됨을 의미하는 것은 아니다. 예를 들어, 제1단계와 제2단계가 기재되어 있는 경우, 반드시 제1단계가 제2단계보다 먼저 수행되어야 하는 것은 아님을 이해할 수 있다.
- [0035] 도 1은 본 발명에 따른 섬유 복합체의 내부 미세 구조를 개략적으로 도시한 것이다. 이를 참조하면, 상기 섬유 복합체는 그 축방향으로 배향된 복수 개의 탄소나노튜브(10) 및 인접한 탄소나노튜브(10) 사이에 충전된 판상형 탄소재(20)를 포함할 수 있다. 여기서, '축방향으로 배향'된다는 것은 상기 탄소나노튜브(10)의 중심축이 섬유의 형상을 갖는 섬유 복합체의 중심축과 평행 내지 평행에 가깝게 배향된다는 것을 의미한다.
- [0036] 탄소나노튜브와 산화 그래핀 등의 판상형 탄소재를 단순히 혼합하면 양 물질들이 무작위적으로 혼합되기 때문에 각 물질의 물성 또는 특징이 제대로 구현되지 않는다. 이에 본 발명은 도 1과 같이 탄소나노튜브(10)를 섬유 복합체의 축방향으로 일정하게 배향하고, 판상형 탄소재(20)가 상기 탄소나노튜브(10)를 에워싸면서 탄소나노튜브(10) 간에 형성되는 공간을 채우도록 하여 조밀화된(condensed) 세부 구조를 갖는 섬유 복합체를 구현한 것을 특징으로 한다. 본 발명에 따른 섬유 복합체는 탄소나노튜브(10)와 판상형 탄소재(20) 각각의 고유한 물성 또는 특징을 해하지 않으면서 양 구성이 상호 보완적으로 타 구성의 단점을 보완해 주기 때문에 비강도, 비탄성률, 전기화학적 물성 등이 매우 뛰어나다.
- [0037] 이하, 각 구성에 대해 구체적으로 설명한다.
- [0038] 상기 탄소나노튜브(10)의 직경은 1nm 내지 5nm일 수 있다. 상기 탄소나노튜브(10)의 직경이 5nm를 초과하면 특

정 방향으로의 배향 및 후술할 방사도프 내에서 특정한 액정상의 발현이 어려울 수 있다.

- [0039] 상기 탄소나노튜브(10)의 중형비는 1,000 이상, 예를 들어 1,000 내지 20,000, 또는 2,000 내지 10,000일 수 있다. 상기 탄소나노튜브(10)의 중형비가 1,000 미만이면 물성발현 정도가 낮아지는 문제가 있을 수 있다.
- [0040] 상기 탄소나노튜브(10)는 단일벽(Single wall) 탄소나노튜브, 이중벽(Double wall) 탄소나노튜브, 다중벽(Multiwall) 탄소나노튜브 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 탄소나노튜브(10)는 단일벽 탄소나노튜브로만 이루어진 것, 단일벽 탄소나노튜브와 이중벽 탄소나노튜브를 40 : 60 내지 60 : 40의 비율로 혼합한 것, 또는 단일벽 탄소나노튜브와 다중벽 탄소나노튜브를 40 : 60 내지 60 : 40의 비율로 혼합한 것을 포함할 수 있다. 상기 다중벽 탄소나노튜브는 벽 수가 1 내지 5인 것일 수 있다.
- [0041] 상기 탄소나노튜브(10)의 IG/ID는 1 이상, 또는 10 이상, 또는 20 이상일 수 있다. 상기 탄소나노튜브(10)의 IG/ID의 상한은 특별히 제한되지 않으나, 예를 들어 200 이하, 또는 150 이하, 또는 100 이하일 수 있다. 상기 탄소나노튜브(10)의 IG/ID가 1 미만이면 분산이 안되는 문제가 있을 수 있다.
- [0042] 상기 판상형 탄소재(20)는 그래핀, 산화 그래핀, 환원된 산화 그래핀, 그래핀 나노리본 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0043] 상기 판상형 탄소재(20)의 탄소/산소 비율(C/O)은 1 이상, 예를 들어 1 내지 10일 수 있다. 상기 판상형 탄소재(20)의 탄소/산소 비율(C/O)이 1 미만이면, 결점이 너무 많아 물성이 낮아지는 문제가 있을 수 있고, 10를 초과하면 분산이 안 되는 문제가 있을 수 있다.
- [0044] 상기 섬유 복합체는 상기 판상형 탄소재(20)를 0중량% 초과 및 90중량% 이하로 포함하고, 상기 탄소나노튜브(10)를 10중량% 이상 및 100중량% 미만으로 포함할 수 있다. 다만, 각 성분의 함량은 이에 한정되는 것은 아니고 섬유 복합체의 용도, 구현하고자 하는 물성 등에 따라 적절히 변경할 수 있다.
- [0045] 상기 섬유 복합체의 평균 직경은 $5\mu\text{m}$ 내지 $100\mu\text{m}$ 이고, 밀도는 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 이상, 또는 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 내지 $2.2\text{g}/\text{cm}^3$, 또는 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 내지 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 일 수 있다. 상기 섬유 복합체의 평균 직경과 밀도가 위 범위에 속할 때, 상기 섬유 복합체의 비강도, 비탄성률, 전기화학적 활성을 개선할 수 있다.
- [0046] 본 발명에 따른 섬유 복합체의 제조방법은 탄소나노튜브, 판상형 탄소재가 적층되어 조립된 형태를 갖는 탄소 입자 및 용매를 포함하는 방사도프를 제조하는 단계, 상기 방사도프를 방사하는 단계 및 방사된 결과물을 응고하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0047] 상기 탄소나노튜브는 상기 용매 내에서의 분산성을 높이기 위하여 산화 처리된 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 탄소나노튜브는 산소 분위기에서 400°C 내지 600°C 로 10분 내지 6시간 동안 열처리하여 산화시킨 것일 수 있다.
- [0048] 상기 탄소 입자는 상기 판상형 탄소재가 면방향으로 적층되어 조립된(Condensed) 형태를 갖는 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 탄소 입자는 판상형 탄소재인 산화 그래핀이 2 내지 10 층으로 적층 및 조립된 것일 수 있다.
- [0049] 상기 탄소 입자의 입자 크기는 100nm 내지 $100\mu\text{m}$ 일 수 있다. 상기 입자 크기는 레이저 회절 산란식 입도 분포 측정기, 예를 들어 마이크로 트랙 입도 분포 측정 장치를 이용하여 측정할 수 있다. 또한, 전자현미경 사진에서 임의로 일정 개수의 입자를 추출하고 이들의 평균 지름을 측정하여 산출할 수도 있다. 상기 탄소 입자의 입자 크기가 100nm 미만이면 물성상승효과가 어려운 문제가 있을 수 있고, $100\mu\text{m}$ 를 초과하면 분산이 어려운 문제가 있을 수 있다.
- [0050] 상기 탄소나노튜브와 탄소 입자는 그 순도가 90% 이상인 것일 수 있다. 즉, 상기 탄소나노튜브와 탄소 입자는 금속 촉매, 무정형 탄소 등의 불순물의 함량이 10중량% 이하가 되도록 정제된 것일 수 있다. 상기 탄소나노튜브와 탄소 입자의 순도가 90% 미만이면 용매 내에서의 분산성이 저하되어 섬유의 형태로 방사하기 어려울 수 있고, 방사 후에도 잔존하는 불순물에 의해 섬유 복합체의 비강도, 비탄성률이 저하될 수 있다. 또한, 불순물이 많으면 전기전도성이 저하되거나 이중 원소와의 복합화 과정을 방해하여 전기화학적 활성이 크게 감소할 수 있다.
- [0051] 상기 용매는 상기 탄소나노튜브와 탄소 입자를 고르게 분산시킬 수 있는 것이라면 특별히 제한되지 않으나, 예를 들어 초강산 용매일 수 있다. 구체적으로 상기 용매는 클로로술포산(Chlorosulfonic acid, CSA), 황산, 발연 황산(Oleum), 플루오로술포산(Fluorosulfonic acid), 삼불화아세트산, 삼불화메탄술포산, 불화안티몬산, 카르보

란산(Carborane acid) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

- [0052] 상기 방사도프는 상기 탄소나노튜브와 탄소 입자를 용매에 투입하고 50rpm 내지 30,000rpm으로 교반하여 제조할 수 있다.
- [0053] 상기 방사도프 내에서 상기 탄소나노튜브와 탄소 입자를 합한 농도는 5mg/mL 내지 100mg/mL일 수 있다. 상기 농도가 위 범위에 속할 때, 섬유는 섬유로 원활하게 방사될 수 있다.
- [0054] 전술한 각 물질의 특징, 교반 조건, 농도 등을 모두 만족할 때, 상기 방사도프 내에서 상기 탄소나노튜브와 판상형 탄소재(또는 탄소 입자)는 라이오토로픽 네마틱상의 액정상(Lyotropic nematic phase)을 나타낼 수 있다. 이와 같이 라이오토로픽 네마틱상이 발생되기 때문에 섬유 배향성 및 집속성이 좋아지게 되어 복합체의 비강도, 비탄성률 등의 역학적 성질이 개선될 수 있다.
- [0055] 이후, 상기 방사도프를 습식 방사(wet spinning), 액정 방사(liquid crystal spinning) 등의 방법으로 방사하여 섬유 형태의 중간체를 얻을 수 있다.
- [0056] 본 발명은 방사된 상기 중간체를 연신한 뒤 응고하여 섬유 복합체를 제조하는 것을 특징으로 한다. 구체적으로 방사 단계에서 연신을 수행함으로써 탄소나노튜브가 섬유 복합체의 축방향으로 배향 및 집속화되고, 인접한 탄소나노튜브 사이에 형성되는 공간에 상기 탄소 입자로부터 기인한 판상형 탄소재가 충전될 수 있다. 이에 따라 상기 탄소나노튜브와 판상형 탄소재 간 접촉 면적이 넓어져 반데르발스 힘이 증가하고 섬유 복합체의 비강도 및 비탄성률이 크게 향상된다.
- [0057] 상기 중간체를 1.5 내지 10, 또는 1.5 내지 6의 비율로 연신할 수 있다. 연신비의 범위가 위와 같을 때, 비강도 및 비탄성률이 우수한 섬유 복합체를 얻을 수 있다.
- [0058] 상기 중간체에 대한 연신비는 방사구 토출 속도와 권취 롤러의 회전 속도의 비율, 즉 상기 중간체에 가해지는 장력을 통해 조절할 수 있다. 다만, 연신비의 조절은 위 방법 외에도 상기 중간체를 해하지 않는다면 어떠한 방법으로도 수행할 수 있다.
- [0059] 이후, 연신된 결과물을 응고욕 등에 투입하여 응고시켜 섬유 복합체를 얻을 수 있다.
- [0060] 상기 제조방법은 응고된 섬유 복합체를 세정하고 건조하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 세정 단계, 건조 단계는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 널리 사용되는 방법 및 조건으로 수행할 수 있다. 예를 들어, 상기 섬유 복합체를 아세톤, 물 등의 용매로 세정하고 약 200℃ 이하의 온도에서 건조할 수 있다.
- [0061] 위와 같은 방법으로 얻은 본 발명에 따른 섬유 복합체는 비강도가 1cN/tex 이상, 비탄성률이 100cN/tex 이상, 선밀도가 0.05 tex 이상인 것일 수 있다. 이를 하기 실시예를 통해 보다 상세하게 설명한다.
- [0063] 이하의 실시예 및 비교예를 통하여 본 발명의 예시적인 구현예들을 더욱 상세하게 설명한다. 단, 실시예 및 비교예는 기술적 사상을 예시하기 위한 것으로서 이들만으로 본 발명의 범위가 한정되는 것이 아니다.
- [0065] 비교예 1: 산화 그래핀 섬유의 제조 (Science, 372, 614-617 (2021))
- [0066] 산화 그래핀을 디메틸포름아마이드(Dimethylformamide)에 투입하여 방사도프를 제조하였다. 상기 방사도프를 응고 용액인 에틸 아세테이트가 담긴 응고조에 습식방사하였다. 잔류 용매를 제거하기 위해 방사된 산화 그래핀 섬유를 상온에서 약 3시간 건조하였다.
- [0068] 비교예 2: 산화 그래핀 섬유의 제조 (RSC Advances, 9, 4198-4202 (2019))
- [0069] 산화 그래핀은 Asbury 3061 흑연으로부터 modified Hummer's method로 제조하였다. 산화 그래핀을 증류수에 10 mg/mL의 농도로 투입하여 방사도프를 제조하였다. 상기 방사도프를 염화칼슘(CaCl_2)이 5중량% 함유된 에탄올/증류수(1:3 부피%)의 응고조에 습식방사하였다. 방사된 산화 그래핀 섬유를 수세 후 상온에서 건조하였다.
- [0070]
- [0071] 비교예 3: 산화 그래핀 섬유의 제조 (Journal of Material Science, 55, 12065-12081 (2020))

- [0072] 산화 그래핀은 Pelable 흑연으로부터 modified Hummer's method로 제조하였다. 산화 그래핀을 증류수/에탄올 (3:1 부피%) 용액에 15 mg/mL 농도로 분산시켜 방사도프를 제조하고, 유리관을 통해 방사하였다. 방사된 산화 그래핀 섬유를 50℃에서 20분 동안 건조하고, 이어서 상온에서 2시간 동안 건조하였다.
- [0074] 실시예 1
- [0075] 입자 크기가 15 μ m인 산화 그래핀 입자 70중량% 및 탄소나노튜브 30중량%를 클로로술폰산(CSA)에 10mg/mL의 농도로 분산시켜 방사도프를 제조하였다. 도 2는 입자 크기가 15 μ m인 상기 산화 그래핀 입자를 동적광산란법으로 측정한 결과이다. 상기 탄소나노튜브(Meijo DX-2)는 단일벽 탄소나노튜브와 이중벽 탄소나노튜브가 55:45의 비율로 혼합된 것을 사용하였다. 또한, 분산성을 높이기 위하여 상기 탄소나노튜브를 약 400℃에서 약 6시간 동안 열처리하여 산화시킨 뒤 용매에 투입하였다.
- [0076] 상기 방사도프를 하루 이상 분산한 뒤, 실린지(syringe)를 이용하여 방사하였다. 직경이 0.26mm의 니들(needle)을 이용하여 방사를 하고, 약 2.0의 연신비로 연신하였다. 응고 용액은 아세톤을 이용하였고, 권취 후 내부의 클로로술폰산(CSA)을 제거하기 위해 약 170℃의 진공오븐에서 하루 이상 건조시켜 섬유 복합체를 얻었다.
- [0078] 실시예 2
- [0079] 입자 크기가 15 μ m인 산화 그래핀 입자 50중량% 및 탄소나노튜브 50중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0081] 실시예 3
- [0082] 입자 크기가 15 μ m인 산화 그래핀 입자 40중량% 및 탄소나노튜브 60중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0084] 실시예 4
- [0085] 입자 크기가 15 μ m인 산화 그래핀 입자 30중량% 및 탄소나노튜브 70중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0087] 실시예 5
- [0088] 입자 크기가 15 μ m인 산화 그래핀 입자 20중량% 및 탄소나노튜브 80중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0090] 실시예 6
- [0091] 입자 크기가 15 μ m인 산화 그래핀 입자 15중량% 및 탄소나노튜브 85중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0093] 실시예 7
- [0094] 입자 크기가 15 μ m인 산화 그래핀 입자 10중량% 및 탄소나노튜브 90중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0096] 실시예 8
- [0097] 입자 크기가 15 μ m인 산화 그래핀 입자 5중량% 및 탄소나노튜브 95중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제

외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.

[0099] 실시예 9

[0100] 입자 크기가 15 μm 인 산화 그래핀 입자 2중량% 및 탄소나노튜브 98중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.

[0102] 실시예 10

[0103] 입자 크기가 60 μm 인 산화 그래핀 입자 15중량% 및 탄소나노튜브 85중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다. 도 3은 입자 크기가 60 μm 인 상기 산화 그래핀 입자를 동적광산란법으로 측정한 결과이다.

[0105] 실시예 11

[0106] 입자 크기가 60 μm 인 산화 그래핀 입자 10중량% 및 탄소나노튜브 90중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.

[0108] 실시예 12

[0109] 입자 크기가 60 μm 인 산화 그래핀 입자 5중량% 및 탄소나노튜브 95중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.

[0111] 실시예 13

[0112] 입자 크기가 60 μm 인 산화 그래핀 입자 2중량% 및 탄소나노튜브 98중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.

[0114] 실시예 14

[0115] 입자 크기가 4 μm 인 산화 그래핀 입자 50중량% 및 탄소나노튜브 50중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다. 도 4는 입자 크기가 4 μm 인 상기 산화 그래핀 입자를 동적광산란법으로 측정한 결과이다.

[0117] 실시예 15

[0118] 입자 크기가 4 μm 인 산화 그래핀 입자 30중량% 및 탄소나노튜브 70중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.

[0120] 실시예 16

[0121] 입자 크기가 4 μm 인 산화 그래핀 입자 10중량% 및 탄소나노튜브 90중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.

[0123] 실시예 17

[0124] 입자 크기가 4 μm 인 산화 그래핀 입자 2중량% 및 탄소나노튜브 98중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예1과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.

[0126] 평가예 1: 비강도, 선밀도, 비탄성률, 비전기전도도의 측정

[0127] 실시예 1 내지 17에 따른 섬유 복합체의 비강도, 비탄성률 및 전기전도도를 측정하였다. 위 물성은 FAVIMAT+(단 섬유물성측정기)를 이용하여 측정하였다. 이 장비는 인장강도(N)와 선밀도(Linear density, tex)를 측정하고 비강도(Specific strength, N/tex)를 계산하는 장비이다.

[0128] FAVIMAT은 섬유가 가지고 있는 고유 진동수를 이용하여 $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ 의 식으로 선밀도(μ)를 계산할 수 있다. 여기서 f 는 고유진동수[Hz], T 는 장력[N], L 은 섬유의 길이[km]이다. 이와 같은 방법으로 선밀도를 측정한 뒤에 인장시험을 통해 강도를 측정한다. 측정된 강도와 선밀도를 계산하여 비강도를 알 수 있다.

[0129] 비강도(Specific Tensile Strength, N/tex)는 FAVIMAT에서 계산된 선밀도와 인장시험에서 측정된 강도(Force, N)를 이용하여 계산한다.

[0130] 비탄성률(Specific Tensile Modulus, N/tex)은 연신율과 강도의 그래프에서 기울기를 나타낸다. 보통은 초기의 기울기값을 나타내며 연신율에 따라 강도가 일정하게 증가하는 구간을 계산하여 나타낸다. 연신율은 FAVIMAT에서 섬유의 인장시험을 통해 섬유가 파괴될 때까지의 최대 연신을 말한다. 연신율은 %로 나타낸다.

[0131] 비전기전도도(Specific Electrical Conductivity, $S \cdot m^2/kg$)는 저항을 측정하여 계산식에 따라 계산한다. 섬유 복합체에 실버 페이스트를 1cm 간격으로 찍은 뒤 저항을 측정한다. 그리고 FAVIMAT으로 측정된 선밀도를 $cm/(\Omega \cdot tex)$ 에 따라 계산한다. 여기서 L 은 측정된 탄소나노튜브 섬유의 길이이다.

[0132] 사용한 산화 그래핀의 입자 크기에 따라 실시예들을 실시예1 내지 실시예9, 실시예10 내지 실시예13 및 실시예 14 내지 실시예17로 분류하고 이들에 포함된 탄소나노튜브의 함량에 따른 물성의 차이를 분석하였다.

[0133] 도 5는 실시예들의 섬유 복합체에 대한 비강도 측정 결과이다. 도 6은 실시예들의 섬유 복합체에 대한 비탄성률 측정 결과이다. 도 7은 실시예들의 섬유 복합체에 대한 비전기전도도 측정 결과이다.

[0134] 도 5 내지 도 7을 참조하면, 섬유 복합체 내의 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 섬유 복합체의 비강도, 비탄성률, 비전기전도도가 높아짐을 알 수 있다.

[0136] 평가예 3: 주사전자현미경 분석

[0137] 실시예1, 실시예6 및 실시예8의 섬유 복합체의 단면을 주사전자현미경(TEM)으로 분석하였다. 그 결과는 각각 도 8a 내지 도 8c와 같다. 이를 참조하면, 상기 섬유 복합체들은 탄소나노튜브와 산화 그래핀이 무작위적으로 혼합된 것이 아니라 탄소나노튜브 사이에 판상형 탄소재인 산화 그래핀이 적절히 분산 및 충전되어 있음을 알 수 있다. 결과적으로 본 발명에 따른 섬유 복합체는 상기 탄소나노튜브와 산화 그래핀의 접촉 면적이 매우 넓기 때문에 전술한 바와 같이 비강도, 비탄성률, 전기전도도 등이 매우 우수하다.

[0139] 평가예 4: 섬유 복합체의 밀도 측정

[0140] 실시예 1 내지 17에 따라 제조된 탄소나노튜브 섬유의 밀도를 측정하여 표 1에 나타내었다. 서로 다른 밀도를 가지는 두 용매를 혼합하여, 섬유가 용매 내에서 밀도 차이에 의해 위치하는 정도를 측정하는 방식인 밀도구배관을 이용하였다. 밀도구배관은 벤젠과 테트라브로모메탄 용매를 적절한 비율로 혼합하여 한 용매 내에서 밀도가 다른 환경을 조성한 장비이다. 해당 밀도는 이미 밀도를 알고 있는 참고용 구슬을 이용하여 밀도의 차이를 구분하였다. 제조된 용매에 탄소나노튜브 섬유를 넣은 뒤 섬유가 해당 밀도에 정확히 위치할 수 있도록 적어도 12시간 이상 방치한 뒤 섬유의 위치를 관찰하여 밀도를 측정하였다.

표 1

구분	산화 그래핀 입자의 함량 [중량%]	산화 그래핀 입자의 입자 크기 [μm]	탄소나노튜브의 함량 [중량%]	인장강도 (GPa)	밀도 [g/cm^3]
비교예1	100	38	0	-	-
비교예2	100	10~25	0	-	-

비교예3	100	0.2~0.6	0	-	-
실시예1	70	15	30	1.98	1.8
실시예2	50	15	50	3.42	1.9
실시예3	40	15	60	4.15	1.93
실시예4	30	15	70	4.73	1.93
실시예5	20	15	80	5.07	1.95
실시예6	15	15	85	5.27	1.95
실시예7	10	15	90	4.63	1.93
실시예8	5	15	95	4.13	1.92
실시예9	2	15	98	4.03	1.92
실시예10	15	60	85	1.84	1.75
실시예11	10	60	90	3.99	1.9
실시예12	5	60	95	4.54	1.93
실시예13	2	60	98	4.63	1.93
실시예14	50	4	50	3.28	1.93
실시예15	30	4	70	3.80	1.95
실시예16	10	4	90	4.10	1.95
실시예17	2	4	98	5.70	1.9

표 2

구분	그래핀나노리본 입자의 함량 [중량%]	그래핀 나노리본 크기 [μm]	탄소나노튜브의 함량 [중량%]	인장강도 (GPa)	밀도 [g/cm^3]
비교예1	100	38	0	-	-
비교예2	100	10~25	0	-	-
비교예3	100	0.2~0.6	0	-	-
실시예19	40	150	60	4.228	1.810
실시예20	60	150	40	2.862	1.692
실시예21	80	150	20	2.426	1.689

평가예 5: 탄소나노튜브/산화그래핀 섬유 표면의 전기화학적 활성 측정

실시예 1 내지 17에 따라 제조된 탄소나노튜브 섬유 표면의 전기화학적 활성을 측정하였다. 섬유 복합체를 일정 길이로 채취하여 단위 길이당 무게를 측정한 후, KOH 전해질을 사용한 3전극 실험을 통해서 전기화학 실험을 수행하였다. 전해질은 1M KOH 용액을 사용하였으며, -1V에서 0V 사이에서 실험을 진행하며 전해질 이온이 흡착되는 특성을 정량, 정성적으로 분석하였다.

도 9a는 탄소나노튜브, 실시예14 내지 실시예16에 따른 섬유 복합체의 전기화학적 활성을 측정한 결과이다. 도 9b는 실시예3 내지 실시예5, 실시예7 및 실시예9에 따른 섬유 복합체의 전기화학적 활성을 측정한 결과이다. 도 9c는 실시예10 내지 실시예13에 따른 섬유 복합체의 전기화학적 활성을 측정한 결과이다. 이를 참조하면, 본 발명에 따른 섬유 복합체는 탄소나노튜브에 비해 우수한 전기화학적 활성을 가지고 있음을 알 수 있다.

제조예

다중벽 탄소나노튜브(900 mg)를 진한 황산(216 mL)에서 1시간 동안 상온에서 교반하여 분산시켰다. 분산액에 24 mL의 인산을 첨가하였다. 혼합액을 15분간 상온에서 교반하였다. 상온에서 과망간산칼륨(KMnO_4) 6.3 g을 첨가하고, 용액이 균질해질 때까지 교반하였다. 반응 혼합물을 70℃로 4시간 동안 가열하였다. 상온으로 식힌 반응 혼합물을 얼음에 붓고 14시간 동안 방치하여 침전시켰다. 상층액을 제거한 뒤에 남은 고체를 PTFE 필터를 통해 걸렀다. 이를 염산 수용액과 에탄올로 씻어주고 진공에서 건조하여, 그래핀 나노리본 (C/O=2.2 이하)을 얻었다.

실시예 18

- [0151] 상기 제조예의 그래핀 나노리본 20중량% 및 탄소나노튜브 80중량%를 클로로술폰산(CSA)에 15mg/mL의 농도로 분산시켜 방사도프를 제조하였다. 상기 탄소나노튜브(Meijo DX-2)는 단일벽 탄소나노튜브와 이중벽 탄소나노튜브가 55:45의 비율로 혼합된 것을 사용하였다. 또한, 분산성을 높이기 위하여 상기 탄소나노튜브를 약 400℃에서 약 6시간 동안 열처리하여 산화시킨 뒤 용매에 투입하였다.
- [0152] 상기 방사도프를 하루 이상 분산한 뒤, 실린지(syringe)를 이용하여 방사하였다. 직경이 0.26mm의 니들(needle)을 이용하여 방사를 하고, 약 2.0의 연신비로 연신하였다. 응고 용액은 아세톤을 이용하였고, 권취 후 내부의 클로로술폰산(CSA)을 제거하기 위해 약 170℃의 진공오븐에서 하루 이상 건조시켜 섬유 복합체를 얻었다.
- [0154] 실시예 19
- [0155] 상기 제조예의 그래핀 나노리본 40중량% 및 탄소나노튜브 60중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예18과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0157] 실시예 20
- [0158] 상기 제조예의 그래핀 나노리본 60중량% 및 탄소나노튜브 40중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예18과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0160] 실시예 21
- [0161] 상기 제조예의 그래핀 나노리본 80중량% 및 탄소나노튜브 20중량%를 사용하여 방사도프를 제조한 것을 제외하고는 실시예18과 동일하게 섬유 복합체를 제조하였다.
- [0163] 평가예 6: 비강도, 선밀도, 비탄성율, 비전기전도도의 측정
- [0164] 실시예 18 내지 21에 따른 섬유 복합체의 비강도, 비탄성률 및 전기전도도를 측정하였다. 위 물성은 FAVIMAT+(단섬유물성측정기)를 이용하여 측정하였다. 이 장비는 인장강도(N)와 선밀도(Linear density, tex)를 측정하고 비강도(Specific strength, N/tex)를 계산하는 장비이다.
- [0165] FAVIMAT은 섬유가 가지고 있는 고유 진동수를 이용하여 $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ 의 식으로 선밀도(μ)를 계산할 수 있다. 여기서 f 는 고유진동수[Hz], T 는 장력[N], L 은 섬유의 길이[km]이다. 이와 같은 방법으로 선밀도를 측정한 뒤에 인장시험을 통해 강도를 측정한다. 측정된 강도와 선밀도를 계산하여 비강도를 알 수 있다.
- [0166] 비강도(Specific Tensile Strength, N/tex)는 FAVIMAT에서 계산된 선밀도와 인장시험에서 측정된 강도(Force, N)를 이용하여 계산한다.
- [0167] 비탄성률(Specific Tensile Modulus, N/tex)은 연신율과 강도의 그래프에서 기울기를 나타낸다. 보통은 초기의 기울기값을 나타내며 연신율에 따라 강도가 일정하게 증가하는 구간을 계산하여 나타낸다. 연신율은 FAVIMAT에서 섬유의 인장시험을 통해 섬유가 파괴될 때까지의 최대 연신을 말한다. 연신율은 %로 나타낸다.
- [0168] 비전기전도도(Specific Electrical Conductivity, $S \cdot m^2/kg$)는 저항을 측정하여 계산식에 따라 계산한다. 섬유 복합체에 실버 페이스트를 1cm 간격으로 찍은 뒤 저항을 측정한다. 그리고 FAVIMAT으로 측정된 선밀도를 $cm/(\Omega \cdot tex)$ 에 따라 계산한다. 여기서 L 은 측정된 탄소나노튜브 섬유의 길이이다.
- [0169] 사용한 그래핀 나노리본과 탄소나노튜브의 함량에 따른 물성의 차이를 분석하였다.
- [0170] 도 10은 실시예18 내지 실시예21의 섬유 복합체에 대한 비강도를 측정한 결과이다. 도 11은 실시예18 내지 실시예21의 섬유 복합체에 대한 비탄성률을 측정한 결과이다. 도 12는 실시예18 내지 실시예21의 섬유 복합체에 대한 비전기전도도를 측정한 결과이다.
- [0172] 이상으로 본 발명의 실험예 및 실시예에 대해 상세히 설명하였는바, 본 발명의 권리범위는 상술한 실험예 및 실

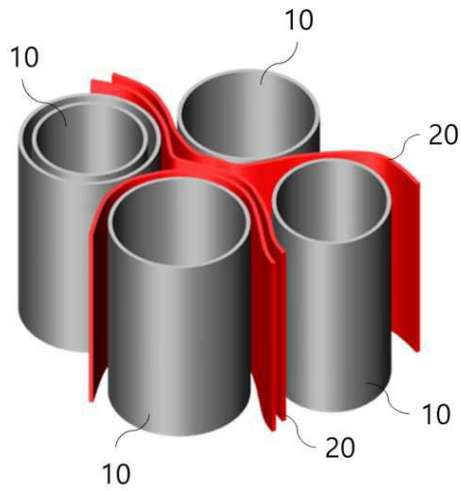
시에에 한정되지 않으며, 다음의 특허청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 포함된다.

부호의 설명

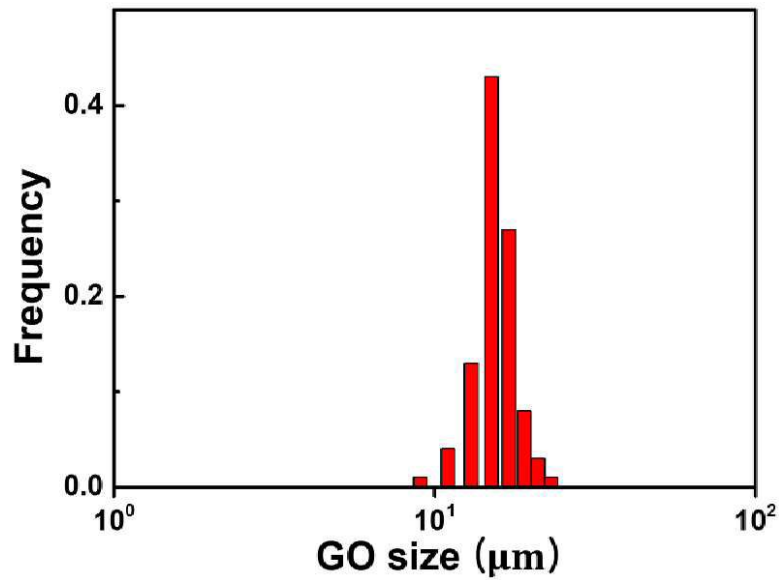
10: 탄소나노튜브 20: 판상형 탄소재

도면

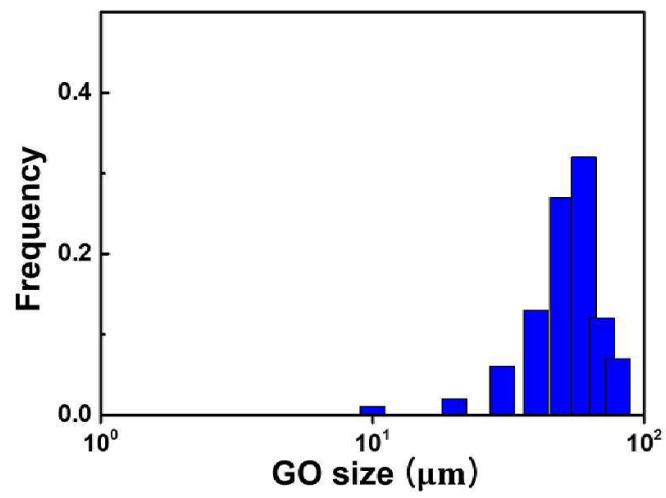
도면1



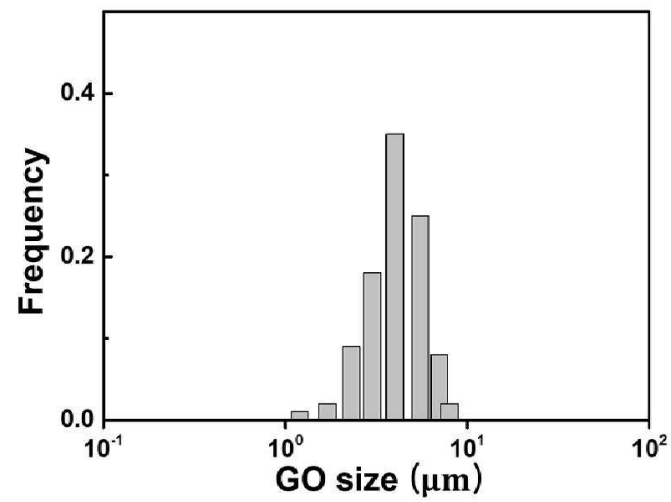
도면2



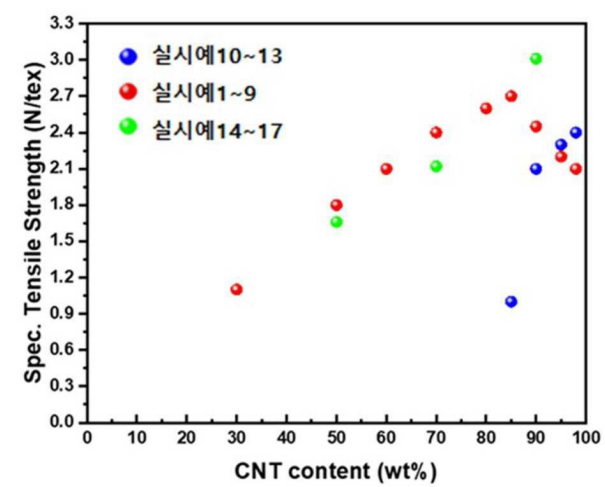
도면3



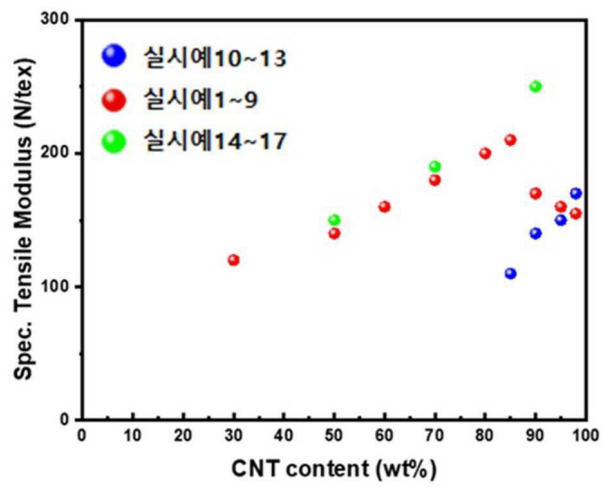
도면4



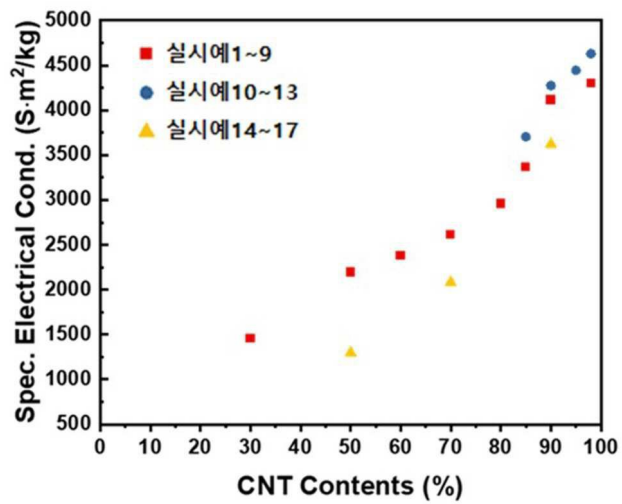
도면5



도면6

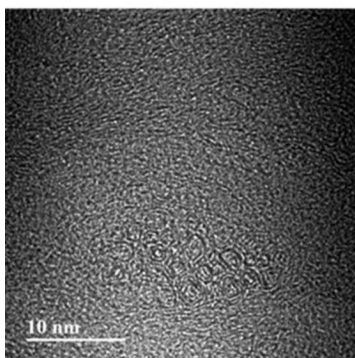


도면7

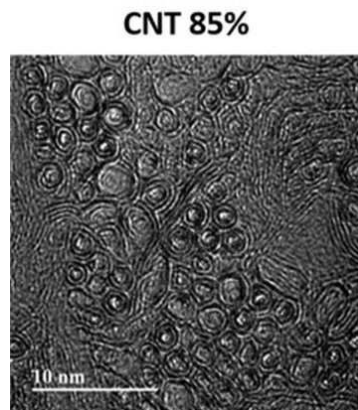


도면8a

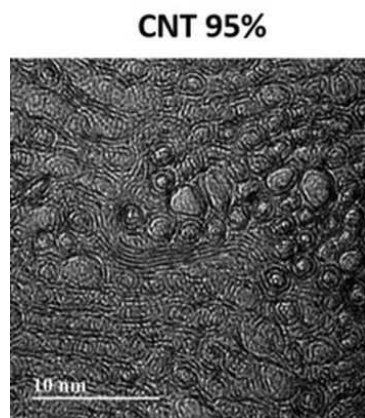
CNT 30%



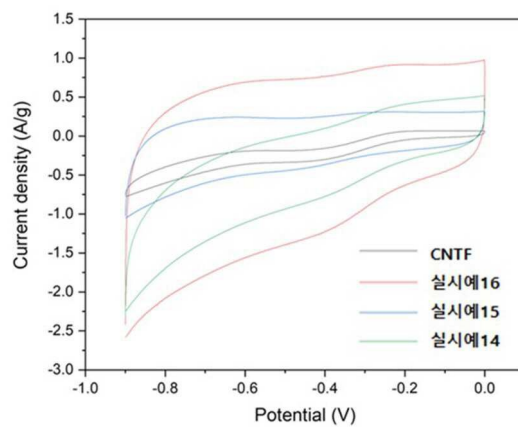
도면8b



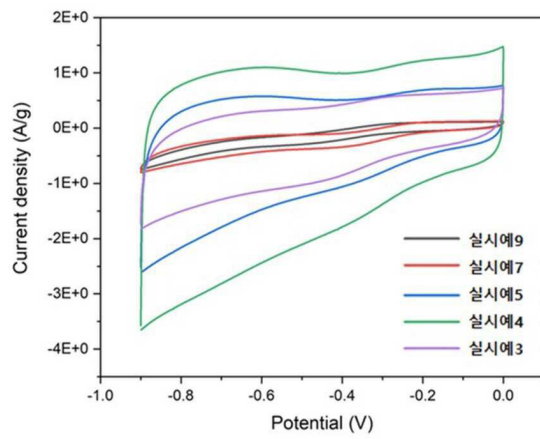
도면8c



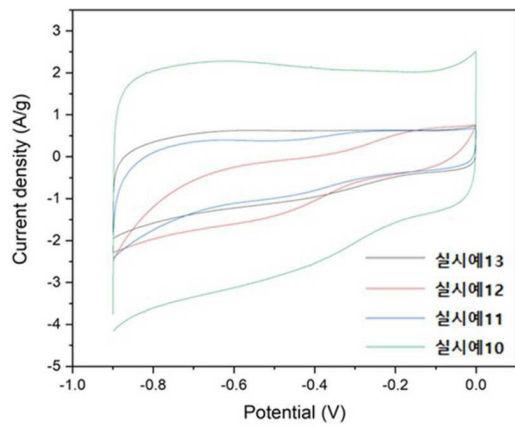
도면9a



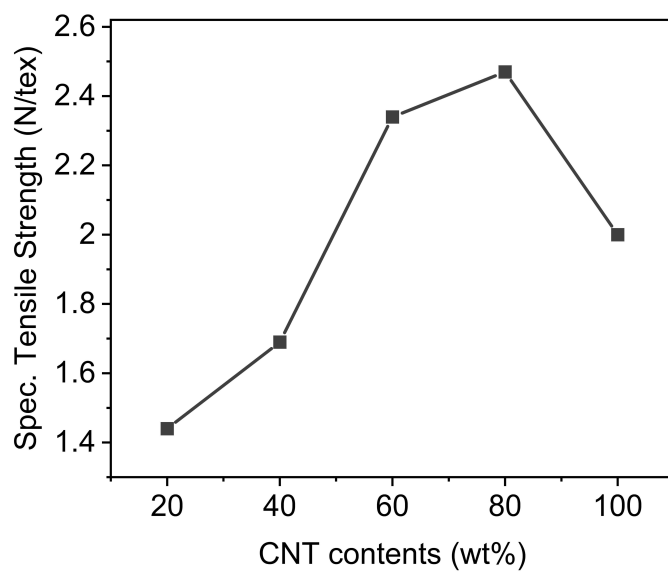
도면9b



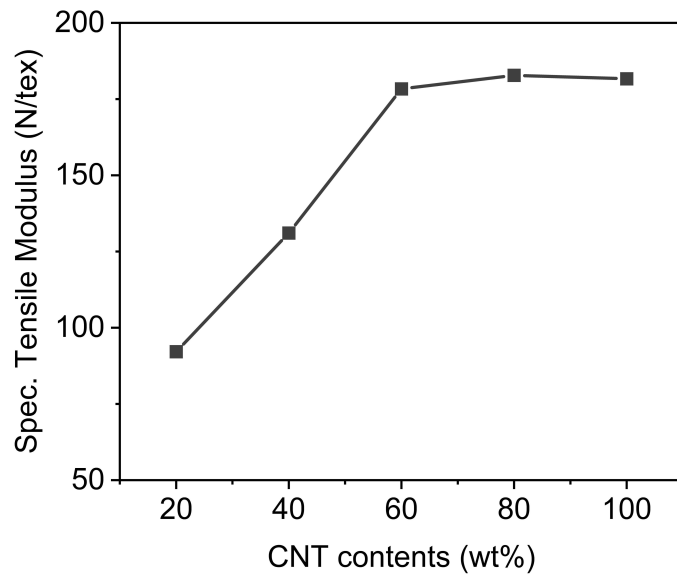
도면9c



도면10



도면11



도면12

