



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2010-0033269  
 (43) 공개일자 2010년03월29일

(51) Int. Cl.

*D06M 11/83* (2006.01) *D06M 11/42* (2006.01)  
*D06M 11/49* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0092360  
 (22) 출원일자 2008년09월19일  
 심사청구일자 2008년09월19일

(71) 출원인

한국기계연구원  
 대전 유성구 장동 171번지

(72) 발명자

이상복  
 경상남도 창원시 가음동 13-3 기계연구소아파트 305호

변준형

부산광역시 남구 용호동 LG메트로시티아파트 215동 2404호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김기문

전체 청구항 수 : 총 4 항

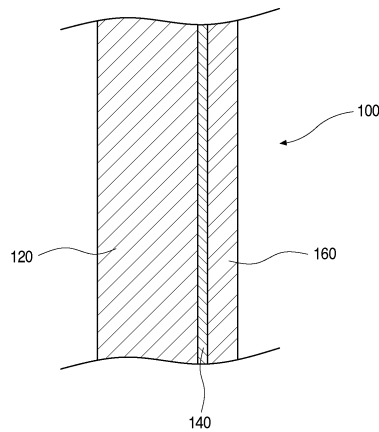
**(54) 다기능성 복합섬유**

**(57) 요약**

본 발명은 카본섬유 또는 금속층 일측에 전기영동법(Electrophoretic deposition)을 이용하여 나노입자층이 구비되도록 한 다기능성 복합섬유에 관한 것이다.

본 발명에 의한 다기능성 복합섬유는, 5 내지 10 $\mu$ m의 외경을 가지는 다수 연속섬유가 뭉쳐진 형상을 가지는 카본섬유(120)와, 상기 카본섬유(120) 외면에 코팅된 금속층(140)과, 상기 금속층(140) 외면에 전기영동법(electrophoretic deposition)을 통해 증착된 나노입자층(160)을 포함하여 구성되며, 상기 금속층(140)은, 전도성 금속으로 이루어지고, 1nm 내지 500nm의 두께를 갖는 것을 특징으로 한다. 이와 같이 구성되는 본 발명에 따르면, 기계적 특성, 전기전도도 및 열전도도가 향상되는 이점이 있다.

**대표도 - 도1**



(72) 발명자

**이진우**

경상남도 창원시 가음동 13-3 기계연구소아파트  
404호

**엄문광**

경상남도 창원시 상남동 대동아파트 110동 501호

**이상관**

경상남도 창원시 용호동 롯데아파트 13동 506호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 K207040000907A050000910, M20080100081, M2007010003

부처명 교육과학기술부, 지식경제부, 지식경제부

연구사업명 국제공동연구 글로벌 연구실사업, 소재원천기술개발사업, 소재원천기술개발사업

연구과제명 구조용 다기능성 마이크로/나노 복합재료 개발, 유무기 복합 섬유상에 의한 전도성 제어기  
술, 전자파 흡수 고각형비 극미세 금속입자 복합화 기술

주관기관 재료연구소, 재료연구소, 재료연구소

연구기간 2007년 12월 01일 ~ 2008년 11월 30일, 2008년 07월 01일 ~ 2009년 06월 30일, 2008년 06  
월 01일 ~ 2009년 05월 31일

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

5 내지 10 $\mu$ m의 외경을 가지는 다수 연속섬유가 뭉쳐진 형상을 가지는 카본섬유와,  
 상기 카본섬유 외면에 코팅된 금속층과,  
 상기 금속층 외면에 전기영동법(electrophoretic deposition)을 통해 증착된 나노입자층을 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 다기능성 복합섬유.

**청구항 2**

5 내지 10 $\mu$ m의 외경을 가지는 다수 연속섬유가 뭉쳐진 형상을 가지는 카본섬유와,  
 상기 카본섬유 외면에 전기영동법(electrophoretic deposition)을 통해 증착된 나노입자층과,  
 상기 나노입자층 외면에 코팅된 금속층을 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 다기능성 복합섬유.

**청구항 3**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 금속층은,  
 전도성이 높은 금속으로 이루어지며, 1nm 내지 500nm의 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 다기능성 복합섬유.

**청구항 4**

제 3 항에 있어서, 상기 금속층은,  
 구리(Cu), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 니켈(Ni) 중 하나 이상을 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 다기능성 복합섬유.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**발명의 목적**

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

- [0018] 본 발명은 카본섬유 또는 금속층 일측에 전기영동법(Electrophoretic deposition)을 이용하여 나노입자층을 구비함으로써 기계적 특성, 전기전도도 및 열전도도가 향상되도록 한 다기능성 복합섬유에 관한 것이다.
- [0019] 카본나노튜브를 비롯한 나노입자는 전기전도도와 열전도도 및 강도가 우수하여 고분자에 소량 첨가되더라도 원래 고분자의 구조/기능적 특성보다 매우 향상된 특성을 가지는 나노복합재료를 얻을 수 있게 된다.
- [0020] 특히 최근에는 카본나노튜브를 다양한 재료에 첨가하여 요구되는 향상된 물성을 갖도록 한 복합재료가 개발되고 있다.
- [0021] 그러나 카본나노튜브가 함유된 복합재료는 기존의 마이크로 섬유 보강 복합재료에 비해 기계적 특성이 10 ~ 20% 수준에 머무르고 있기 때문에 나노복합재료를 구조용 및 다기능용으로 사용하기 위해서는 마이크로섬유와 카본나노튜브를 하이브리드화 하거나, 카본나노튜브의 첨가량을 획기적으로 증가시킬 수 밖에 없는 실정이다.
- [0022] 그리고, 카본나노튜브가 함유된 복합재료는 경량의 고강도 소재로서 특히 항공우주 및 방위산업 분야에서 폭넓게 적용하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.
- [0023] 그러나, 고분자 재료의 낮은 구조/기능 특성으로 인해 두께 방향의 특성이 취약하여 복합재료의 광범위한 적용을 저해하며 재료 특성 데이터 베이스가 충분치 못하여 신뢰성과 안정성이 취약한 문제가 있다.
- [0024] 이에 따라 카본나노튜브가 혼합된 수지를 카본섬유에 함침하여 고강도 및 고강성이 요구되는 구조용 복합재료를 제조하는데 많은 연구가 진행되고 있다.
- [0025] 그러나 카본나노튜브가 혼합된 수지는 점도가 높아져 함침에 어려움이 있으며, 수지가 함침이 되더라도 카본나

노튜브는 카본섬유 다발(bundle)에 의해 필터링되어 카본섬유 다발 내부로 침투되지 않는 문제점이 있다.

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

[0026] 본 발명의 목적은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 카본섬유 또는 금속층 일측에 전기영동법(Electrophoretic deposition)을 이용하여 나노입자층을 형성함으로써 기계적 특성, 전기전도도 및 열전도도가 향상되도록 한 다기능성 복합섬유를 제공하는 것에 있다.

[0027] 본 발명의 다른 목적은, 나노입자층의 형성 위치를 변경하여 기계적 특성 및 전기적/열적 특성이 선택적으로 향상되도록 함으로써 다양한 분야에 적용 가능한 다기능성 복합섬유를 제공하는 것에 있다.

**발명의 구성 및 작용**

[0028] 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유는, 5 내지 10 $\mu$ m의 외경을 가지는 다수 연속섬유가 뭉쳐진 형상을 가지는 카본섬유와, 상기 카본섬유 외면에 코팅된 금속층과, 상기 금속층 외면에 전기영동법(electrophoretic deposition)을 통해 증착된 나노입자층을 포함하여 구성됨을 특징으로 한다.

[0029] 또한 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유는, 5 내지 10 $\mu$ m의 외경을 가지는 다수 연속섬유가 뭉쳐진 형상을 가지는 카본섬유와, 상기 카본섬유 외면에 전기영동법(electrophoretic deposition)을 통해 증착된 나노입자층과, 상기 나노입자층 외면에 코팅된 금속층을 포함하여 구성됨을 특징으로 한다.

[0030] 상기 금속층은, 전도성이 높은 금속으로 이루어지며, 1nm 내지 500nm의 두께를 갖는 것을 특징으로 한다.

[0031] 상기 금속층은, 구리(Cu), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 니켈(Ni) 중 하나 이상 포함하여 구성됨을 특징으로 한다.

[0032] 상기와 같이 구성되는 본 발명에 따르면, 기계적 특성, 전기전도도 및 열전도도가 향상되며, 다양한 분야에 적용 가능한 이점이 있다.

[0033] 이하에서는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 구성을 설명한다.

[0034] 도 1에는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 내부 구성을 개략적으로 보인 종단면도가 도시되어 있다.

[0035] 도면과 같이, 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유(100)는 다수 연속섬유가 뭉쳐진 형상을 가지는 카본섬유(120)와, 상기 카본섬유(120) 외면에 코팅된 금속층(140)과, 상기 금속층(140) 외면에 전기영동법(electrophoretic deposition)을 통해 증착된 나노입자층(160)을 포함하여 구성된다.

[0036] 상기 카본섬유(120)는 직경 5 내지 10 $\mu$ m의 외경을 가지는 연속섬유가 수천 가닥 뭉쳐진(bundle) 형상을 가지며, 일방향 또는 평면 방향의 직물이 적용된다.

[0037] 그리고, 상기 카본섬유(120)는 금속층(140)을 형성하기 위한 전처리는 행하지 않으며, 금속층(140) 코팅을 돕기 위해 알코올 또는 아세톤을 이용한 표면 세척을 선택적으로 실시 가능하다.

[0038] 또한 상기 금속층(140) 코팅을 위해 카본섬유(120) 표면에 팔라듐 또는 백금으로 촉매화과정(S150)을 실시할 수 있다.

[0039] 상기 금속층(140)은 카본섬유(120)와 나노입자층(160) 사이에 게재되어 상기 나노입자층(160)이 카본섬유(120)에 보다 많이 증착될 수 있도록 하는 것으로, 본 발명의 주요한 구성이다.

[0040] 상기 금속층(140)은 카본섬유(120)에 진공증착, 열증착, 플라즈마(PLASMA)처리, 전해도금법, 무전해도금법 등의 다양한 금속 코팅법을 이용하여 형성 가능하다.

[0041] 그리고, 상기 금속층(140)은 전도성이 높은 금속으로 구성된다. 예컨대, 상기 금속층(140)은 구리(Cu), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 니켈(Ni) 등 전도성이 높은 금속 중 하나 이상을 포함하여 구성될 수 있다.

[0042] 또한 상기 금속층(140)의 두께는 복합섬유(100)의 요구되는 물성 즉, 구조적 역할 또는 기능적 역할에 따라 1nm 내지 500nm의 두께 범위 내에서 다양하게 실시 가능함은 물론이다.

[0043] 상기 금속층(140)의 우측 외면에는 나노입자층(160)이 구비된다. 상기 나노입자층(160)은 카본섬유(120)의 강도, 강성 및 전도성을 향상시키기 위한 구성이다.

[0044] 즉, 도 1에서는 상기 나노입자층(160)이 카본섬유(120)와 서로 다른 수직선상에 위치하여 금속층(140)에 의해

카본섬유(120)로부터 분리된 것으로 도시되어 있으나, 상기 나노입자층(160)은 직물 형태의 카본섬유(120) 내부로 함침되어 복합섬유(100)의 강도, 강성 및 전도성을 향상시킬 수 있게 된다.

- [0045] 그리고, 상기 나노입자층(160)은 카본나노입자(카본나노튜브, 탄소나노섬유, 카본블랙 등), 세라믹나노입자, 금속나노입자 중 어느 하나 이상을 포함하여 구성되어질 수도 있다.
- [0046] 이하 상기 다기능성 복합섬유의 제조방법을 첨부된 도 2를 참조하여 설명한다.
- [0047] 도 2에는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 제조방법을 나타낸 제조 공정도가 도시되어 있다.
- [0048] 도면과 같이, 상기 다기능성 복합섬유를 제조하기 위한 과정은 크게 직경 5 내지 10 $\mu$ m의 외경을 가지는 연속섬유가 수천 가닥 뭉쳐진(bundle) 형상을 가지는 카본섬유(120)를 준비하는 재료준비단계(S100)와, 상기 카본섬유(120)에 금속층(140)을 형성하는 금속층형성단계(S200)와, 상기 금속층(140)에 나노입자층(160)을 형성하는 나노입자층형성단계(S300)로 이루어진다.
- [0049] 상기 재료준비단계(S100)에서 카본섬유(120)는 금속층(140)의 코팅이 용이하게 이루어질 수 있도록 알코올 또는 아세톤을 이용해 표면을 세척하는 표면세척과정(미도시)과, 상기 카본섬유(120) 표면에 팔라듐 또는 백금으로 촉매화 처리하는 촉매화과정(S150)이 선택적으로 실시될 수 있다.
- [0050] 상기 금속층형성단계(S200)는 표면세척과정과 촉매화과정(S150)이 선택적으로 실시된 카본섬유(120) 외면에 금속층(140)을 형성하는 과정으로, 상기 금속층(140)은 진공증착, 열증착, 플라즈마(PLASMA)처리, 전해도금법, 무전해도금법 등의 다양한 금속 코팅법 중 어느 하나를 선택하여 실시 가능하다.
- [0051] 그리고, 상기 금속층형성단계(S200)에서 금속층(140)은 전술한 바와 같이 구리(Cu), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 니켈(Ni) 등 전도성이 높은 금속 중 하나 이상을 선택적으로 포함하여 구성될 수 있다.
- [0052] 또한 상기 금속층형성단계(S200)에서 금속층(140)은 복합섬유(100)의 요구되는 물성 즉, 구조적 역할 또는 기능적 역할에 따라 1nm 내지 500nm의 두께 범위 내에서 다양하게 증착 가능하다.
- [0053] 상기 금속층형성단계(S200) 이후에는 나노입자층형성단계(S300)가 실시된다. 상기 나노입자층형성단계(S300)는 나노입자 표면이 음(-)전하 또는 양(+)전하를 띠도록 하는 기능화과정(S320)과, 기능화된 나노입자를 전기영동법으로 상기 금속층(140)에 증착하는 전기영동과정(S340)으로 이루어진다.
- [0054] 상기 기능화과정(S320)은 나노입자 표면에 카르복실기 등의 관능기를 도입하여 나노입자의 표면이 음(-)전하를 띠도록 하거나, 아민기 등의 관능기를 도입하여 나노입자의 표면이 양(+)전하를 띠도록 하는 과정이다.
- [0055] 본 발명의 카본나노튜브의 실시예를 통해 보다 상세하게 설명하면, 상기 기능화과정(S320)은 100mg의 카본나노튜브를 황산-질산(90ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 30ml HNO<sub>3</sub>) 또는 (60ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 60ml HNO<sub>3</sub>) 또는 질산(120ml HNO<sub>3</sub>) 혼합액에 넣고 초음파로 10분 내지 5시간 동안 산처리하게 된다.
- [0056] 이후 산처리된 나노입자는 증류수에서 충분히 세척하고 필터링한 후 70℃의 진하공오븐에서 10시간동안 건조하게 되면, 상기 나노입자 표면은 카르복실기가 도입되어 음(-)전하를 띠게 된다.
- [0057] 이하 상기 전기영동과정(S340)을 첨부된 도 3을 참조하고 본 발명의 실시예를 들어 상세히 설명한다.
- [0058] 도 3에는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 제조방법에서 일 단계인 증착단계의 원리를 나타낸 개념도가 도시되어 있다.
- [0059] 도면과 같이, 본 발명의 실시예에서 상기 카본섬유(120)는 양(+)극에, 구리판은 음(-)극에 각각 연결한 후 상기 카본섬유(120)와 구리판을 6mm 간격으로 이격한 다음 고정하였다.
- [0060] 그리고, 기능화과정(S320)을 거친 나노입자(본 발명의 실시예에서는 카본나노튜브를 사용함) 15mg을 150ml의 증류수에 넣고 bath type과 beam type 초음파하에서 분산처리하였다.
- [0061] 분산 처리된 카본나노튜브를 전기영동 bath에 넣고 25V 전압을 3분간 인가하여 전기영동과정(S340)을 실시하였다.
- [0062] 이때 음(-)전하를 띤 카본나노튜브는 양(+)전하를 띤 카본섬유(120)에 증착되어 나노입자층(160)을 형성하게 된다.
- [0063] 상기 전기영동과정(S340) 이후에는 나노입자층(160)이 형성된 카본섬유(120)를 bath에서 빼내어 증류수로 세척

하는 세척과정(S360)이 실시된다.

- [0064] 세척이 완료된 복합섬유(100)는 진공오븐에 장입되어 70℃에서 약 10시간 동안 건조함으로써 건조과정(S380)이 진행된다.
- [0065] 상기한 과정이 완료되면 나노입자층(160)은 도 4와 같이 금속층(140)이 코팅된 카본섬유(120)에 증착된다.
- [0066] 도 4는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 실시예와 비교예에서 나노입자층이 증착된 모습을 나타낸 사진으로서, 상기 비교예는 카본섬유(120) 외면에 금속층(140)을 형성하지 않고 전기영동법을 이용하여 카본섬유(120)에 바로 나노입자를 증착하였고, 상기 실시예는 전술한 바와 같은 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유(100)의 제조 방법에 따라 제조하였다.
- [0067] 도 4와 같이, 실시예에 따라 제조된 다기능성 복합섬유(100)의 표면에는 나노입자층(160)이 고르게 증착된 것을 알 수 있다.
- [0068] 반면 금속층(140)을 형성하지 않고 나노입자층(160)을 형성한 비교예의 사진의 경우 나노입자층(160)이 불규칙하고 얇게 증착되어 있는 것을 알 수 있다.
- [0069] 이하 상기와 같이 제조된 실시예의 기계적, 전기적 특성을 도 5 내지 도 8을 참조하여 비교예와 비교 설명하도록 한다.
- [0070] 도 5에는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유가 적용된 복합재료와 비교예의 전기전도도를 비교한 그래프가 도시되어 있고, 도 6에는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유가 적용된 복합재료와 비교예의 강도를 비교한 그래프가 도시되어 있다.
- [0071] 그리고, 도 7 은 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유가 적용된 복합재료와 비교예의 두께 방향 파괴 형상을 보인 실물 사진이 도시되어 있으며, 도 8에는 도 7의 확대 사진이 도시되어 있다.
- [0072] 먼저, 도 5 내지 도 8에서 비교예는 카본섬유(120)와 나노입자층(160)이 형성된 카본섬유(120) 시편이 적용되었으며, 실시예에 따른 복합재료는 상기 카본섬유(120) 표면에 금속층(140)과 나노입자층(160)이 순차적으로 코팅된 시편을 적용하였다.
- [0073] 상기와 같은 2가지 비교예와 실시예의 전기전도도를 비교한 결과, 실시예의 시편은 폭방향 및 두께방향 전기전도도가  $10^{-1}$  내지  $10^3$ (S/cm)를 나타내어 비교예의 폭방향 및 두께방향 전기전도도와 비교할 때 향상된 것을 알 수 있다.
- [0074] 또한, 도 6과 같이 비교예와 실시예의 시편들을 ASTM D2344의 요건에 따라 Short Beam Strength를 측정된 결과, 카본섬유(120)만으로 이루어진 비교예의 시편보다 나노입자층(160)만 형성된 카본섬유(120) 시편의 강도가 오히려 낮아진 것을 알 수 있다.
- [0075] 반면, 실시예에 따라 제조된 시편은 57MPa의 강도를 나타내어 카본섬유(120)만으로 이루어진 시편의 강도보다 9.1% 향상된 것을 알 수 있다.
- [0076] 도 7과 같이 비교예와 실시예의 Failure Mode를 살펴보면, 실시예의 가로 방향 균열은 비교예의 가로 방향 균열보다 작은 것을 확인할 수 있으며, 이것은 실시예의 두께방향 강도가 비교예의 강도보다 크기 때문이다.
- [0077] 그리고, 도 8과 같이 도 7의 균열 상태를 확대하여 살펴보면, 비교예는 상/하 방향으로 적층되어 있던 다수 카본섬유(120)들이 서로 분리되어 있으며, 실시예에 따라 제조된 복합섬유는 나노입자층(160)이 금속층(140)에 의해 카본섬유(120)에 견고하게 부착된 상태를 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0078] 이하 상기 복합섬유의 다른 실시예의 구성을 첨부된 도 9를 참조하여 설명한다.
- [0079] 도 9에는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 다른 실시예의 구성을 개략적으로 보인 종단면도가 도시되어 있다.
- [0080] 도면과 같이, 다른 실시예의 복합섬유(100)에서는 나노입자층(160)이 카본섬유(120)와 금속층(140) 사이에 위치하도록 구성된다.
- [0081] 즉, 상기 나노입자층(160)은 카본섬유(120)의 우측면에 전기영동법(Electrophoretic deposition)으로 형성된다.

- [0082] 그리고, 상기 금속층(140)은 플라즈마처리, 진공증착, 열증착 중 어느 하나의 방법으로 상기 나노입자층의 우측면에 형성된다.
- [0083] 따라서, 상기 금속층(140)이 형성되지 않은 상태에서 상기 나노입자층(160)은 카본섬유(120)의 결합력이 높지 않아 분리될 수 있으나, 상기 나노입자층(160)의 외측에 금속층(140)이 형성되면 상기 나노입자층(160)과 카본섬유(120)의 결합력을 높일 수 있게 된다.
- [0084] 이하 상기와 같이 구성되는 다른 실시예의 복합섬유(100)를 제조하는 방법을 첨부된 도 10을 참조하여 설명한다.
- [0085] 도 10에는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 다른 실시예의 제조방법을 나타낸 제조 공정도가 도시되어 있다.
- [0086] 도면과 같이, 상기 나노입자층(160)과 금속층(140)의 형성 위치가 바뀔에 따라 상기 복합섬유의 제조 방법에서도 금속층형성단계(S200)와 나노입자층형성단계(S300)가 서로 순서가 바뀌어 실시된다.
- [0087] 그리고, 상기 나노입자층형성단계(S300) 이전에는 촉매화과정(S150)이 불필요하게 되며, 상기 금속층형성단계(S200)는 건조과정(S380) 이후에 실시됨이 바람직하다.
- [0088] 이러한 본 발명의 범위는 상기에서 예시한 실시예에 한정하지 않고, 상기와 같은 기술범위 안에서 당업계의 통상의 기술자에게 있어서는 본 발명을 기초로 하는 다른 많은 변형이 가능할 것이다.

**발명의 효과**

- [0089] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유에서는 카본섬유 또는 금속층 일측에 전기영동법(Electrophoretic deposition)을 이용하여 나노입자층을 구비하였다.
- [0090] 따라서, 나노입자층이 형성되는 위치에 따라 복합섬유의 두께 방향 강도가 증가하거나 전기 전도도 및 열전도도가 향상될 수 있게 되므로, 기계적 특성이 향상되는 이점이 있다.
- [0091] 또한 본 발명에 따르면, 적은 비용으로 짧은 시간 내에 다기능성 복합섬유의 제조가 가능하므로 생산성이 높아지고 제조 원가가 절감되어 가격 경쟁력이 향상되는 이점이 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0001] 도 1 은 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 내부 구성을 개략적으로 보인 종단면도.
- [0002] 도 2 는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 제조방법을 나타낸 제조 공정도.
- [0003] 도 3 은 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 제조방법에서 일 단계인 증착단계의 원리를 나타낸 개념도.
- [0004] 도 4 는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 실시예와 비교예에서 나노입자층이 증착된 모습을 나타낸 사진.
- [0005] 도 5 는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유가 적용된 복합재료와 비교예의 전기전도도를 비교한 그래프.
- [0006] 도 6 은 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유가 적용된 복합재료와 비교예의 강도를 비교한 그래프.
- [0007] 도 7 은 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유가 적용된 복합재료와 비교예의 두께 방향 파괴 형상을 보인 실물 사진.
- [0008] 도 8 은 도 7의 확대 사진.
- [0009] 도 9 는 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 다른 실시예의 구성을 개략적으로 보인 종단면도.
- [0010] 도 10 은 본 발명에 의한 다기능성 복합섬유의 다른 실시예의 제조방법을 나타낸 제조 공정도.

[0011] \* 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 \*

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| [0012] 100. 다기능성 복합섬유 | 120. 카본섬유       |
| [0013] 140. 금속층       | 160. 나노입자층      |
| [0014] S100. 재료준비단계   | S150. 촉매화과정     |
| [0015] S200. 금속층형성단계  | S300. 나노입자층형성단계 |

[0016] S320. 기능화과정

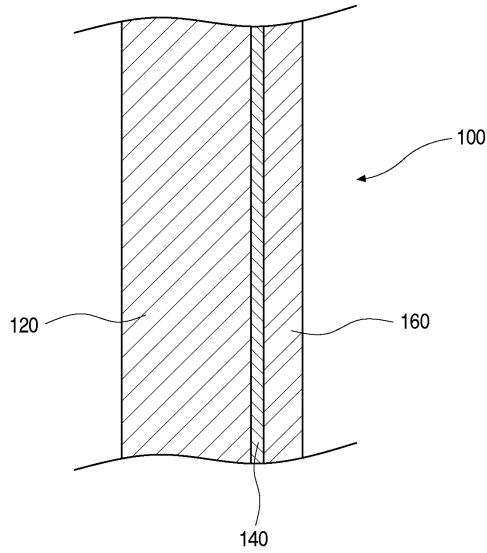
S340. 전기영동과정

[0017] S360. 세척과정

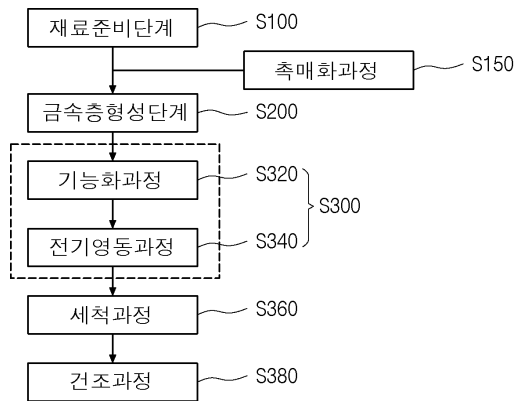
S380. 건조과정

도면

도면1

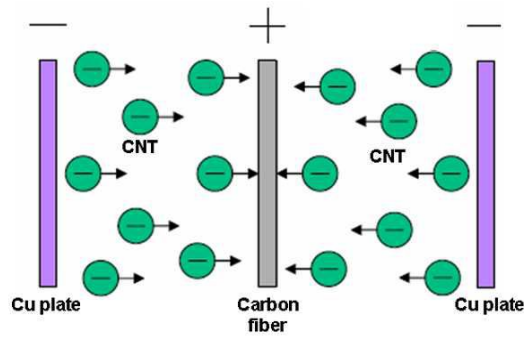


도면2

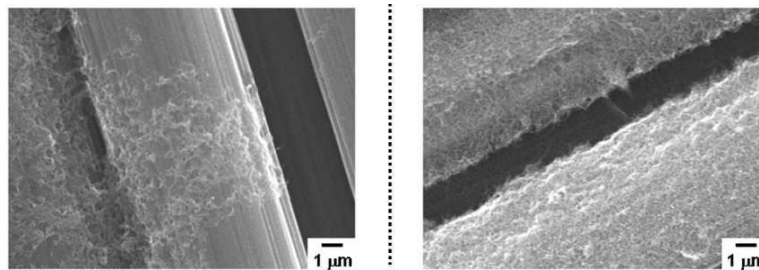




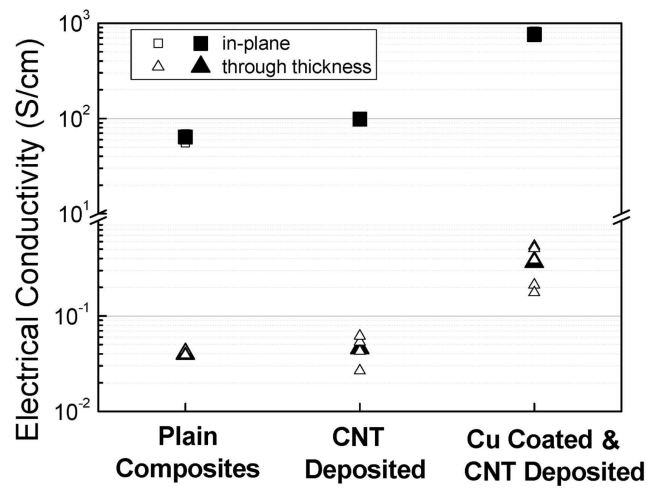
도면3



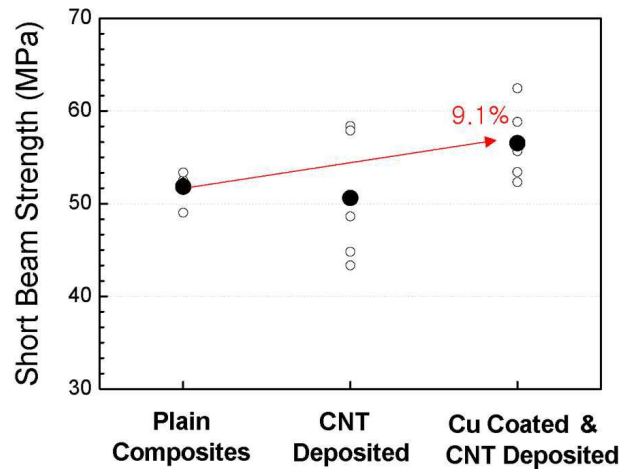
도면4



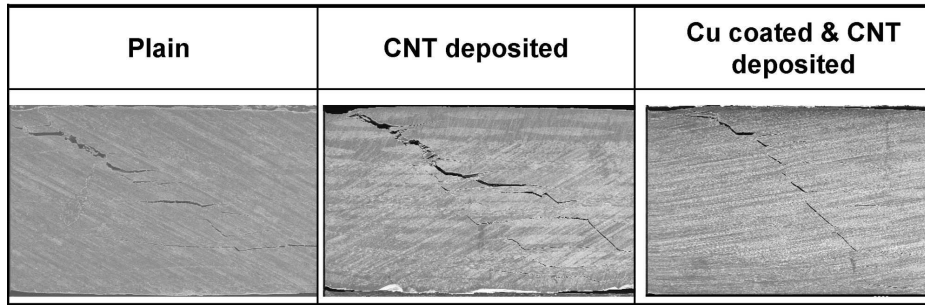
도면5



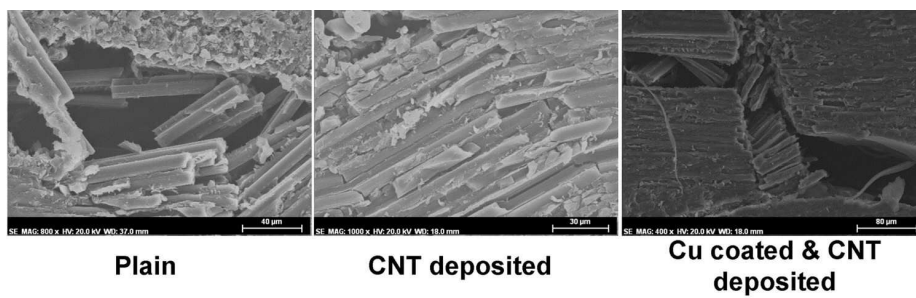
도면6



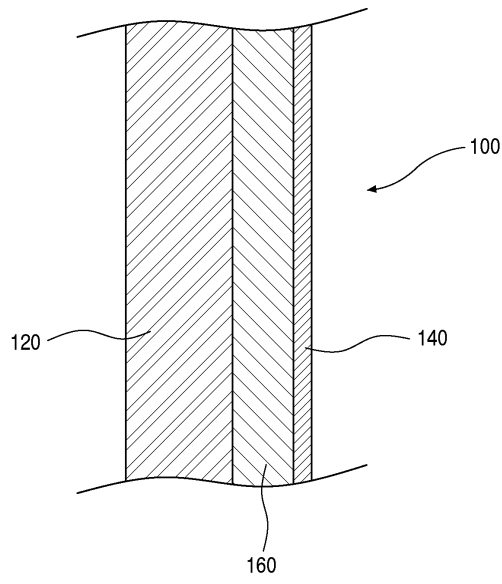
도면7



도면8



도면9



도면10

