



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0058554
(43) 공개일자 2011년06월01일

(51) Int. Cl.

C08K 9/02 (2006.01) C08K 7/06 (2006.01)

C08K 3/04 (2006.01) B82B 3/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0115385

(22) 출원일자 2009년11월26일

심사청구일자 2009년11월26일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

주식회사 대한항공

서울 강서구 공항동 1370

(72) 발명자

권오양

인천광역시 남구 용현동 인하대학교 2북 264B

하민석

서울특별시 강서구 화곡3동 대우푸르지오아파트
141동 202호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김국진

전체 청구항 수 : 총 3 항

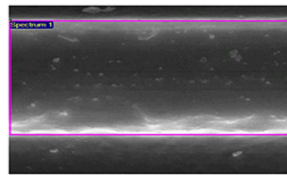
(54) 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료

(57) 요약

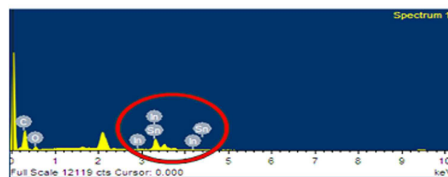
본 발명은 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전도성 나노입자를 탄소섬유의 표면에 코팅하여 고분자 재료에 함침함으로써 무게가 가벼우면서도 높은 전기 전도도를 갖게 하여 항공기의 동체와 같은 낙뢰에 의한 손상이 발생하는 물체에 사용할 수 있는 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료에 관한 것이다.

상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명은 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료(CFRP)에 있어서, 탄소섬유의 표면에 전도성 나노입자를 코팅하여 고분자 재료에 함침시켜 형성하되, 상기 전도성 나노입자는 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자인 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도2



(a)



(b)

(72) 발명자

최홍섭

대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트 106-604호

서성욱

서울특별시 구로구 오류동 338 동부골든아파트 21
0동 1113호

특허청구의 범위

청구항 1

탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료(CFRP)에 있어서,

탄소섬유의 표면에 전도성 나노입자를 코팅하여 고분자 재료에 함침시킨 것을 특징으로 하는 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전도성 나노입자는 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자인 것을 특징으로 하는 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자는 스프레이 분사 방식으로 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)에 코팅하는 것을 특징으로 하는 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전도성 나노입자를 탄소섬유의 표면에 코팅하여 고분자 재료에 함침함으로써 무게가 가벼우면서도 높은 전기 전도도를 갖게 하여 항공기의 동체와 같은 낙뢰에 의한 손상이 발생하는 물체에 사용할 수 있는 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)은 뛰어난 비강성, 비강도 뿐만 아니라 우수한 내식성, 피로특성으로 인하여 수송, 건축, 항공/우주 산업에서부터 해양, 전기/전자 산업에 이르기까지 그 사용량이 해마다 증가하고 있다.

[0003] 최근 항공기중 B-787 기종의 경우 전체 동체의 40%이상을 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)을 사용하여 제작하는 등, 특히 항공기 제작 분야에서 사용량이 증가하는 추세이다.

[0004] 그런데, 항공기의 운항시 연평균 1~2회 정도 낙뢰를 접하게 되는데, 낙뢰를 접하게 되면 항공기 동체는 스파크 전파(spark propagation)나 국부적인 발열과 같은 직접적인 피해와 전자기장(electro magnetic field) 등에 의한 간접적인 피해를 입게 된다.

[0005] 그래서, 항공기의 안전 측면에서 낙뢰에 의한 피해가 중요한 문제로 대두되면서 낙뢰에 의한 손상을 방지하기 위해 동체의 설계, 동체 재료의 선택 등에 관한 연구가 진행되기 시작하였다.

[0006] 특히 최신의 민간항공기(B-787, A380, A350 등)에서 각종 섬유강화 복합재료의 사용비율이 증가하면서 낙뢰에 의한 손상방지 연구는 더욱 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

[0007] 이러한 연구의 결과로 도 1에 도시된 바와 같은 낙뢰 손상방지용 와이어 메쉬가 내설된 탄소섬유 강화 플라스틱(wire mesh-embedded CFRP)이 개발되어, 항공기 동체의 외층에 알루미늄 재질의 와이어 메쉬 익스텐디드 포일(wire mesh extended foil, 10)을 사용하여 동체 구조물의 전기 전도도를 향상시켜 낙뢰 에너지를 분산시킴으로써 낙뢰에 의한 손상을 방지하게 되었다.

[0008] 그러나, 전술한 알루미늄 재질의 와이어 메쉬 익스텐디드 포일(10)은 탄소섬유 강화 플라스틱(20)에 금속층을 첨가시킴으로써 전기 전도도를 향상시키기는 하였으나, 금속재질을 사용함으로써 항공기 동체의 무게를 증가시키게 되고 이에 따라 필요한 양력이 커지기 때문에 연료의 소모가 증가되며, 또한, 장기적으로는 갈바닉 부식(galvanic corrosion)에 의해 내구성이 떨어지는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0009] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 전도성 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 탄소섬유의 표면에 스프레이 분사 방식으로 코팅하여 고분자 재료에 함침함으로써 전기전도성을 향상시키게 되어 항공기의 동체에 사용할 경우 낙뢰에 의한 에너지를 분산시켜 국부적인 손상을 최소화하는 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료를 제공하는 것이다.

[0010] 그리고, 본 발명의 다른 목적은 금속재료를 사용하지 않고, 전도성 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 이용하여 코팅함으로써 무게를 가볍게 하여 항공기 동체에 사용할 경우, 가벼운 무게에 의해 필요한 양력이 줄어들게 되어 연료 소모를 줄일 수 있는 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료를 제공하는 것이다.

과제 해결수단

[0011] 이러한 문제점을 해결하기 위한 본 발명은;

[0012] 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료(CFRP)에 있어서, 탄소섬유의 표면에 전도성 나노입자를 코팅하여 고분자 재료에 함침시킨 것을 특징으로 한다.

[0013] 여기서, 상기 전도성 나노입자는 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자인 것을 특징으로 한다.

[0014] 그리고, 상기 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자는 스프레이 분사 방식으로 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)에 코팅하는 것을 특징으로 한다.

효 과

[0015] 상기한 구성의 본 발명에 따르면, 전도성 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 탄소섬유의 표면에 스프레이 분사 방식으로 코팅하여 고분자 재료에 함침함으로써 전기전도성을 향상시키게 되어 항공기의 동체에 사용할 경우 낙뢰에 의한 에너지를 분산시켜 국부적인 손상을 최소화하는 효과가 있다.

[0016] 그리고, 본 발명은 금속재료를 사용하지 않고, 전도성 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 이용하여 코팅함으로써 무게를 가볍게 하여 항공기 동체에 사용할 경우, 가벼운 무게에 의해 필요한 양력이 줄어들게 되어 연료 소모를 줄일 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 보다 상세하게 설명한다. 그리고, 본 발명은 다수의 상이한 형태로 구현될 수 있고, 기술된 실시 예에 한정되지 않음을 이해하여야 한다.

- [0018] 도 2의 (a)는 주사전자현미경(SEM) 사진이고, (b)는 이디에스(EDS, energy dispersive spectroscopy) 검사 결과를 나타낸 그래프이고, 도 3은 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자 코팅 농도에 따른 전기전도도 변화를 나타낸 그래프이고, 도 4는 낙뢰 인가시 초음파 비파괴 검사를 통한 손상의 크기(defect size)를 측정한 것으로, (a)는 본 발명에 따른 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자가 코팅된 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 측정사진이고, (b)는 종래의 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 측정사진이고, 도 5는 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자 코팅 시편의 전자파 차폐(EMI, electro magnetic interference) 특성 평가 결과를 나타낸 그래프이고, 도 6은 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자 코팅에 의한 인장강도 변화를 나타낸 그래프이고, 도 7은 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)에 알루미늄 메쉬(aluminum mesh)를 적용한 경우와 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 적용한 경우에 대해 무게 변화를 나타낸 도면이다.
- [0019] 본 발명은 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료에 관한 것으로 탄소섬유의 표면에 전도성 나노입자를 코팅하고 고분자 재료에 함침하여 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)을 형성한 것으로서, 도 2의 (a),(b)에 도시된 바와 같이 전도성 나노입자로 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide)를 사용하게 된다.
- [0020] 여기서, 본 발명인 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료는 상기 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide)을 나노 입자화 하여 스프레이 분사 방식으로 코팅하게 되는데, 이렇게 스프레이 분사 방식으로 탄소섬유의 표면에 코팅함으로써 보다 균일하게 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅하게 된다.
- [0021] 또한, 본 발명에서 사용되는 고분자 재료는 통상적인 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)에 사용되는 여러 고분자 재료 중에서 항공기에 주로 사용하는 열경화성 에폭시 수지를 사용한다.
- [0022] 그리고, 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide)을 나노입자화 하여 탄소섬유의 표면에 코팅함으로써 전기 전도도가 높아질 뿐만 아니라, 종래의 와이어 메쉬가 형성된 탄소섬유 강화 플라스틱(wire mesh-embedded CFRP)과 달리 금속층을 형성하지 않기 때문에 무게가 가벼워지게 된다.
- [0023] 이렇게 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 탄소섬유의 표면에 코팅함으로써 변화된 특성을 시험을 통해 종래의 항공기 재료로 사용되던 와이어 메쉬가 내설된 탄소섬유 강화 플라스틱(wire mesh-embedded CFRP)과 비교하여 설명하기로 한다.
- [0024] 우선, 전기 전도도 특성에 대해 살펴보면, 도 3에 도시된 바와 같이 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자의 농도를 20%, 30%, 40%로 하여, 스프레이 분사 방식으로 각각 3초, 5초 동안 분사하여 코팅한 시편에 대하여 전기 전도도를 측정하였다.
- [0025] 각각의 측정치를 살펴보면, 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자의 농도가 20%일 때의 전기 전도도는 21000(S/m), 33000(S/m)으로 측정되었고, 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자의 농도가 30%일 때의 전기 전도도는 24000(S/m), 34000(S/m)으로 측정되었으며, 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자의 농도가 40%일 때의 전기 전도도는 102000(S/m), 89000(S/m)으로 측정되었다.
- [0026] 여기서, 코팅되지 않은 상태의 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 전기 전도도는 21000(S/m)으로 20%의 농도로 코팅한 경우와 30%의 농도로 코팅한 경우와 큰 차이를 보이지 않았다.
- [0027] 그러나, 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 40%의 농도로 코팅한 경우에는 최대 102000(S/m)으로 측정되어 코팅되지 않은 상태의 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)과 비교하면 무려 5배나 높은 전기 전도도를 보였고, 종래의 항공기 재료로 사용되던 와이어 메쉬가 내설된 탄소섬유 강화 플라스틱(wire mesh-embedded CFRP)의 전기 전도도가 73000(S/m)인 것을 생각해 보면 획기적인 향상이라고 할 수 있다.
- [0028] 이렇게 전기 전도도를 높이면 항공기의 재료로 사용될 경우, 항공기 운항의 가장 큰 문제 중의 하나인 낙뢰에 의한 피해를 최소화 할 수 있는 것이다.
- [0029] 즉, 항공기를 운행하다 보면 연평균 1~2회의 낙뢰를 접하게 되기 때문에 낙뢰에 대한 대비가 상당히 중요한데, 낙뢰에 의한 피해를 살펴보면 스파크 전파(spark propagation)나 국부적인 발열과 같은 직접적인 피해와 전자기장 등에 의한 간접적인 피해가 있다.
- [0030] 이 중 직접적인 피해인 스파크 전파(spark propagation)나 국부적인 발열은 항공기 동체의 전기 전도도를 높여 줌으로써 피해를 줄일 수 있는데, 낙뢰의 피격시 표면의 전기 전도도가 높을 경우에는 낙뢰 에너지를 빠른 시간

안에 분산시킴으로써 피해를 최소화할 수 있게 된다.

- [0031] 다음으로, 본 발명에 따른 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)과 기존의 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)에 1kA(전류), 100kV(전압)의 인공낙뢰를 인가하는 시험을 하였다.
- [0032] 상기 시험을 통하여 실제 낙뢰가 인가되었을 때, 재료가 갖는 손상의 정도를 알 수 있는데, 그 손상 정도를 측정하기 위하여 초음파 비파괴 검사를 통해 시편의 내부 손상정도를 측정하였다.
- [0033] 그 결과는, 도 4에 도시된 바와 같이 (a)는 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)에 낙뢰를 인가한 경우로 손상 정도가 미미하고, (b)는 기존의 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)에 낙뢰를 인가한 경우로 (a)에 비하여 그 손상 정도가 큰 것을 알 수 있다.
- [0034] 즉, 본 발명에 따른 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)은 전기 전도도가 향상됨으로써 낙뢰 에너지를 효과적으로 분산시켜 국부적인 손상을 줄여주게 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0035] 다음으로, 전자파 차폐(EMI, electro magnetic interference) 특성을 시험하였는데, 이러한 전자파 차폐(EMI) 특성은 낙뢰에 의해 발생하는 전자파를 차단함으로써 항공기 내부에 설치된 민감한 전자 기기가 전자파에 의해 손상되거나 오작동을 하는 것을 방지하는 중요한 특성으로서 차단할 수 있는 전자파의 양에 따라 내부의 전자기기를 얼마나 안정적으로 보호할 수 있는지가 달려있다.
- [0036] 이번 시험에서는 도 5에 도시된 바와 같이 대조시편(종래의 탄소섬유 강화 플라스틱, CFRP, 120)과 본 발명에 따른 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP, 110)에 대한 전자파 차폐(EMI, electro magnetic interference) 특성을 측정하여, 원신호(130)와 비교하였다.
- [0037] 그 결과는, 도 5에 도시된 전자파 차폐(EMI) 특성을 측정했던 데이터에서 보이는 바와 같이, 본 발명에 따른 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP, 110)에 의해 차단되는 전자파의 양이 종래의 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP, 120)에 의해 차단되는 전자파의 양보다 월등히 큰 것으로 나타나므로 전자파 차폐(EMI) 특성이 월등한 것을 알 수 있다.
- [0038] 따라서, 본 발명에 따른 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP, 110)의 전자파 차폐(EMI) 특성이 월등히 높아 낙뢰에 의한 전자파를 차폐 및 흡수하여 항공기 내부에 설치된 전자기기를 보다 안정적으로 보호할 수 있음을 알 수 있다.
- [0039] 다음으로, 기계의 구조물로 쓰일 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)은 전기 전도도뿐만 아니라, 인장강도도 중요하기 때문에, 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)과 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자의 농도를 20%, 40%로 하여 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 인장시험을 하였다.
- [0040] 그 결과, 도 6에 도시된 바와 같이 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 인장강도가 기존의 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)과 비교할 때 인장강도 저하가 오차 범위 내에 있는 것으로 확인되어, 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅하더라도 전기 전도도는 향상되지만 인장강도는 저하되지 않는 것을 입증하였다.
- [0041] 다음으로, 종래의 알루미늄 메쉬(aluminum mesh, wire mesh 혹은 metal foil이라고 지칭하기도 함)를 이용하여 전기 전도도를 향상시킨 경우와 본 발명의 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅하여 전기 전도도를 향상시킬 경우에 무게의 변화를 측정하였다.
- [0042] 그 결과, 도 7에 도시된 바와 같이 같은 크기의 시편에 대하여 측정된 무게의 변화는, 종래의 알루미늄 메쉬(aluminum mesh)를 이용한 경우에는 6.3%의 무게 증가가 있었으나, 본 발명의 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 사용한 경우에는 약 0.9%의 무게 증가만이 있어, 종래에 비해 확연하게 무게의 감소가 있는 것을 알 수 있다.

[0043] 이러한 무게의 감소를 항공기의 효율적 측면에서 볼 때, 항공기의 동체 무게를 감소시키게 되어 연료의 효율을 높여 더 많은 승객을 멀리 이송할 수 있는 것으로 항공기의 성능을 보다 우수하게 할 수 있는 효과가 있다.

[0044] 이상에서 살펴본 바와 같이 본 발명의 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 코팅한 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)은 종래에 비해 인장강도의 저하없이 전기 전도도를 높일 뿐만 아니라 무게도 감소시키게 되므로, 낙뢰에 의한 피해를 최소화 하고, 항공기의 무게를 줄일 수 있어 보다 우수한 항공기를 제작할 수 있게 되며, 나아가, 종래와 비교할때 제조 공정이 간단하고, 제조비용도 낮은 효과를 가지게 된다.

[0045] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시 예를 설명하였으나, 본 발명의 권리범위는 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 실시 예와 실질적으로 균등한 범위에 있는 것까지 본 발명의 권리 범위가 미치는 것으로 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형 실시가 가능한 것이다.

산업이용 가능성

[0046] 본 발명은 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전도성 나노입자를 탄소섬유의 표면에 코팅하여 고분자 재료에 함침함으로써 무게가 가벼우면서도 높은 전기 전도도를 갖게 하여 항공기의 동체와 같은 낙뢰에 의한 손상이 발생하는 물체에 사용할 수 있는 나노입자 코팅 탄소섬유 강화 플라스틱 복합재료에 관한 것이다.

도면의 간단한 설명

[0047] 도 1은 종래의 낙뢰손상 방지용 와이어 메쉬가 내설된 탄소섬유 강화 플라스틱(wire mesh-embedded CFRP)의 개념도이다.

[0048] 도 2의 (a)는 주사전자현미경(SEM) 사진이고, (b)는 이디에스(EDS, energy dispersive spectroscopy) 검사 결과를 나타낸 그래프이다.

[0049] 도 3은 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자 코팅 농도에 따른 전기전도도 변화를 나타낸 그래프이다.

[0050] 도 4는 낙뢰 인가시 초음파 비파괴 검사를 통한 손상의 크기(defect size)를 측정한 것으로, (a)는 본 발명에 따른 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자가 코팅된 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 측정사진이고, (b)는 종래의 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 측정사진이다.

[0051] 도 5는 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자 코팅 시편의 전자파 차폐(EMI, electro magnetic interference) 특성 평가 결과를 나타낸 그래프이다.

[0052] 도 6은 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자 코팅에 의한 인장강도 변화를 나타낸 그래프이다.

[0053] 도 7은 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)에 알루미늄 메쉬(aluminum mesh)를 적용한 경우와 인-주석 산화물(ITO, Indium Tin Oxide) 나노입자를 적용한 경우에 대해 무게 변화를 나타낸 도면이다.

[0054] << 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 >>

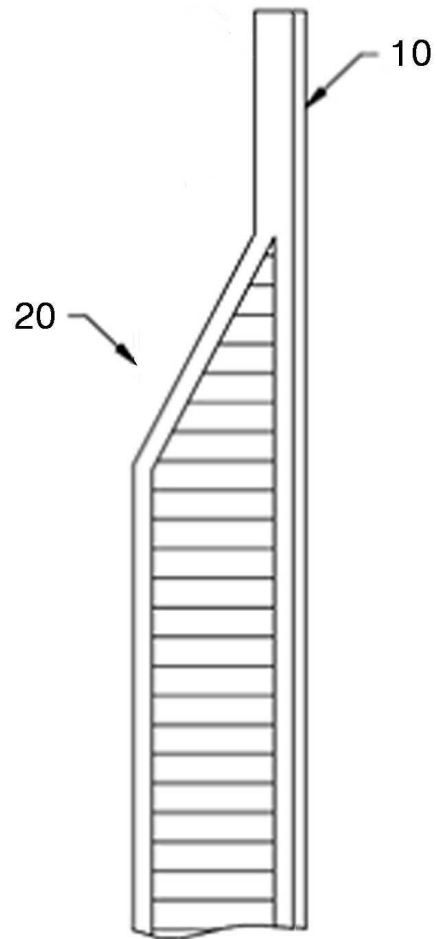
[0055] 10 : 금속 박막(extended metal foil) 20 : 탄소섬유 강화 플라스틱

[0056] 110 : 인-주석 산화물(ITO) 나노입자 코팅 시편

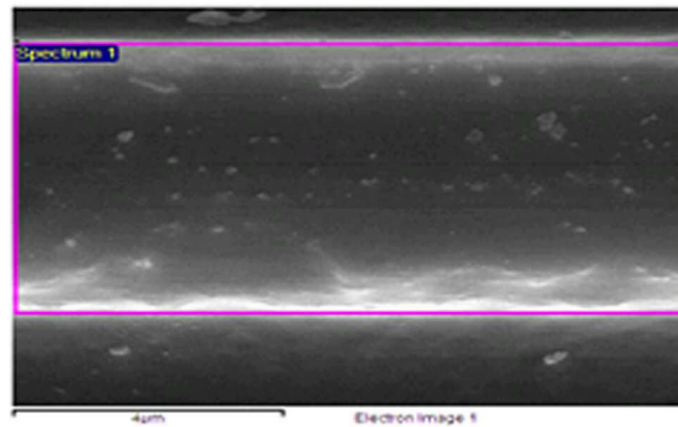
[0057] 120 : 대조 시편 130 : 원신호

도면

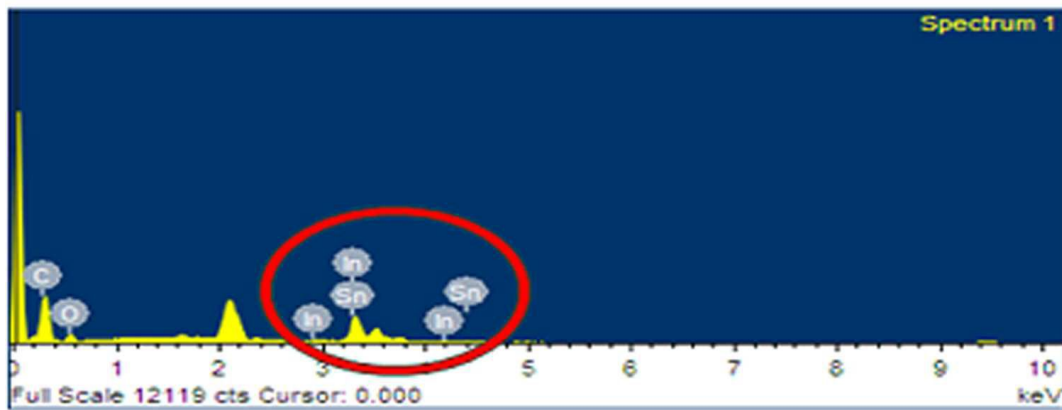
도면1



도면2

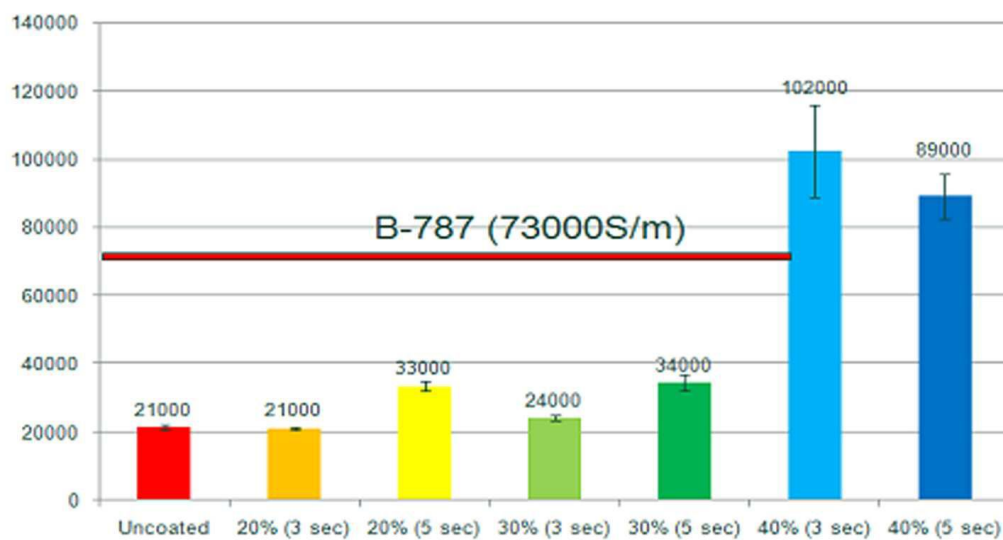


(a)

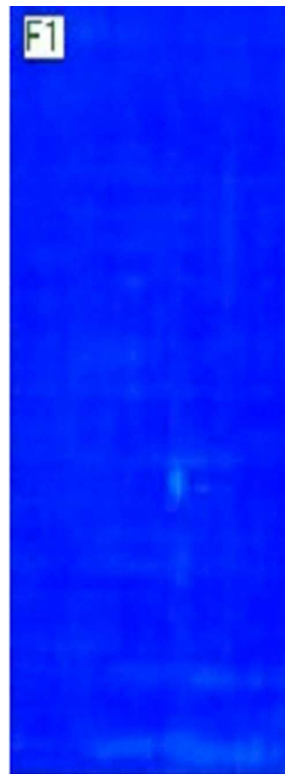


(b)

도면3



도면4

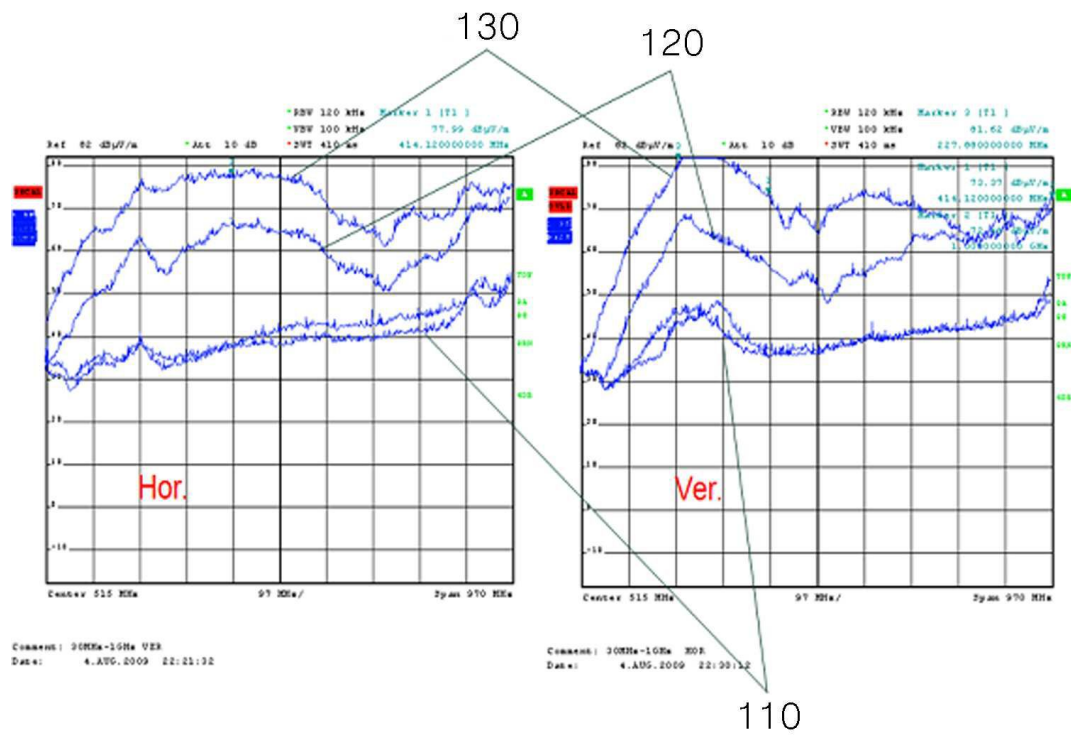


(a) coated specimen

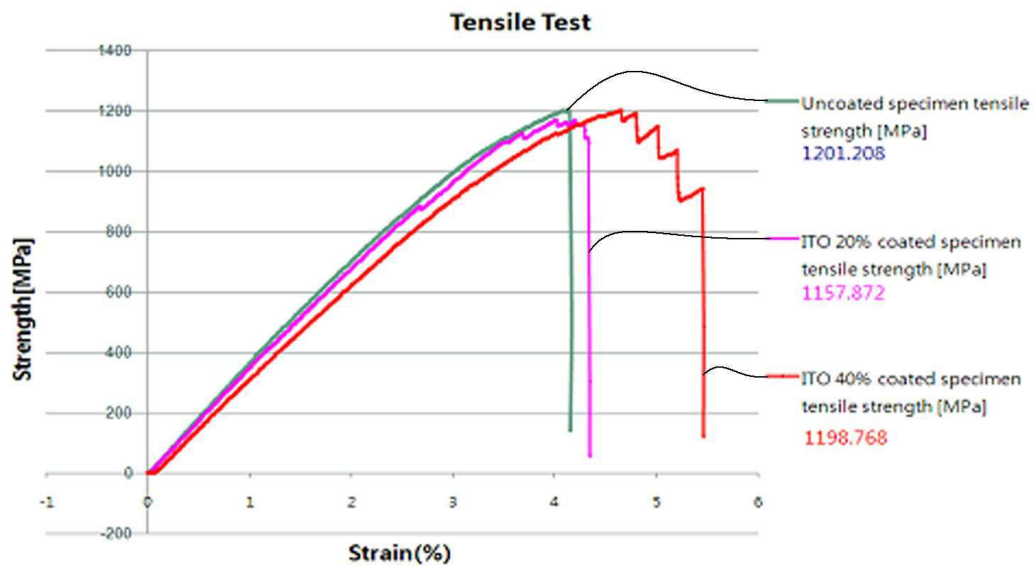


(b) uncoated specimen

도면5



도면6



도면7

