(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0062693
(43) 공개일자 2024년05월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21F 1/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21F 1/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0144500
(22) 출원일자 2022년11월02일
심사청구일자 2022년11월02일

(71) 출원인
계명대학교 산학협력단
대구광역시 달서구 달구벌대로 1095, 계명대학교 산학협력관 201호(신당동)
(72) 발명자
김선칠
대구광역시 북구 동천로24길 12
(74) 대리인
윤귀상

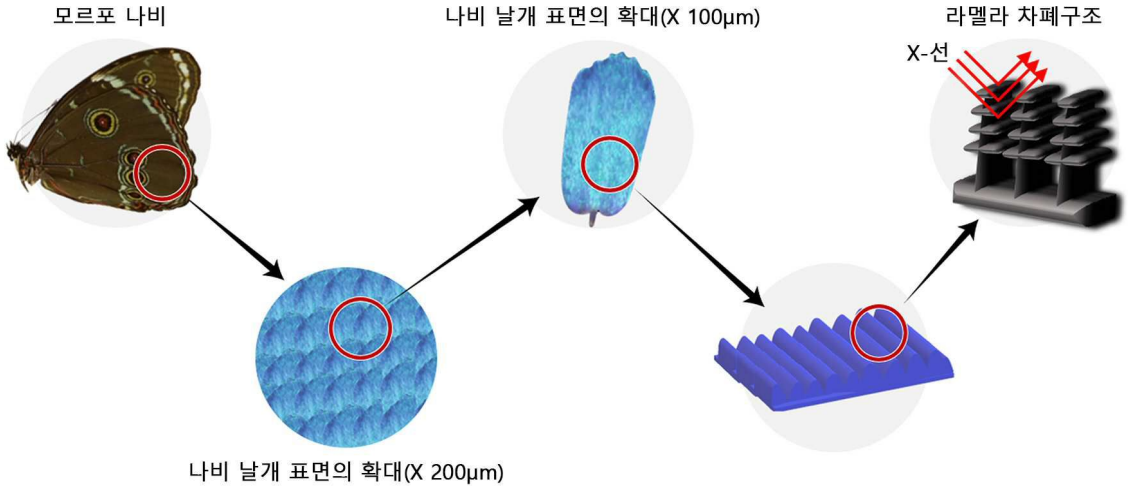
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **모르포 나비날개 구조의 초박막 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법**

(57) 요 약

본 명세서는 모르포 나비날개의 다층 박막구조의 패턴을 고분자 복합물질의 전기방사로 구현하여 경량의 새로운 방사선 차폐체를 제조하기 위한 방법에 관한 것으로, 본 개시에 따르면 납의 위험성을 대체할 수 있는 친환경 차폐소재이면서도 차폐성능이 우수하고 무게가 가벼운 차폐페이퍼를 제공할 수 있어, 이를 사용하거나 적층함으로써 활동성을 필요로 하는 의료방사선 차폐복과 이외 다양한 산업분야에 유용하게 사용할 수 있다.

대 표 도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345349520
과제번호	2020R1I1A3070451
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	박막 의료방사선 차폐재 개발을 위한 하이브리드 분산 기술개발 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	계명대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

텅스텐 입자, 폴리우레탄 입자 및 용매를 포함하는 방사용액을 동일한 방향을 유지하며 전기방사시켜 일정 방향의 패턴 구조를 형성하며 박막을 제조하는 단계; 및

상기 단계를 상기 박막 상에 1 내지 10회 더 반복하여 동일한 일정 방향의 패턴 구조가 적층된 라멜라 패턴 박막을 제조하는 단계;

를 포함하고,

상기 전기방사 조건은

방사 거리 13 내지 15cm;

방사 속도 0.8 내지 1.2mL/h; 및

방사 전압 8 내지 12kV;

를 포함하며,

상기 박막의 두께는 0.1 내지 1mm인,

방사선 차폐 페이퍼의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 방법은,

상기 라멜라 패턴 박막을 1 내지 5개 더 제조하는 단계; 및

상기 제조된 라멜라 패턴 박막들을 적층하는 단계;

를 더 포함하는, 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 텅스텐 입자 및 폴리우레탄 입자의 중량비는 91.1~92.5: 7.5~8.9인, 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 전기방사시 니들(needle) 사이즈는 20 내지 26 게이지인, 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 방사 용액의 용매는 N-디메틸포름아마이드(N-dimethylformamide), 클로로포름(chloroform), 에틸에테르, 메틸이소부틸케톤, 메틸시클로헥사놀 및 트리클로로에틸렌 중 하나 이상을 포함하는, 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 방법은, 전기 방사 후 박막의 후처리 단계로서 30 내지 50℃에서 2500 내지 3500 psi의 열프레스 공정을 더 포함하는, 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 라멜라 패턴 구조는 x축 방향으로 500 내지 900nm 간격마다 y축 방향으로 높이가 1 내지

3㎛인 기둥이 반복된 형태이며, 상기 기둥은 y축 방향으로 주름이 형성된 라멜라 구조를 갖는 것인, 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항의 제조방법에 의해 제조된 방사선 차폐 페이퍼.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 명세서는 초박막 방사선 차폐 페이퍼에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 의료기관에서의 방사선 촬영은 X-레이를 인체에 투과시켜 인체 내 물질의 밀도 차이를 이용하여 해부학적 구조를 영상화하는 의료기술이다. X-레이는 조직의 밀도가 높으면 투과에 제한이 있고, 상대적으로 밀도가 낮은 조직은 쉽게 투과하는 특성을 지니고 있다. 이러한 원리는 120년 전부터 방사선 촬영에 사용되었으며, 따라서 밀도가 높은 조직 구성은 방사선 방어에 유리하게 사용될 수 있다.

[0003] 인공 방사선 X-레이는 의료기술과 산업기술을 발전시켰으나, 상대적으로 의료기기의 사용량 증가로 인한 대중의 집단선량 상승과 종사자의 피폭선량이 증가하는 추세로 나타나, 피폭을 저감시키기 위해 적극적인 방사선 방어 기술을 필요로 한다. 최근 COVID-19 대유행으로 모바일 X-레이 장치의 활용이 증가되었다고 보고되고 있다. 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection ; ICRP)에서는 의료영역에서 사용되는 방사선은 환자의 이익을 위해 사용되어야 하며, 최적화되어 있어야 한다고 명시하고 있다.

[0004] 의료기관에서 방사선 차폐를 목적으로 사용되는 방어기술은 시간, 거리 차폐에서 차폐를 가장 많이 이용하고 있다. X-레이 차폐체는 납을 기준으로 사용되고 있다. 납은 그대로 플레이트로 만들어 사용하거나, 납 분말을 고무 등의 고분자 재료와 혼합하여 시트 형태로 제작하는 방식으로 사용되고 있다. 납은 중독성과 중금속의 위험성, 사용 후 폐기 방안에 대해 어려움이 있어 최근 의료기관에서 사용되는 차폐체가 무연납 소재로 바뀌고 있는 추세이나, 아직 방사선을 사용하는 의료기기와 용품, 장치, 설비 등에는 아직 완전한 대체가 어려워 대부분이 납을 재료로 사용하고 있다. 따라서, 이를 극복하기 위해서는 무연 소재 사용의 확대가 필요하며, 납과 동등한 차폐성능, 경제성, 친환경을 고려한 차폐재료 개선이 필요하다.

[0005] 최근에는 경제성과 친환경 소재를 고려하여 납 대체 재료를 사용하고 있으며, 대표적으로 산화비스무트, 황산바륨, 붕소 등의 물질이 사용되고 있다. 납 대체 차폐재료는 인체에 대한 독성이 없고, 유연성 및 가공성이 있어야 한다. 또한, 혼합될 고분자와의 친화성이 우수한 소재거나 차폐체 제조 시 경량화시킬 수 있는 재료로 제안해야 한다. 이러한 차폐재료로 생산할 수 있는 차폐체의 형태는 플레이트, 섬유, 시트 등이 있으며, 공정기술에 따라 원하는 모양으로 사출도 가능하다.

[0006] 먼저 섬유 형태의 차폐체는 차폐물질을 원사에 함침하여 제직하는 공정기술로 제작된다. 그러나, 원단 제직 시 원사 사이에서 발생되는 핀홀로 인해 차폐성능 저하가 야기되어 의료기관 X-레이 직접선을 차폐하기에는 한계가 있다. 따라서 섬유 기반 차폐체는 주로 차폐 기능성 원단으로 제작되어 산란선인 2차 방사선 방어에 이용된다. 시트 형태는 고분자 물질과 차폐물질을 혼합하여 일정한 두께로 압착하는 기술로 제작되며, 공정기술의 핵심 요소는 차폐물질의 균일한 분산이다. 차폐물질 분산기술은 차폐성능의 재현성에 직접적인 영향을 주고 있으며 생산 공정의 표준화 없이는 대량생산에 적용하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

[0007] 플레이트 형태의 차폐는 100%의 차폐물질로만 차폐체를 제조하는 압연 가공기술이며, 텅스텐을 사용할 경우 융점이 높아 생산 가공성이 떨어지기 때문에 차폐재료 선택에 한계가 있다. 따라서 최근에는 복합물질 즉, 다른 재료와 혼합하여 유연성을 확보하고 있으며, 이러한 방법으로 제조된 플레이트는 차폐벽 등의 설비시설의 재료로 많이 사용된다. 의료기관에서 각종 차폐체로 사용되는 블록, 주사 차폐기, 조리개 등은 차폐물질과 고분자 물질과 혼합한 후 사출 금형 공정기술을 적용하여 플라스틱의 형태로 제작되기도 한다. 이러한 공정기술을 적용할 경우, 금속입자와 고분자 물질의 혼화성이 매우 중요한 요소이며, 이는 차폐성능에 영향을 미친다.

[0008] 대표적인 의료기관 X-ray 차폐체는 에이프런(Apron)이며, 이는 의복 형태로 제작되어 의료진과 종사자가 착용하기 때문에 활동성을 보장하기 위해서는 얇고, 가벼운 형태로 제작되어야 한다. 현재 판매되는 X-ray 차폐 에이프런은 납당량이 0.25㎜Pb인 경우 2.85~3.15 ㎏의 무게를 나타내어 중압감으로 인해 사용자의 신체적 부담을 야

기한다. 차폐복의 경량화는 차폐재료의 밀도 및 질량과 직접적인 관계가 있어 선택이 제한되어 있다. 시트의 두께 조절로 활동성을 향상할 수 있지만 착용자가 만족할 수 있는 수준은 아니다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0009] (비특허문헌 0001) Kim, Y. K., Park, S. E. & Seo, Y. S. Enhanced X-ray Shielding Ability of Polymer-Nonleaded Metal Composites by Multilayer Structuring. Industrial & Engineering Chemistry Research. 54, 5968-5973. DOI: 10.1021/acs.iecr.5b00425 (2015)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 일 관점에서, 본 개시가 해결하고자 하는 과제는 납과 유사한 방사선 차폐 성능을 지닌 친환경 차폐재를 포함하면서도 초박막이며 경량의 방사선 차폐 페이퍼를 제조하는 방법을 제공하는 것이다.

[0011] 일 관점에서, 본 개시가 해결하고자 하는 과제는 상기 제조방법으로 제조된 방사선 차폐 페이퍼를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 개시의 일 실시예는, 텅스텐 입자, 폴리우레탄 입자 및 용매를 포함하는 방사용액을 동일한 방향을 유지하며 전기방사시켜 일정 방향의 패턴 구조를 형성하며 박막을 제조하는 단계; 및

[0013] 상기 단계를 상기 박막 상에 1 내지 10회 더 반복하여 동일한 일정 방향의 패턴 구조가 적층된 라멜라 패턴 박막을 제조하는 단계;

[0014] 를 포함하고,

[0015] 상기 전기방사 조건은 방사 거리 13 내지 15cm; 방사 속도 0.8 내지 1.2mL/h; 및 방사 전압 8 내지 12kV;을 포함하며,

[0016] 상기 라멜라 패턴 박막의 두께는 0.1 내지 1mm인, 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법을 제공한다.

[0017] 본 개시의 다른 일 실시예는, 상기 제조방법에 의해 제조된 방사선 차폐 페이퍼를 제공한다.

발명의 효과

[0018] 본 개시의 일 실시예들은 모르포 나비날개의 다층 박막구조의 패턴을 고분자 복합물질의 전기방사로 구현하여 경량의 새로운 방사선 차폐체를 제조할 수 있다. 본 개시의 일 실시예들에 따른 다층 박막구조의 패턴은 광자의 충돌 단면적을 확장하는 역할과 두께를 낮추는 역할을 동시에 수행하여 입사방사선 강도를 저하시키는 차폐효과가 매우 효과적이다. 또한 종래 시트 대비 약 45% 이상의 경량 감소효과를 나타내면서도 납과 유사한 수준의 차폐효과를 제공할 수 있다. 따라서, 본 개시에 따르면 납의 위험성을 대체할 수 있는 친환경 차폐소재이면서도 차폐성능이 우수하고 무게가 가벼운 차폐페이퍼를 제공할 수 있어, 이를 활동성을 필요로 하는 의료방사선 차폐복 등에 유용하게 사용할 수 있다. 본 개시에 따른 차폐체는 의료기관에서 모자, 장갑, 속옷, 스카프 등 다양한 형태로 제작할 경우, 가공성이 우수하여 여러 형태로 변환이 가능하고 에이프런 등의 소재로 사용할 경우 기존의 납 무게 대비 45%를 절감시키는 효과를 기대할 수 있다. 본 개시는 이외 의료분야 외 방사선 차폐를 필요로 하는 다양한 산업분야에 용이하게 사용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 모르포 나비 날개 구조 확대 단면을 나타낸 도이다.

도 2는 모르코 나비 날개 구조를 이용한 x-레이 차폐 표면 구조의 응용을 나타낸 도이다.

도 3은 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐 페이퍼 제조을 위한 방사용액 제조방법을 개략적으로 나타낸 도이다.

도 4는 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐 페이퍼 제조을 위한 전기 방사에 사용되는 장치와 방법을 개략적으로 나타낸 도이다.

도 5a는 모르포 나비 날개의 형태를 확대하여 나타낸 도이다.

도 5b는 본 개시의 실시예 1에 구현된 패턴을 촬영한 이미지를 확대하여 나타낸 도이다.

도 6a는 모르포 나비 날개의 확대 이미지를 나타낸 도이다.

도 6b는 본 개시의 실시예 1의 구조 확대 이미지를 나타낸 도이다.

도 7a은 본 개시의 실시예 1에서 제조한 차폐 페이퍼에 포함된 텅스텐 성분을 분석한 XRF 결과를 나타낸 도이다.

도 7b는 본 개시의 실시예 1에서 제조한 차폐 페이퍼에 포함된 텅스텐 성분을 분석한 SEM 이미지를 나타낸 도이다.

도 8a는 본 개시의 실시예 1에서 제조한 차폐 페이퍼의 외관을 촬영하여 나타낸 것이다.

도 8b는 본 개시의 실시예 1에서 제조한 차폐 페이퍼의 외관을 촬영하여 나타낸 것이다

도 8c는 비교예인 0.25㎜Pb의 외관을 촬영하여 나타낸 것이다.

도 9a는 본 개시의 실시예 1에서 제조한 차폐 페이퍼의 전자현미경 단면 영상 중 일부를 촬영한 이미지를 나타낸 도이다.

도 9b는 본 개시의 실시예 1에서 제조한 차폐 페이퍼의 전자현미경 단면 영상 중 일부를 촬영한 이미지를 나타낸 도이다.

도 10은 시험예 2에서 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐 페이퍼의 차폐 성능 평가 실험에 사용된 기기와 조건을 나타낸 도이다.

도 11a는 인공실습용으로 손을 촬영한 엑스레이 영상을 비교하여 나타낸 것으로, 실시예 1의 차폐 페이퍼 1장의 차폐 이미지를 나타낸 것이다.

도 11b는 실시예 1의 차폐 페이퍼 2장의 차폐 이미지를 나타낸 것이다.

도 11c는 실시예 1의 차폐 페이퍼 3장 의 차폐 이미지를 나타낸 것이다.

도 11d는 비교예인 납 플레이트 0.25㎜의 각 차폐 이미지를 나타낸 것이다.

도 11e는 팬텀을 이용한 촬영장면을 촬영한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0021] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들은 단지 설명을 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 실시예들은 본 발명을 특정한 개시 형태로 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0022] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것으로, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제되지 않는다.

[0023] 본 개시의 일 실시예는 박막구조의 차폐 페이퍼 및 이의 적층 구조, 박막구조의 차폐 페이퍼의 제조방법을 제공한다.

[0024] 본 개시의 일 실시예는, 텅스텐 입자, 폴리우레탄 입자 및 용매를 포함하는 방사용액을 동일한 방향을 유지하며 전기방사시켜 일정 방향의 패턴 구조를 형성하며 박막을 제조하는 단계; 및 상기 단계를 상기 박막 상에 1 내지

10회 더 반복하여 동일한 일정 방향의 패턴 구조가 적층된 라멜라 패턴 박막을 제조하는 단계;를 포함하고,

[0025] 상기 전기방사 조건은 방사 거리 13 내지 15cm; 방사 속도 0.8 내지 1.2mL/h; 및 방사 전압 8 내지 12kV;를 포함하며,

[0026] 상기 라멜라 패턴 박막의 두께는 0.1 내지 1mm인,

[0027] 방사선 차폐 페이퍼의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0028] 일 실시예로서, 상기 방법은 상기 라멜라 패턴 박막을 1 내지 5개 더 제조하는 단계; 및 상기 제조된 박막들을 적층하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0029] 방사선 차폐는 차폐재료와 방사선의 상호작용 확률을 증가시키는 것이 중요하다. 따라서 차폐물질의 매질과 구조가 중요한 역할을 수행한다. 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐물질의 입자 분산방법은 텅스텐과 폴리우레탄의 상호작용을 증가시켜 차폐성능을 향상시킬 수 있다. 따라서 고분자와 텅스텐 입자로 구성된 특정 매질에 대한 단위 면적당 질량과 X-레이 입사 광자간의 상호작용으로 감약되는 입사 에너지 강도는 비어-람베르트 법칙(Beer-Lambert)에 의해 수학식 1과 같이 계산할 수 있다.

[0030] [수학식 1]

[0031] $$I=I_0e^{-\mu\rho}$$

[0032] 여기서 I_0는 입사 광자강도이며 I는 감쇠된 광자 강도, $\rho\,(g/cm^3)$는 밀도, $\mu\,(cm^{-1})$ 및 $\mu_m(cm^2/g)$은 선형 및 질량 감쇠 계수이다. 차폐체의 두께 $d(cm)$는 입사광선이 차폐 물질 입자와 상호작용하는 거리에 해당된다. 따라서 $d_m(g/cm^2)$을 제작된 박막 페이퍼의 질량 두께(단위 면적당 질량)로 계산하면 수학식 2, 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

[0033] [수학식 2]

[0034] $$\mu_m=\mu/\rho=(I_0/I)/(\rho d)=(I_0/I)/\mu_m$$

[0035] [수학식 3]

[0036] $$d_m=\mu/\rho=\sum_i W_i(\mu/\rho)_i$$

[0037] 여기서 W_i는 i번째 구성 요소의 중량 비율이다. 결과적으로 방사선 차폐체는 차폐물질의 수를 증가시켜야 하고, 이러한 증가가 이루어지면 단위 면적당 질량이 늘어나게 된다. 따라서 최소한의 질량 증가로 차폐효과를 향상시키기 위해서는 차폐물질의 단위 면적을 증가시켜야 한다. 차폐 페이퍼의 총 원자 단면적 $(\sigma_a;cm^2/g)$은 질량 감쇠 계수를 이용하여 추정할 수 있다. 원자의 수를 산출하여 수학식 4와 같이 전자밀도를 해석할 수 있다.

[0038] [수학식 4]

[0039] $$d_m=N_A\sigma_a/N$$

[0040] N_A는 아보카도 상수이다. 따라서 전자 단면적은 수학식 5와을 구같이 구할 수 있다.

[0041] [수학식 5]

[0042] $$\sigma_a=(1/N_A)[\sum_i(f_iA_i/Z_i)(\mu_m)_i]$$

[0043] 여기서 Z_i, f_i, $(\mu_m)_i$ 및 A_i는 각각 i번째 구성 요소의 원자 번호, 몰 분율, 질량 감쇠 계수 및 원자량이다.

[0044] 차폐물질 입자가 균일하게 분산되고 다층구조로 이루어지면 차폐효과가 향상될 것으로 예상되므로, 본 개시에서는 차폐물질 입자의 분산성을 높이기 위해 새로운 분산 구조로서 나비 날개의 패턴을 박막 차폐페이퍼 제조에 적용하였다. 본 개시는 차폐물질의 분산을 동일한 면적에서 총 원자 단면적을 넓히는 방법으로 시도하였다. 구체적으로, 본 개시의 일 실시예에 따르면 아마존의 모르포 나비 날개 구조와 유사한 구조로서 굽힘에 의해 형성된 라멜라 고분자 사슬 구조를 포함하는 박막의 방사선 차폐 페이퍼를 제조할 수 있다. 본 개시의 일 실시예는 입자 방사선의 충돌 단면적을 넓히기 위해서 다층으로 적용된 적층구조를 적용하였다. 도 1 및 도 2를 참조로

하여 본 개시를 설명하면, 모르포 나비의 날개는 도 1과 같이 규칙적인 배열의 다층구조가 반복적으로 겹쳐있는 패턴을 가지고 있으며, 본 개시의 일 실시예는 이를 모델로 하여 도 2에 나타난 바와 같은 라멜라 차폐 구조를 제조할 수 있다. 본 개시의 일 실시예에 따라 제조된 박막 페이퍼는 모르포 나비 날개와 유사한 구조를 가짐으로써 나비 날개와 같이 초경량이면서도 비표면적을 가짐으로써 높은 방사선 차폐율을 제공할 수 있다.

[0045] 일 실시예로서, 본 개시는 모르포 나비 날개와 유사한 패턴의 재현성을 유지하기 위해 고분자 전기방사 방식을 적용하여 동일한 위치에 동일한 차폐물질 양이 포집되도록 구현할 수 있다. 구체적으로, 이는 상기 방사 용액을 동일한 방향을 유지하며 전기방사시켜 일정 방향의 패턴 구조를 형성하며 박막을 제조하는 단계; 및 상기 단계를 상기 박막 상에 1 내지 10회 더 반복하여 동일한 일정 방향의 패턴 구조가 적층된 라멜라 패턴 박막을 제조하는 단계에 의해 구현될 수 있다. 상기 모르포 나비 날개와 유사한 패턴을 구현이기 위한 관점에서, 본 개시의 일 실시예에 따라 제조된 차폐 페이퍼의 상기 패턴 구조는 x축 방향으로 500 내지 900nm 간격마다 y축 방향으로 높이가 1 내지 3㎛인 기둥이 반복된 형태이며, 상기 기둥은 y축 방향으로 주름이 형성된 라멜라 구조를 갖는 것일 수 있다.

[0046] 일반적으로 나노섬유는 포집 단계에서 일정한 방향성 없이 불규칙하게 분포되어 나노섬유 매트 형태로 제조되지만, 본 개시의 일 실시예에 따라 일정한 방향의 패턴 구조를 가진 나노섬유 형태로 제조하게 되면, 방사선이 나노섬유 내부의 패턴을 통과할 때 좀 더 규칙적인 충돌을 유도하여 불규칙성에서 오는 오차를 감소시킬 수 있다. 또한 규칙적인 나노섬유의 패턴을 적용하면 동일한 차폐물질의 양으로 실드 내부의 밀집도(compactness)를 높일 수 있다.

[0047] 상기와 같은 라멜라 패턴 구조를 구현하기 위한 관점에서, 본 개시의 일 실시예에 따른 상기 전기 방사시 방사 거리는 13 내지 15cm일 수 있다. 이때, 상기 방사 거리는 전기 방사 기기의 니들과 수집판과의 거리를 의미한다. 구체적으로, 상기 방사 거리는 13cm 이상, 13.2 cm 이상, 13.4 cm 이상, 13.6 cm 이상, 13.8 cm 이상, 14 cm 이상, 14.2 cm 이상, 14.4 cm 이상, 14.6 cm 이상 또는 14.8 cm 이상일 수 있으며, 15 cm 이하, 14.8 cm 이하, 14.6 cm 이하, 14.4 cm 이하, 14.2 cm 이하, 14 cm 이하, 13.8 cm 이하, 13.6 cm 이하, 13.4 cm 이하, 13.2 cm 이하, 13 cm 이하, 12.8 cm 이하, 12.6 cm 이하, 12.4 cm 이하 또는 12.2 cm 이하일 수 있다. 상기 방사 거리가 상기 범위를 벗어나 과도하게 멀거나 가까울 경우 규칙적인 패턴이 구현되지 않을 수 있으며, 차폐물질의 분산력이 떨어질 수 있다.

[0048] 상기와 같은 라멜라 패턴 구조를 구현하기 위한 관점에서, 본 개시의 일 실시예에 따른 상기 전기 방사시 방사 속도는 0.8 내지 1.2 mL/h일 수 있다. 구체적으로, 상기 방사 속도는 0.8 mL/h 이상, 0.9mL/h 이상, 1 mL/h 이상 또는 1.1 mL/h 이상일 수 있으며, 1.2 mL/h 이하, 1.1 mL/h 이하, 1 mL/h 이하 또는 0.9 mL/h 이하일 수 있다. 상기 방사 속도가 상기 범위를 벗어나 과도하게 떨어지거나 높을 경우 규칙적인 패턴이 구현되지 않을 수 있으며, 차폐물질의 분산력이 떨어질 수 있다.

[0049] 또한, 본 개시의 일 실시예에 따른 상기 전기 방사시 방사 전압은 8 내지 12kV일 수 있다. 구체적으로, 상기 방사 전압은 8 kV 이상, 9 kV 이상, 10 kV 이상 또는 11 kV 이상일 수 있으며, 12 kV 이하, 11 kV 이하, 10 kV 이하 또는 9 kV 이하일 수 있다. 상기 방사 전압이 상기 범위를 벗어나 과도하게 떨어지거나 높을 경우 규칙적인 패턴이 구현되지 않을 수 있으며, 차폐물질의 분산력이 떨어질 수 있다. 일 실시예로서, 상기 방사 전압은 전기 방사 동안 동일하게 유지되는 것 일 수 있다.

[0050] 본 개시는 일 실시예로서 납을 대체할 수 있는 친환경 방사선 차폐물질로서 텅스텐을 포함한다. 상기 텅스텐은 원자번호가 74 이며, 납보다 높은 밀도 19.25 g/cm^{3}를 가지기 때문에 차폐체로 제조 시 두께를 줄이면서, 경량화를 달성할 수 있다. 본 개시는 이와 같은 텅스텐을 폴리우레탄과 혼합함으로써 방사선 차폐능과 가공성을 모두 확보할 수 있다.

[0051] 일 실시예로서, 상기 방사 용액에 포함된 상기 텅스텐 입자 및 폴리우레탄 입자의 중량비는 91.1~92.5: 7.5~8.9 일 수 있다. 구체적으로, 상기 텅스텐 입자는 텅스텐 입자 및 폴리우레탄 입자 100 중량부에 대하여 91.1 중량부 이상, 91.3 중량부 이상, 91.5 중량부 이상, 91.7 중량부 이상, 91.9 중량부 이상, 92.1 중량부 이상 또는 92.3 중량부 이상일 수 있으며, 92.5 중량부 이하, 92.3 중량부 이하, 92.1 중량부 이하, 91.9 중량부 이하 또는 91.7 중량부 이하일 수 있다. 상기 폴리우레탄 입자는 텅스텐 입자 및 폴리우레탄 입자 100 중량부에 대하여, 7.5 중량부 이상, 7.7 중량부 이상, 7.9 중량부 이상, 8.1 중량부 이상, 8.3 중량부 이상, 8.5 중량부 이상 또는 8.7 중량부 이상일 수 있으며, 8.9 중량부 이하, 8.7 중량부 이하, 8.5 중량부 이하, 8.3 중량부 이하, 8.1 중량부 이하, 7.9 중량부 이하 또는 7.7 중량부 이하일 수 있다. 상기 범위를 벗어나 텅스텐 함량이 과도하게 높아질 경우, 박막의 두께가 두꺼운 필름 형태로 제조될 수 있어 제조되는 차폐 페이퍼의 유연성과 경량

성이 저하되는 문제가 나타날 수 있다. 상기 범위를 벗어나 텅스텐 함량이 과도하게 낮아질 경우에는 텅스텐 분말의 함량과 분산성이 저하되므로 차폐 페이퍼의 방사선 차폐능이 낮아질 수 있다.

[0052] 일 실시예로서, 상기 텅스텐 입자의 평균 입자 크기는 3 내지 5 μm일 수 있다. 이때, 상기 입자 크기는 입자내 가장 큰 직경을 의미한다. 상기 평균 입자 크기는 방사선 차폐 페이퍼에 포함되는 적어도 90% 이상의 텅스텐 입자들의 크기의 평균을 의미한다. 구체적으로, 상기 텅스텐 입자들의 입자 크기의 평균은 방사선 차폐 페이퍼에 포함되는 적어도 90% 이상, 91% 이상, 92% 이상, 93% 이상, 94% 이상, 95% 이상, 96% 이상, 97% 이상, 98% 이상 또는 99% 이상의 입자들의 입자내 가장 큰 직경의 평균값을 의미할 수 있다. 보다 구체적으로 상기 텅스텐 입자들의 입자 크기의 평균은 3μm 이상, 3.2 μm 이상, 3.5μm 이상, 3.7 μm 이상, 4μm 이상, 4.2 μm 이상, 4.5 μm 이상, 4.7μm 이상 또는 4.9μm 이상일 수 있으며, 5 μm 이하, 4.7 μm 이하, 4.5 μm 이하, 4.3 μm 이하, 4 μm 이하, 3.7 μm 이하, 3.5 μm 이하 또는 3.2 μm 이하일 수 있다. 상기 입자 크기 범위를 벗어날 경우 방사선 차폐 성능이 낮아지거나, 가공성이 떨어질 수 있다.

[0053] 일 실시예로서, 상기 전기방사시 주사바늘, 즉 니들(needle) 사이즈는 20 내지 26 게이지일 수 있다. 구체적으로, 상기 니들 사이즈는 20 게이지 이상, 21 게이지 이상, 22 게이지 이상, 23 게이지 이상, 24 게이지 이상 또는 25 게이지 이상일 수 있으며, 26 게이지 이하, 25 게이지 이하, 24 게이지 이하, 23 게이지 이하, 22 게이지 이하 또는 21 게이지 이하일 수 있다. 상기 범위를 벗어날 경우 규칙적인 패턴 구현이 어려울 수 있다.

[0054] 일 실시예로서, 상기 방사 용액의 용매는 N-디메틸포름아마이드(N -dimethylformamide), 클로로포름(chloroform), 에틸에테르, 메틸이소부틸케톤, 메틸시클로헥사놀 및 트리클로로에틸렌 중 하나 이상을 포함할 수 있으나, 텅스텐과 폴리우레탄이 용해될 수 있으며 전기 방사가 가능한 것이라면 이에 제한되지 않고 모두 본 개시의 범위에 포함될 수 있다.

[0055] 일 실시예로서, 상기 라멜라 패턴 박막을 제조하는 단계는, 상술된 바와 같은 조건 하에서 전기방사시켜 일정 방향의 패턴 구조를 형성하며 박막을 제조하는 단계를 동일 박막 상에 1 내지 10회 더 반복하여 동일한 일정 방향의 패턴 구조가 적층된 라멜라 패턴 박막을 제조하는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 라멜라 패턴 박막 제조 단계는 상기 전기방사를 통해 패턴 구조를 형성하는 단계를 1회 이상, 2회 이상, 3 회 이상, 4 회 이상, 5 회 이상, 6 회 이상, 7 회 이상, 8 회 이상 또는 9 회 이상이며 10 회 이하, 9 회 이하, 8 회 이하, 7 회 이하, 6 회 이하, 5 회 이하, 4 회 이하, 3 회 이하 또는 2 회 이하 반복하는 것을 포함할 수 있다. 본 개시의 일 실시예는 상기와 같은 일정 방향의 패턴 구조를 반복 형성하는 단계를 통하여 초경량이면서도 높은 분산성으로 우수한 방사능 차폐능을 제공할 수 있는 차폐 페이퍼를 제공할 수 있다.

[0056] 일 실시예로서, 상기 전기방사시켜 일정 방향의 패턴 구조를 형성하며 박막을 제조하는 단계는, 전기 방사 후 박막의 후처리 단계로서 30 내지 50℃에서 2500 내지 3500 psi의 열프레스 공정을 더 포함하는 것일 수 있다. 일 실시예에 따라 열 프레스 공정을 더 포함할 경우 박막내 재료들간의 혼화성을 향상시켜 나노섬유내 텅스텐 입자를 안정적으로 고정시킬 수 있으며, 박막을 원하는 최종 두께로 압착할 수 있다. 구체적으로, 상기 열처리 온도는 제한되지 않으나, 30℃ 이상, 35℃ 이상, 40℃ 이상 또는 45℃이상일 수 있으며, 50℃ 이하, 45℃ 이하, 40℃ 이하 또는 35℃ 이하일 수 있다. 구체적으로, 상기 열프레스 압력은 제한되지 않으나, 2500 psi 이상, 2600 psi 이상, 2700 psi 이상, 2800 psi 이상, 2900 psi 이상, 3000 psi 이상, 3100 psi 이상, 3200 psi 이상, 3300 psi 이상 또는 3400 psi 이상일 수 있으며, 3500 psi 이하, 3400 psi 이하, 3300 psi 이하, 3200 psi 이하, 3100 psi 이하, 3000 psi 이하, 2900 psi 이하, 2800 psi 이하, 2700 psi 이하 또는 2600 psi 이하일 수 있다.

[0057] 일 실시예로서, 상기 라멜라 패턴 박막의 두께는 0.1 내지 1mm일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 상기 라멜라 패턴 박막의 두께는 0.1 내지 0.5mm일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 구체적으로, 상기 두께는 0.1 ㎜ 이상, 0.2 ㎜ 이상, 0.3 ㎜ 이상, 0.4 ㎜ 이상, 0.5 ㎜ 이상, 0.6 ㎜ 이상, 0.7 ㎜ 이상, 0.8 ㎜ 이상 또는 0.9 ㎜ 이상일 수 있으며, 1㎜ 이하, 0.9 ㎜ 이하, 0.8 ㎜ 이하, 0.7 ㎜ 이하, 0.6 ㎜ 이하, 0.5 ㎜ 이하, 0.4 ㎜ 이하, 0.4 ㎜ 이하, 0.3 ㎜ 이하, 0.2 ㎜ 이하, 0.1 ㎜ 이하 또는 0.05 ㎜ 이하일 수 있다. 상기 라멜라 패턴 박막의 두께가 너무 두꺼울 경우 페이퍼의 유연성과 경량성이 저하될 수 있으며, 두께가 너무 얇을 경우 방사선 차폐율이 저하될 수 있다.

[0058] 본 개시의 일 실시예는 상기 라멜라 패턴 박막을 1개, 2개, 3개, 4개 또는 5개 더 제조하는 단계; 및 상기 제조된 라멜라 패턴 박막들을 적층하는 단계;를 더 포함할 수 있으며, 이에 따라 박막을 적층할 경우 보다 높은 방사선 차폐능을 제공할 수 있다.

[0059] 본 개시의 일 실시예는 상술된 제조방법에 의해 제조된 방사선 차폐 페이퍼 및 이를 포함하는 방사선 차폐 섬유를 제공할 수 있다.

[0060] 본 개시의 일 실시예는 두께를 최대한 얇게 구현하면서도 다층 박막의 구조를 통해 입자 방사선의 상호작용을 유도하여 차폐성능을 높인 박막의 의료방사선 차폐페이퍼를 제공할 수 있다. 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐 페이퍼는 얇은 두께로 인해 적층으로 사용할 수 있다. 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐 페이퍼는 대량생산이 가능하여, 의료기관의 종사자의 방사선 차폐는 물론 방사선 차폐체 중량의 감소 및 의료 활동성을 개선할 수 있다.

[0061] 의료기관에서 사용되는 X-레이의 경우 낮은 회전율과 높은 직진성으로 인해 본 개시와 같은 모르포 나비 날개 구조와 같은 박막 다층구조로 차폐체로 차폐할 시 차폐체의 내부 구조로 인해 광자의 충돌 단위 단면적을 넓힐 수 있어 차폐효과가 상승할 것으로 기대할 수 있다. 따라서 본 개시의 일 실시예들에 따르면 고분자와 텅스텐 입자를 포함한 방사용액을 고전압 파워 서플라이로 전압을 조절하여 전기 방사 공정을 적용하여 일정 방향으로 텅스텐 입자가 배열되도록 나노섬유를 제조함으로써 동일한 패턴의 구현이 가능하므로, 텅스텐의 방사선 차폐성능을 향상시키는 구조적 분산을 구현할 수 있다. 이로써 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐 페이퍼는 기존 차폐 섬유에 비해 두께가 훨씬 얇고, 감소된 중량을 나타낼 수 있다. 또한 기존 섬유에 텅스텐 액상을 코팅한 차폐 섬유의 경우 섬유를 접어서 장기간 보관할 시 코팅층에 균열이 일어나는 문제가 있었던 것과 달리, 본 개시의 일 실시예들에 따르면 코팅 방식에 의한 것이 아니며 초박막으로 제조되므로, 장기간 접어서 보관하여도 표면에 균열이 나타나지 않는다.

[0062] 본 개시의 일 실시예는 상술된 방사선 차폐 페이퍼를 포함하는 방사선 차폐복(방사선 차폐 의류), 방사선 차폐 커텐, 방호벽 등을 제공할 수 있다. 예를 들어, 상기 방사선 차폐복은 의료용일 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 일 실시예로서, 상기 의료용 방사선 차폐복의 방사선 차폐 페이퍼의 두께는 0.3㎜ 이하의 박막일 수 있다. 의료 시술 시 사용하는 방사선 차폐복은 주로 환자나 의료진을 보호하기 위한 것이지만, 의료 시술에 방해가 되지 않도록 차폐 두께를 조절해야 한다. 이를 위해서는 섬유 소재로 만들어진 얇고 유연한 차폐복이 필요하다. 본 개시의 일 실시예데 따른 차폐 페이퍼의 다층구조는 전기방사를 통한 나노섬유로 모르포 나비 날개 구조를 구현하여 텅스텐 입자가 매우 조밀하게 분산되어 있다. 따라서, 상기 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐 페이퍼는 두께가 0.1㎜ 경우 60 keV 기준에서 차폐율이 약 60 내지 70%이며, 이를 적층하여 두께가 0.3㎜일 경우에는 90%이상의 차폐율을 나타낼 수 있다. 이는 납당량 0.296㎜Pb에 상응하는 것으로, 무연(lead-free) 페이퍼임에도 납과 거의 동일한 성능을 나타냄을 의미한다. 이는 본 개시의 일 실시예들이 차폐재료 입자의 규칙적인 배열을 통한 조밀한 분산으로 방사선과 상호작용이 이루어지도록 하여 X-레이 광자 입사에너지의 강도를 감쇠시켰기 때문이다.

[0063] 의료기관의 방사선 차폐는 환자와 의료인 피폭의 안전성을 확보하는 것 우선시 되어야 하지만, 기존의 차폐체는 중량으로 인해 사용자의 활동에 어려움이 있다. 따라서, 경량과 친환경의 조건을 동시에 만족하는 제품의 개발이 필요하다. 동일한 차폐성능을 유지하면서 차폐물질의 밀도를 높이는 다양한 시도가 이루어지고 있다. 물리적으로 차폐물질의 원자번호가 높아야 하기 때문에 질량의 한계를 벗어나기는 어렵지만, 본 개시의 일 실시예들은 입자의 분산기술과 제조 공정을 통해 두께조절를 조절하여 중량감을 해소할 수 있다. 본 개시에서는 입자 방사선의 충돌면적을 최대한 넓히는 차폐물질 분산기술을 제공할 수 있다. 분산된 차폐물질 입자가 방사선 광자와 충돌되거나 차폐체의 밀도가 높아 투과에너지의 감약이 이루어질 경우, 입사 에너지의 강도는 감쇠되며, 두 경우 모두 동일한 차폐효과를 예측할 수 있다. 본 개시의 일 실시예에 따르면 모르포 나비 날개의 패턴과 같이 차폐체 내의 텅스텐 입자의 분산을 유익하게 구현하면서 종래 제조방법보다 개선된 차폐효과를 제공할 수 있다. 이는 기존 차폐물질과 혼합된 고분자 복합물질이 고분자 물질간의 뭉침현상과 차폐물질간의 결집으로 인해 두께 조절의 한계가 있었던 문제를 개선한 것이다.

[0064] 본 개시의 일 실시예들은 현재 에이프런 제조의 일반적인 공정기술인 납당량 기준으로 0.25 ㎜의 시트로 제작할 경우 차폐물질의 함유량을 80-85 wt% 정도로 재현하고 있다. 기존에는 차폐물질의 함유량과 차폐시트 무게는 비례관계로 이해되어 차폐 물질을 상기 함량 이상으로 함유할 경우 인장강도의 문제가 발생되어 두께를 0.3~0.5㎜ 사이로 제조하고 무게는 2.80 ~ 2.914 kg/m^2 였다. 또한, 기존 시트 제조방법은 고분자 물질과 차폐물질의 교반 상태에서 불균일하게 입자가 배열되기 때문에 규칙적인 분산이 어려웠다. 그러나, 본 개시의 일 실시예들에 따라 제조되는 차폐 페이퍼의 1장에 대한 무게는 0.641 kg/m^2 이며, 최대 3장의 적층구조를 제시하면 1.923 kg/m^2 이다. 차폐 페이퍼를 $1m^2$의 크기로 제조하면 에이프런 1벌을 제작할 수 있으며, 무게는 2kg에 해당한다. 따라서

본 개시의 일 실시예에 따르면 기존의 무연시트보다 무게를 약 1kg을 감소시킬 수 있어 차폐복의 경량를 통해 사용자의 활동성을 보장할 수 있다.

[0065] 종래 차폐복의 두께를 얇게 하여 활동성을 구현하는 방법으로는 차폐물질 입자를 나노화하여 혼합하는 방법이 있지만, 이 경우 경제적인 비용문제와 공정과정에서 재료의 가공에 한계가 있어 대량생산에 어려움이 있다. 일부 밀도가 높은 고무 계열과 혼합하여 최대 90wt% 까지 혼입이 가능하나, 차폐물질 함량으로 인해 차폐체의 중량을 줄이는 데는 한계가 있다. 또한, 압착 공정기술을 적용하면 두께를 줄일 수 있지만 필름 형태로 제작되기 때문에 유연성에 문제가 있다. 따라서 차폐성능은 차폐체의 유연성, 인장강도, 중량감 등을 고려하여 대량생산 공정기술을 제공해야 한다. 그러나, 본 개시의 일 실시예에 따라 텅스텐 입자와 고분자 물질을 혼합한 상태에서 주사방식의 전기방사를 제공하여 대량의 주사기를 설치하여 배열한다면 동일한 효과를 얻을 수 있어 대량생산에 따른 재현성을 확보할 수 있다는 장점이 있다. 마이크로 입자로 충분히 제조할 수 있어 경제적인 면도 충분히 고려된다. 또한, 일 실시예로서 의료기관 차폐체로 사용할 경우 의료방사선 간접선(산란선)을 방어하기 위해 방사선 발생영역에서 1.5m 떨어진 거리에서 가벼운 차폐의복을 제작할 수 있으며, 수술용 장갑 등 적극적인 활동의 제안을 줄이는데 도움이 될 수 있다. 따라서 본 개시는 일 실시예로서 100 mSv 이하의 저 선량 방사선 차폐에 활용하는데 경량의 소재로 사용될 수 있으며, 효과적으로 의료인과 환자의 방사선 방어 효과를 나타낼 수 있다.

[0066] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 예시하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예들에 의해 제한되는 것으로 해석되지 않는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에 있어서 자명할 것이다.

[0067] [실시예 1]

[0068] 본 개시의 일 실시예에 따른 차폐 페이퍼를 아래의 방법에 따라 제조하였다.

[0069] 재료

[0070] 차폐물질은 파우더 상태의 텅스텐(tungsten, W, 99.9%, <4 μm, NanGong XinDun alloys spraying Co. Ltd., China)을 사용하였다. 텅스텐 파우더는 입자 크기 조절을 위해 5분간 파쇄 후 60℃ 오븐에서 24시간 건조하였다. 폴리우레탄(PU, P-7195A, Mw.100,000 ~ 150,000, Songwon, Korea)을 텅스텐과 동일한 조건에서 건조해 텅스텐과 함께 사용하였다. 고분자 용해를 위한 용매로 N-디메틸포름아마이드(DMF, 99.5%, Daejung, Korea)를 사용하였다. 폴리우레탄의 용해를 위한 DMF와 용매의 휘발 속도를 조절하기 위한 용매(poor solvent)로 클로로포름(95%, Duksan, Korea)을 사용하였다. 사용된 모든 용매는 특별한 전처리 없이 사용하였다.

[0071] 차폐 페이퍼의 제조

[0072] 전기방사를 위한 방사용액은 다음과 같이 제조하였다. 먼저, 20 mL 유리병에 텅스텐을 넣고, DMF 5.165 g과 클로로포름 2.785 g을 넣은 뒤 초음파 분쇄기로 1분간 분산 후 자석교반기(Laboratory stirrer/hot plate, PC-420, Corning, Mexico)로 600 rpm 속도로 혼합하였다. 추가로 폴리우레탄 2.05 g을 첨가하고 10분 뒤 속도를 220 rpm으로 감소시켜 12시간 이상 혼합하여 폴리우레탄을 완전히 용해시켰다(도 3).

[0073] 차폐물질의 분산력을 높이기 위해 전기방사는 고전압 파워 서플라이(CPS-60K02VIT, Chungpa EMT Co., South Korea)로 전압을 조절하여 10 kV를 유지하고, 실린지 펌프(syringe pump, KDS100, SD Scientific Inc., Holliston, USA)로 유량을 1.0 mL/h가 되도록 방사 속도를 조절하여 수행하였다. 이때 텅스텐의 입자 무게로 인해 주사기의 용량과 포집거리가 패턴형성에 영향을 주기 때문에 아래 표 1에 나타난 바와 같은 동일한 조건 하에서 반복 구현하였다. 구체적으로, 바늘과 수집판의 거리는 13 내지 15 cm, 습도 25 내지 40%, 온도는 22 내지 25℃의 조건 하에서 전기방사를 진행하였다. 방사량은 1 mL씩 1시간 간격으로 총 10 mL를 방사하였다.

표 1

[0074]

습도(%)	온도(℃)	전압(kV)	TCD(cm)	속도(mL/h)	시간(hr)	니들 사이즈(Gauge)
25 ~ 30	22 ~ 25	10	13~15	1.0	10	23

[0075] 제조된 박막은 온도 40℃, 압력 3,000 psi의 열 프레스(heating press, DHP-2, Dad Heung Science, South Korea)를 사용하여 10초간 3회 후처리 공정을 진행하였다. 이러한 제작방법을 총 5번 적용하여 최종 1장의 박막

차폐 페이퍼로 제조하였다.

[0076] [시험예 1]

[0077] 상기 실시예 1에서 제조된 박막 차폐 페이퍼의 내부의 분산정도를 분석하기 위해 광학현미경(FESEM ; Field emissions scanning electron microscope, S-4800, Hitachi, Japan)으로 관찰하였다. 성분 분석은 엑스선 형광 분석기(XRF, X-ray fluorescence, XRF-1800, Shimadzu, Japan)를 사용하여 분석하였다. 분석은 제작된 나노섬유 페이퍼를 50 mm × 50 mm 크기로 잘라 직경 3㎠의 원형 홀더(holder)에 고정시킨 후 진행하였으며, 추가적인 전처리를 하지 않고 분석하였다.

[0078] 도 5a 및 도 5b는 (a)모르포 나비 날개의 형태와 (b)실시예 1에서 상기 제조한 나노섬유 매트에 구현된 패턴을 촬영한 이미지이다. 도 5a 및 도 5b에서 확인할 수 있는 바와 같이, (a)의 나비 날개 구조와 (b)의 고분자 패턴 구조는 일치한 것으로 나타났다. 도 6a 및 도 6b는 실시예 1의 전자현미경 사진으로, 도 6a 에 나타난 바와 같은 모르포 나비 날개의 패턴이 도 6b의 실시예 1에 거의 유사하게 구현되어 있다. 상기 도 5a, 도 5b, 도 6a 및 도 6b의 결과부터 실시예 1과 동일한 방법으로 제조된 실시예 1 역시 모르포 나비 날개과 유사한 패턴이 구현되어 있을 것임을 알 수 있다.

[0079] 도 7a은 실시예 1에서 제조된 박막 차폐 페이퍼의 XRF 결과를 나타낸 것으로, 실시예 1에는 텅스텐 분말 총 중량 기준 순수 텅스텐이 99.9 중량% 포함된 것으로 나타났다. 도 7b는 실시예 1에서 제조된 박막 차폐 페이퍼의 SEM 결과를 나타낸 것으로, SEM 이미지를 이용해 134개의 텅스텐 입자 크기를 확인하였으며, 가장 큰 입자의 사이즈는 12.636 μm로 측정되었다. 측정된 입자 크기는 평균 3.946 μm였으며, 대부분 4.0 μm 이하의 입자를 가지는 것으로 확인되었다.

[0080] 도 8a 및 도 8b는 실시예 1에서 제조된 박막 차폐 페이퍼의 외관을 촬영한 결과를 나타낸 것으로, 두께가 0.10mm로 얇게 구현되었으며, 도 8a에 나타난 바와 같이 유연성을 가짐을 확인할 수 있다. 텅스텐의 함량은 차폐 페이퍼 총 중량에 대하여 79.94 중량%로 확인되었다. 실시예 1의 물리적 특징은 표 2와 같다.

표 2

[0081]

중량 (kg/m^2)	텅스텐 중량(kg/m^2)	두께 (mm)	밀도 (g/cm^3)	인장계수(MPa)
0.641±0.003	0.401±0.002	0.100±0.003	2.063±0.000	90±0.5

[0082] 나노섬유는 패턴이 복잡해질수록 일반적으로 나노섬유 유실량이 증가하여 원하는 형태의 패턴을 유지하기 어렵지만, 본 개시에 따른 실시예 1은 텅스텐 금속입자의 무게감으로 방사거리를 조절하여 구현하였다. 따라서 도 9a 및 도 9b와 같이 텅스텐 입자의 무게로 인해 나노섬유에 함유하고 있으나 텅스텐 입자가 섬유 표면 끝에 붙어있어 다층의 형태로 보여주고 있음을 확인하였다. 도 9a 및 도 9b 에서는 최종 공정에서 열 압착처리를 통해 텅스텐 입자의 위치를 고정함에 따라 전체적으로 나노섬유와 텅스텐의 혼화성이 높아져 분산이 균일하게 이루어진 것을 확인할 수 있다. 따라서 나노섬유 패턴내에 텅스텐 입자가 다층구조로 구성되어 있는 것을 알 수 있고, 0.1mm 두께 내에서 안정되게 위치한 것을 확인할 수 있다. 밀도는 2.463 g/cm^3 로 높게 나타났으며, 차폐 페이퍼의 무게 분석에서는 0.641 kg/m^2 으로 나타났다.

[0083] [시험예 2]

[0084] 상기 실시예 1에서 제조된 박막 차폐 페이퍼의 차폐성능평가는 도 10과 같은 기하학적 조건으로 설정하여 수행되었다. 본 실험에서 사용된 의료방사선을 단일에너지인 실효에너지로 변화하기 위해 반가층 측정은 수학식 6에 따른 감쇠계수 법칙에서 기울기를 산출하여 이 기울기로부터 선 흡수계수 μ값을 얻은 후 반가층=0.693/μ으로부터 계산할 수 있었다.

[0085] [수학식 6]

[0086] $I=I_0e^{-\mu x}$

[0087] 실효 에너지 계산은 앞에서 구한 반가층으로부터 단일에너지에 해당하는 반가층과 같은 값을 갖는 실효 에너지를 산출하기 위하여 허벨(Hubbell)의 질량흡수계수표를 이용하였다. 차폐 페이퍼의 차폐율 계산은 $(1-W/W_0)\times 100$으로 하였다. 이때 W는 X-레이 튜브와 선량계(Dosemeter) 사이에 박막차폐 페이퍼가 있을 경우에 측정한 선

량이며, W_0는 X-레이 튜브와 선량계(Dosemeter) 사이에 박막차폐 페이퍼가 없을 경우에 측정한 조사 선량 값으로 산정하였다.

[0088] 위와 같은 조건 하에 X-선 발생장치(Tosiba E7239, 150kV-500mA, 1999, Japan)를 이용하여 10회 측정한 후 평균값을 적용하였다. 선량 검출기는 이온 챔버(Ion Chamber; Model PM-30, 2019, USA)로, 이때 전리조 선량계의 정확한 조사선량 측정을 위한 온도, 기압에 대한 보정계수는 실험실 온도 22℃, 1기압 상태에서 1.0을 확인하였고 검정 및 교정 후 사용하였다. X선 발생장치와 차폐체의 거리는 1500mm였으며, 차폐체와 Detector의 거리는 700mm 였다.

[0089] 먼저, 비교예로서 납 0.25 mm와 차폐성능을 비교 분석하였다. 납 0.25 mm의 박막페이퍼는 1장에서부터 3장까지 적층하여 차폐성능을 비교 분석하였으며, 또한 X-ray를 이용하여 팬텀 핸드(hand) 영상을 통해 시각적으로 확인하였다. 납을 기준으로 평가하기 위해 표준납(순도 99.9%)을 기준으로 0.1~0.3 mm의 차폐 성능을 표 3과 같이 평가하였으며, 저에너지 방사선 영역에서는 0.3mmPb의 경우 99%이상의 높은 차폐력을 보이고 있음을 알 수 있다.

표 3

[0090] 표준 납 플레이트의 차폐성능 평가

mmPb	유효 X-레이 에너지	29.2keV		34.5keV		52.8keV		60.3keV	
	투과선량	차폐 없음	납	차폐 없음	납	차폐 없음	납	차폐 없음	납
0.1	투과선량 (mSv)	0.312	0.009	0.854	0.081	1.117	0.136	1.583	0.258
	차폐율(%)	97.12		90.52		87.82		83.70	
0.2	투과선량 (mSv)	0.312	0.002	0.854	0.043	1.117	0.085	1.583	0.167
	차폐율(%)	99.36		94.96		92.39		89.45	
0.3	투과선량 (mSv)	0.312	0.001	0.854	0.028	1.117	0.059	1.583	0.124
	차폐율(%)	99.68		96.72		94.72		91.17	

[0091] 의료기관에서 X-레이 차폐에 사용되는 에이프런(Apron)의 납당량 기준이 0.25mmPb를 감안하여 본 개시에서 제조한 상기 실시예 1의 차폐 페이퍼의 차폐성능을 0.25mm 납 플레이트와 표 4와 같이 비교하였다. 이 때 실시예 1의 차폐 페이퍼는 3장을 적층하여 사용하였으며, 그 두께는 0.3mm 였다. 표 5는 실시예 1의 차폐 페이퍼를 1장, 2장 또는 3장으로 적층하여 두께별 차폐 성능을 비교 평가하여 나타낸 것이다.

표 4

[0092]

방사능 유형	유효 X-레이 에너지 (keV)	노출 평균값(mSv)			차폐율(%)	
		차폐없음	0.25mmPb	박막 페이퍼 (3장;0.3mm)	0.25mmPb	박막 페이퍼 (3장;0.3mm)
X-레이	29.2	0.312	0.002	0.008	99.36	97.40
	34.5	0.854	0.039	0.036	95.43	95.80
	52.8	1.212	0.082	0.086	93.23	92.30
	60.3	1.583	0.156	0.157	90.15	90.10

표 5

[0093]

두께 (mm)	유효 X-레이 에너지	29.2keV		34.5keV		52.8keV		60.3keV	
		Non	Sp	Non	Sp	Non	Sp	Non	Sp
0.1	투과선량 (mSv)	0.312	0.065	0.854	0.238	1.117	0.368	1.583	0.556
	차폐율(%)	79.01		72.13		67.05		64.88	
	납 당량	-	0.081	-	0.080	-	0.076	-	0.078
0.2	투과선량 (mSv)	0.312	0.028	0.854	0.115	1.117	0.231	1.583	0.437
	차폐율(%)	91.02		86.50		79.30		72.40	
	납 당량	-	0.183	-	0.182	-	0.172	-	0.162

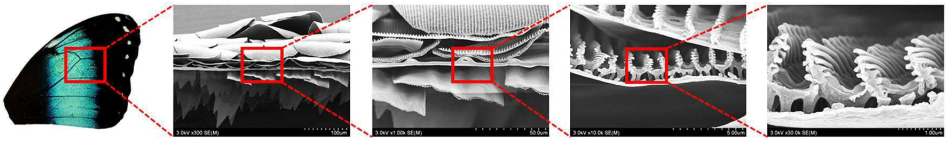
0.3	투과선량 (mSv)	0.312	0.008	0.854	0.036	1.117	0.086	1.583	0.157
	차폐율(%)	97.40		95.80		92.30		90.10	
	납 당량	-	0.293	-	0.297	-	0.292	-	0.296

[0094] 그 결과, 표 4에 나타난 바와 같이 본 개시의 실시예 1은 모든 영역대에서 0.25㎜ 납 플레이트보다 2% 차이를 보여 더 가벼운 무게를 가짐에도 우수한 차폐성능을 가짐을 확인할 수 있다. 또한, 표 5에 나타난 바와 같이 실시예 1은 박막페이터 3장의 0.3㎜일때 납당량 0.296㎜Pb의 차폐성능을 보였다. 적층구조일수록 안정된 납당량을 보이고 있고 차폐성능 재현성에 문제가 없음을 알 수 있다.

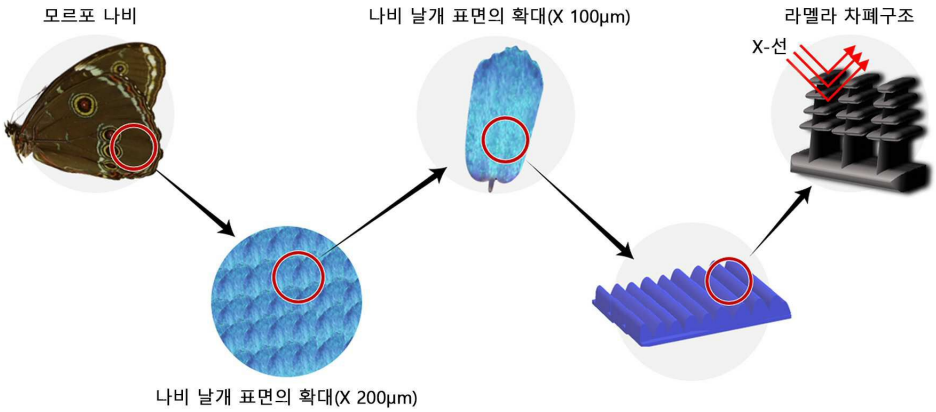
[0095] 도 11a 내지 도 11e는 차폐효과를 시각적으로 차폐효과를 검증하기 위해 인체 성분과 동일한 흡수계수를 가진 펜텀 핸드(Hand)를 이용하여 0.25㎜ 납 플레이트와 실시예 1의 밀도를 영상 비교한 결과를 나타낸 것이다. 도 11a 내지 도 11e에 나타난 바와 같이 실시예 1를 3장 적층한 차폐 페이퍼는 0.25㎜ 납 플레이트와 유사한 차폐 이미지를 보이고 있어 의료기관의 차폐체로 사용이 가능함을 확인할 수 있다.

도면

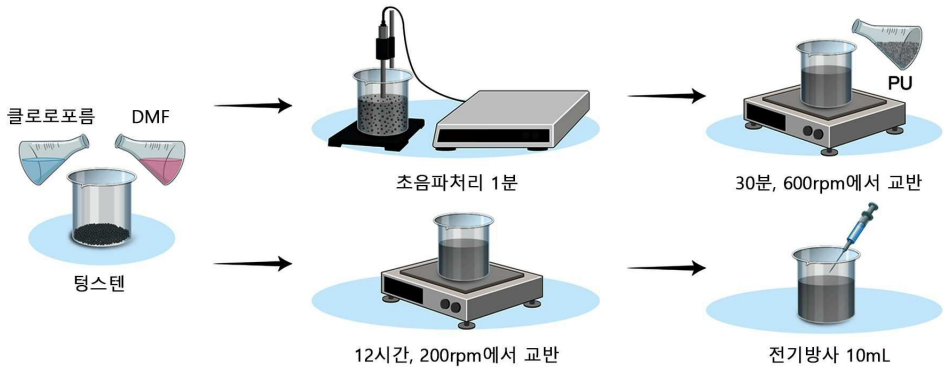
도면1



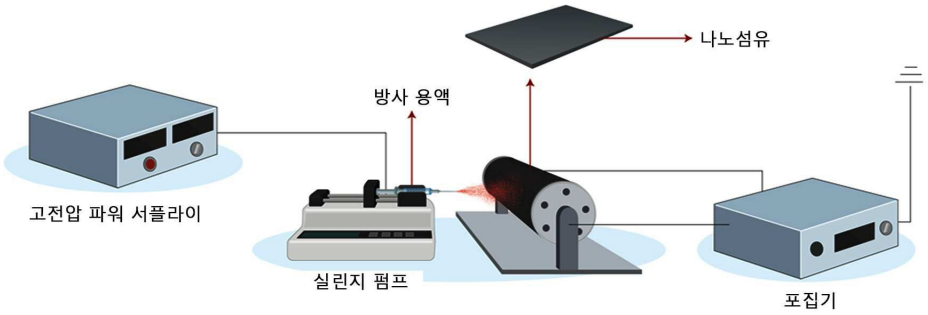
도면2



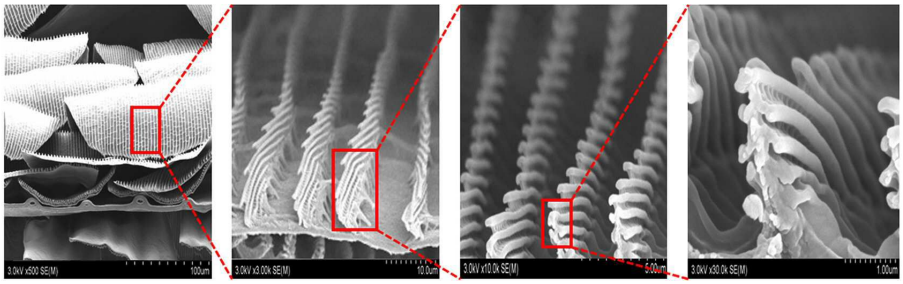
도면3



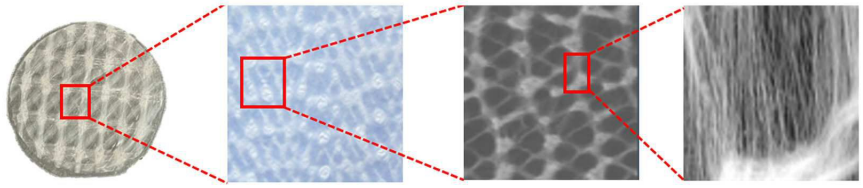
도면4



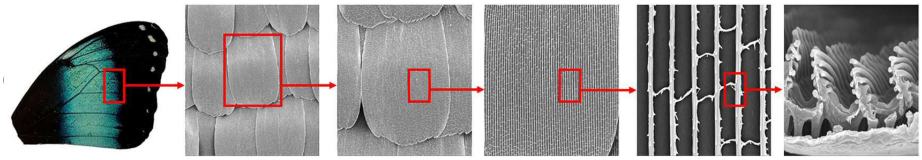
도면5a



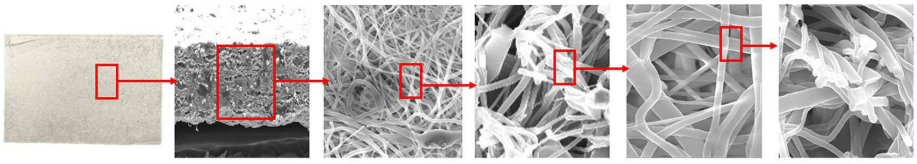
도면5b



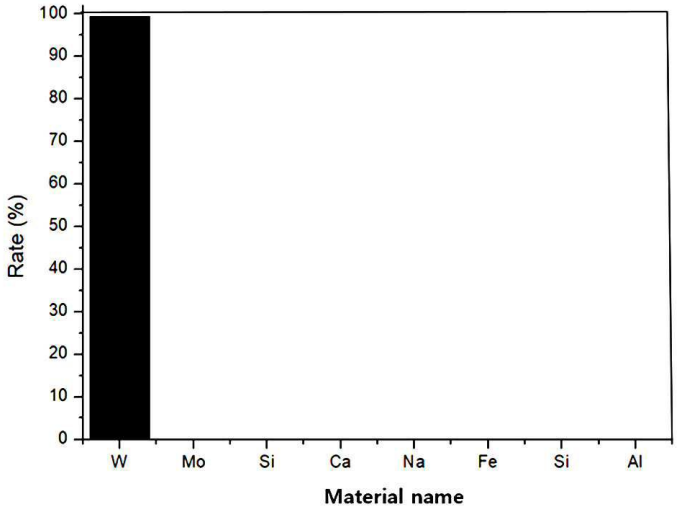
도면6a



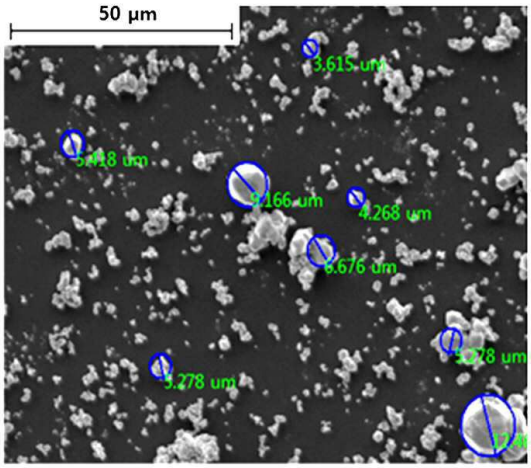
도면6b



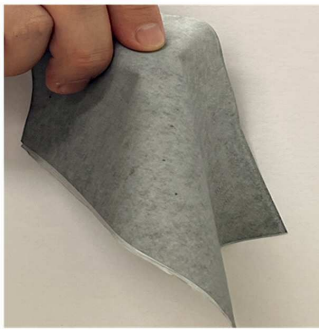
도면7a



도면7b



도면8a



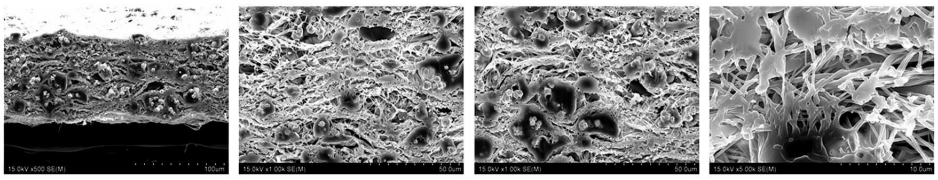
도면8b



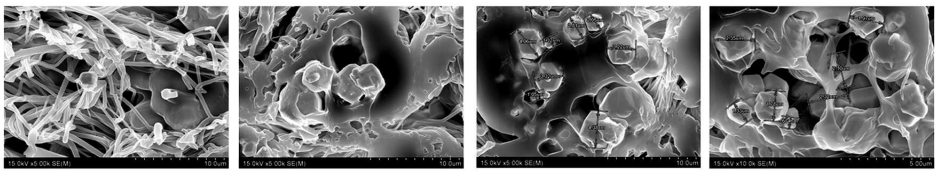
도면8c



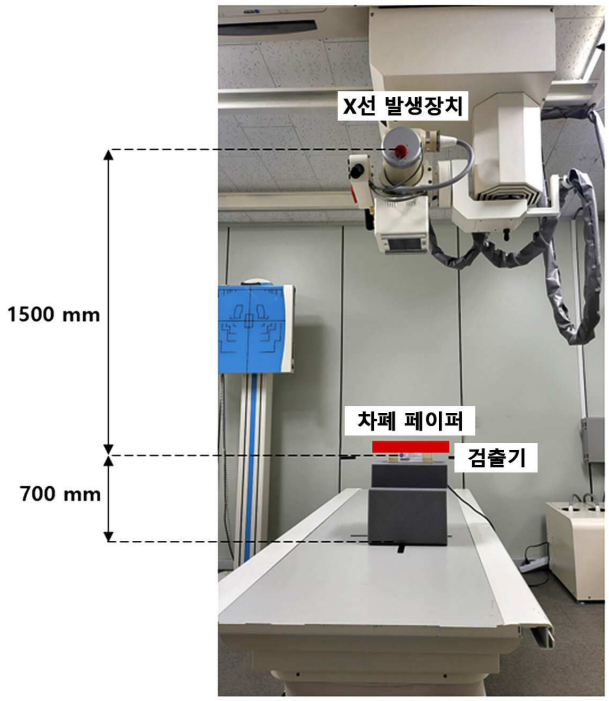
도면9a



도면9b



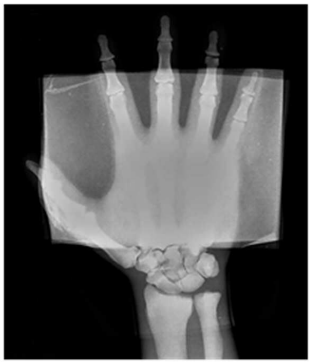
도면10



도면11a



도면11b



도면11c



도면11d



도면11e

