

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2023-0072359
(43) 공개일자 2023년05월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21F 1/08 (2006.01) G21F 3/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21F 1/085 (2013.01)
G21F 3/02 (2019.02)
(21) 출원번호 10-2022-0000528
(22) 출원일자 2022년01월03일
심사청구일자 2022년01월03일
(30) 우선권주장
1020210158399 2021년11월17일 대한민국(KR)

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

전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 방사선 차폐 섬유 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 명세서는 텅스텐 분말을 사용한 방사선 차폐 섬유 및 이의 방사선 차폐 섬유의 제조방법에 관한 것으로, 납을 대체하는 친환경 방사선 차폐재인 텅스텐 입자를 베이스 섬유에 직접적으로 균일하게 분사 및 코팅시킴으로써 유연성과 방사선 차폐율이 모두 우수하여, 의료기관용 방사선 차폐복의 방사선 차폐섬유를 필요로 하는 다양한 분야에 용이하게 사용할 수 있다.

대표도 - 도9



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345343774
과제번호	2020R1I1A3070451
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축(R&D)
연구과제명	박막 의료방사선 차폐재 개발을 위한 하이브리드 분산 기술개발 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	계명대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

베이스(base) 섬유; 및

상기 베이스 섬유의 일면에 코팅된 방사선 차폐재 코팅층;

을 포함하고,

상기 방사선 차폐재 코팅층은 텅스텐 분말, 및 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 혼합물로 이루어진, 방사선 차폐 섬유.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 방사선 차폐재 코팅층에서 상기 텅스텐 분말과 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 중량비는 90 내지 99: 1 내지 10인, 방사선 차폐 섬유.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 방사선 차폐재 코팅층의 두께는 0.1 내지 0.3mm인, 방사선 차폐 섬유.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 방사선 차폐 섬유의 두께는 0.5 내지 2mm인, 방사선 차폐 섬유.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 베이스 섬유는 실리카 및 아라미드 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는, 방사선 차폐 섬유.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 방사선 차폐재 코팅층은 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 용융물에 텅스텐 분말이 분산 및 혼합된 혼합물의 고형물인, 방사선 차폐 섬유.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 방사선 차폐 섬유의 x-선 차폐율은 40 내지 120kVp의 관전압 범위에서 측정시 70 내지 95%인, 방사선 차폐 섬유.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 방사선 차폐 섬유를 포함하는 방사선 차폐복.

청구항 9

제1항 내지 제7항의 방사선 차폐 섬유의 제조방법으로,

300 내지 1700℃의 고온의 가스를 베이스 섬유에 가하는 단계; 및

상기 고온의 가스가 베이스 섬유에 도달하기 전, 고온의 가스 이동 경로 중 베이스 섬유로부터 10 내지 1000mm 떨어진 위치에 텅스텐 분말 및 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물 분말을 포함하는 방사선 차폐재를 주입하여, 상기 고온의 가스에 의해 방사선 차폐재를 베이스 섬유에 분산 및 코팅시키는 단계;

를 포함하는, 방사선 차폐 섬유의 제조방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 방사선 차폐재를 베이스 섬유에 분산 및 코팅시키는 단계에서, 상기 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물 입자는 고온의 가스에 의해 용융된 상태에서 텅스텐 분말 입자와 함께 베이스 섬유에 코팅되는 것인, 방사선 차폐 섬유의 제조방법.

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 방사선 차폐재를 베이스 섬유에 분산 및 코팅시키는 단계는 플라즈마 용사 코팅법에 의한 것인, 방사선 차폐 섬유의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 명세서는 방사선 차폐 섬유 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 납은 주로 의료기관의 방사선 차폐물 제조에 사용된다. 납은 X선 차폐 성능이 우수하고 가공성 및 경제성이 우수하여 의료기관에서 다양한 형태로 널리 사용되고 있다. 그러나 납 사용이 증가하면 의료진과 환자가 납에 더 많이 노출되기 때문에 납 중독의 위험이 있으며, 납의 폐기는 환경 문제와도 관련이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 텅스텐, 비스무트, 황산바륨, 안티몬 등의 다양한 친환경 차폐재와 무기물을 혼합한 재료가 방사선 차폐물로 사용되고 있다.

[0003] 의료기관은 일반적으로 방사선 차폐를 위한 차폐복(shielding suit)을 필요로 하는데, 사용자의 활동을 용이하게 하기 위하여는 경량성과 유연성이 필요하다. 즉, 차폐복의 차폐 섬유는 의료진의 활동을 방해하지 않는 충분한 유연성을 가져야 한다. 그러나 차폐복의 유연성은 차폐 성능과 직접적인 관련된다. 예를 들어, 유연성을 향상시키려면 차폐복의 제조시 사용되는 고분자 재료의 함량을 늘려야 하는데, 이는 차폐재 내의 입자 구조의 밀도를 감소시켜 차폐 성능을 저하시킨다. 반대로 고분자 재료의 함량을 줄이면 차폐 소재 사이의 결합력이 떨어지고, 얇은 차폐 시트를 사용할 경우 크랙이 나타날 수 있다. 따라서 의료기관에서 사용하는 차폐 섬유는 일정한 두께, 유연성, 인장강도를 가져야 하며 납과 유사한 차폐 성능을 발휘할 수 있는 복잡한 요건을 만족해야 한다. 이상적인 방법은 차폐재만을 단독으로 처리하고 사용하는 것이나, 소재에 따라 가공성이 제한되어 원하는 형태로 소재를 제조하기 어렵다는 문제가 있다.

[0004] 현재 의료기관에서 사용하는 방사선 차폐복은 주로 납분말과 고무 등의 고분자 재료를 혼합하여 제조한다. 대부분의 이러한 보호복의 차폐 성능은 납 분말 함량에 따라 달라진다. 고분자 재료와 차폐재가 혼합된 차폐 시트를 대량 생산할 때 공정 기술, 혼합 조건, 차폐재의 혼합량 등 다양한 변수가 생산 공정에 관여한다. 이에 따라 차폐 시트는 소량 주문으로 생산된다. 따라서 차폐 섬유에 사용되는 공정 기술에 따른 차폐 성능의 재현성을 연구하는 것은 상당히 중요하다. 차폐 성능은 단순히 추가된 차폐 재료의 양으로 결정할 수 없다. 밀도 및 다공성과 같은 많은 요소가 차폐 성능에 영향을 미친다. 따라서 적절한 차폐섬유를 제조하기 위해서는 앞서 언급한 다양한 조건을 만족시킬 수 있는 새로운 제조 공정 기술의 개발이 필요하다. 방사선 차폐섬유의 대량생산시에는 동일한 면적에 동일한 양의 차폐재를 주입하는 기술이 차폐 성능의 재현성을 결정한다. 그러나 공정 기술에 사용되는 기본 재료, 첨가제 등 다양한 부가 조건의 영향으로 인해 차폐 성능과 차폐재 사이의 정비례 관계는 얻기 어렵다. 또한, 고분자 물질에 텅스텐 분말을 혼합하여 교반한 후 베이스(base) 섬유로 사용되는 부직포에 액상 상태로 배합된 물질을 코팅하는 방법이 개발되었으나, 이 방법은 텅스텐 입자와 고분자 물질의 혼합시 물질 구성과 밀도가 균등하게 교반된다 하더라도, 이후 코팅과정에서 텅스텐 입자의 분산이 고르게 이루어지지 않는다는 문제가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 일 관점에서, 본 개시가 해결하고자 하는 과제는 납과 유사한 방사선 차폐 성능을 지닌 친환경 차폐재를 포함하면서도 유연성이 우수한 방사선 차폐 섬유를 제공하는 것이다.

[0006] 일 관점에서, 본 개시가 해결하고자 하는 과제는 상기 방사선 차폐 섬유의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 개시의 일 실시예는,
- [0008] 베이스(base) 섬유; 및 상기 베이스 섬유의 일면에 코팅된 방사선 차폐재 코팅층을 포함하고,
- [0009] 상기 방사선 차폐재 코팅층은 텅스텐 분말, 및 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 혼합물로 이루어진,
- [0010] 방사선 차폐 섬유를 제공한다.
- [0011] 본 개시의 다른 일 실시예는, 상기 방사선 차폐 섬유를 포함하는 방사선 차폐복을 제공한다.
- [0012] 본 개시의 다른 일 실시예는, 상기 방사선 차폐 섬유의 제조방법으로,
- [0013] 300 내지 1700℃의 고온의 가스를 베이스 섬유에 가하는 단계; 및
- [0014] 상기 고온의 가스가 베이스 섬유에 도달하기 전, 고온의 가스 이동 경로 중 베이스 섬유로부터 10 내지 1000mm 떨어진 위치에 텅스텐 분말 및 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물 분말을 포함하는 방사선 차폐재를 투입하여, 상기 고온의 가스에 의해 방사선 차폐재를 베이스 섬유에 분산 및 코팅시키는 단계;
- [0015] 를 포함하는, 방사선 차폐 섬유의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0016] 본 개시의 일 실시예들은 납을 대체하는 친환경 방사선 차폐재인 텅스텐 입자를 베이스 섬유에 직접적으로 균일하게 분사 및 코팅시킴으로써 유연성과 방사선 차폐율이 모두 우수한 방사선 차폐 섬유를 제공할 수 있다. 본 개시의 일 실시예는 상기 코팅 방법을 통하여 텅스텐의 가공성, 차폐 성능의 재현성과 양산 자동화 공정을 확보할 수 있어, 의료기관용 방사선 차폐복뿐만 아니라 방사선 차폐섬유를 필요로 하는 다양한 분야에 용이하게 사용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 파라-아라미드 이중 직조 원사로서, (a) 파라-아라미드 원사(ALKEX®), (b) 200데니어 파라-아라미드 원사(표면), (c) 400데니어 파라-아라미드 원사(후면)를 나타낸 도이다.
- 도 2는 파라-아라미드 원사의 SEM 이미지로, (a) 직물 표면에 사용된 200 데니어 파라 아라미드 원사의 500배 및 2000배 확대 이미지 및 (b) 400 데니어 파라 아라미드의 500배 및 2000배 확대 이미지 원단 뒷면에 사용되는 실을 나타낸 도이다.
- 도 3은 플라즈마 용사 방법의 개략도를 나타낸 도이다.
- 도 4는 텅스텐 분말의 이미지이다.
- 도 5는 플라즈마 용사 공정에 사용되는 장비 및 제어 장치를 나타낸 도이다.
- 도 6은 차폐 성능 테스트의 개략도를 나타낸 도이다.
- 도 7은 파라-아라미드 직물로, (a) 직물 표면의 100X 확대 이미지, (b) 직물 뒷면의 100X 확대 이미지, (c) 직물 단면의 150 및 2000X 확대 이미지를 나타낸 도이다.
- 도 8은 텅스텐 코팅된 차폐 직물로, (a) 직물 표면 확대 이미지, (b) 확대 표면 이미지에서 텅스텐 입자 분포, (c) 직물 확대 단면 이미지를 나타낸 도이다.
- 도 9는 완성된 텅스텐 코팅 차폐 섬유의 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.
- [0019] 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.

- [0020] 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.
- [0021] 본 개시의 일 실시예는 베이스(base) 섬유; 및 상기 베이스 섬유의 일면에 코팅된 방사선 차폐재 코팅층;을 포함하고, 상기 방사선 차폐재 코팅층은 텅스텐 분말, 및 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 혼합물로 이루어진, 방사선 차폐 섬유를 제공할 수 있다.
- [0022] 또한, 본 개시의 일 실시예는 상기 방사선 차폐 섬유의 제조방법으로,
- [0023] 300 내지 1700℃의 고온의 가스를 베이스 섬유에 가하는 단계; 및
- [0024] 상기 고온의 가스가 베이스 섬유에 도달하기 전, 고온의 가스 이동 경로 중 베이스 섬유로부터 10 내지 1000mm 떨어진 위치에 텅스텐 분말 및 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물 분말을 포함하는 방사선 차폐재를 주입하여, 상기 고온의 가스에 의해 방사선 차폐재를 베이스 섬유에 분산 및 코팅시키는 단계;
- [0025] 를 포함하는, 방사선 차폐 섬유의 제조방법을 제공할 수 있다.
- [0026] 일 실시예로서, 상기 방사선 차폐재를 베이스 섬유에 분산 및 코팅시키는 단계에서, 상기 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물 입자는 고온의 가스에 의해 용융된 상태에서 텅스텐 분말 입자와 함께 베이스 섬유에 코팅되는 것일 수 있다. 상기 관점에서, 일 실시예에 따른 상기 방사선 차폐재 코팅층은 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 용융물에 텅스텐 분말이 분산 및 혼합된 혼합물의 고형물일 수 있다.
- [0027] 일 실시예로서, 상기 방사선 차폐재를 베이스 섬유에 분산 및 코팅시키는 단계는 상기 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물 입자를 고온의 가스에 의해 용융된 상태에서 텅스텐 분말 입자와 함께 베이스 섬유에 코팅할 수 있는 방법이라면 제한되지 않으나, 예를 들어, 플라즈마 용사 코팅법에 의한 것일 수 있다. 상기 주석은 녹는점이 약 500℃, 코발트는 약 1,495℃로 텅스텐의 녹는점인 약 3900℃보다 낮다. 따라서, 상기 일 실시예에 따라 300 내지 1700℃의 고온의 가스로 열을 방사하여 텅스텐 분말, 및 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 혼합물에 가할 경우, 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물만 용융되어 이의 용융물에 텅스텐 분말이 분산 및 혼합되어 베이스 섬유에 고르게 밀착 코팅될 수 있다. 상기 관점에서, 상기 용융되는 무기물을 텅스텐 분말보다 녹는점이 낮으며 텅스텐 분말의 방사선 차폐능을 저해하지 않는 금속 입자라면 주석 또는 코발트에 한정되지 않고 모두 사용될 수 있다.
- [0028] 일 실시예로서, 상기 고온의 가스의 온도는 300 내지 1700℃일 수 있으나, 텅스텐 분말과 함께 포함되는 무기물 종류에 따라 이에 제한되지 않고 조절될 수 있다. 구체적으로, 상기 가스의 온도는 300℃ 이상, 400℃ 이상, 450℃ 이상, 500℃ 이상, 600℃ 이상, 700℃ 이상, 800℃ 이상, 900℃ 이상, 1000℃ 이상, 1100℃ 이상, 1200℃ 이상, 1300℃ 이상, 1400℃ 이상, 1500℃ 이상 또는 1600℃ 이상일 수 있으며, 1700℃ 이하, 1600℃ 이하, 1500℃ 이하, 1400℃ 이하, 1300℃ 이하, 1200℃ 이하, 1100℃ 이하, 1000℃ 이하, 900℃ 이하, 800℃ 이하, 700℃ 이하, 650℃ 이하, 600℃ 이하 또는 500℃ 이하일 수 있다. 상기 가스의 온도가 과도하게 높으면 텅스텐 분말의 용융가능성이 있으며, 온도가 상기 범위 이하로 낮으면 주석 또는 코발트가 용융되지 않아 텅스텐 분말의 코팅력이 떨어질 수 있다.
- [0029] 일 실시예로서, 상기 방사선 차폐재의 주입 위치는 베이스 섬유로부터 상기 고온의 가스 이동 경로 중 베이스 섬유로부터 10 내지 1000mm 떨어진 위치일 수 있다. 구체적으로, 상기 주입 위치는 베이스 섬유로부터 10mm 이상, 50 mm 이상, 60 mm 이상, 70 mm 이상, 80 mm 이상, 90 mm 이상, 100 mm 이상, 110 mm 이상, 120 mm 이상, 130 mm 이상, 140 mm 이상, 150 mm 이상, 160 mm 이상, 170 mm 이상, 180 mm 이상, 190 mm 이상, 200 mm 이상, 300 mm 이상, 400 mm 이상, 500 mm 이상, 600 mm 이상, 700 mm 이상, 800 mm 이상 또는 900 mm 이상일 수 있으며, 1000 mm 이하, 900 mm 이하, 800 mm 이하, 700 mm 이하, 600 mm 이하, 500 mm 이하, 400 mm 이하, 300 mm 이하, 200 mm 이하, 190 mm 이하, 180 mm 이하, 170 mm 이하, 160 mm 이하, 150 mm 이하, 140 mm 이하, 130 mm 이하, 120 mm 이하, 110 mm 이하, 100 mm 이하, 90 mm 이하, 80 mm 이하, 70 mm 이하, 60 mm 이하 또는 50 mm 이하로 떨어진 위치일 수 있다. 방사선 차폐재의 주입 위치가 과도하게 멀 경우 방사선 차폐재가 베이스 섬유에 효과적으로 밀착 코팅되지 않을 수 있으며, 주입 위치가 과도하게 가까울 경우 방사선 차폐재의 이동 중 상기 무기물이 충분히 용융되지 않거나, 베이스 섬유에 균일하게 코팅되지 않을 수 있다.

- [0030] 일 실시예로서, 상기 베이스 섬유는 이동 장치에 고정되어 있을 수 있으며, 상기 이동 장치는 상하로 이동하며 섬유 전체적으로 상기 방사선 차폐재가 균일하게 코팅되도록 할 수 있다. 이때, 상기 베이스 섬유의 이동속도는 예를 들어 0.1 내지 100mm/s일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0031] 일 실시예로서, 상기 텅스텐 분말은 방사선 차폐재 코팅층 총 중량에 대하여 90 내지 99 중량%로 포함될 수 있다. 예를 들어, 상기 텅스텐 분말은 방사선 차폐재 코팅층 총 중량에 대하여 90 중량% 이상, 91 중량% 이상, 92 중량% 이상, 93 중량% 이상, 94 중량% 이상, 95 중량% 이상, 96 중량% 이상, 97 중량% 이상 또는 98 중량% 이상으로 포함될 수 있으며, 99 중량% 이하, 98 중량% 이하, 97 중량% 이하, 96 중량% 이하, 95 중량% 이하, 94 중량% 이하, 93 중량% 이하 또는 92 중량% 이하로 포함될 수 있다. 일 실시예로서, 상기 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물은 방사선 차폐재 코팅층 총 중량에 대하여 1 내지 10 중량%로 포함될 수 있다. 예를 들어, 상기 무기물은 방사선 차폐재 코팅층 총 중량에 대하여 1 중량% 이상, 2 중량% 이상, 3 중량% 이상, 4 중량% 이상, 5 중량% 이상, 6 중량% 이상, 7 중량% 이상, 8 중량% 이상 또는 9 중량% 이상으로 포함될 수 있으며, 9 중량% 이하, 8 중량% 이하, 7 중량% 이하, 6 중량% 이하, 5 중량% 이하, 4 중량% 이하, 3 중량% 이하 또는 2 중량% 이하로 포함될 수 있다. 구체적으로, 상기 방사선 차폐재 코팅층에서 상기 텅스텐 분말과 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 중량비는 90 내지 99: 1 내지 10일 수 있다. 보다 구체적으로는 95 내지 97: 3 내지 5의 중량비로 포함될 수 있다. 상기 텅스텐 분말이 상기 범위 미만으로 적게 포함될 경우 방사선 차폐능이 낮아질 수 있다. 상기 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물이 상기 범위 미만으로 적게 포함될 경우에는 베이스 섬유에 대한 텅스텐 분말의 코팅이 불균일해져 방사선 차폐능이 낮아질 수 있다.
- [0032] 일 실시예로서, 상기 텅스텐 분말 입자의 평균 입자 크기는 450 내지 600nm일 수 있다. 이때, 상기 입자 크기는 입자내 가장 큰 직경을 의미한다. 상기 평균 입자 크기는 방사선 차폐재 코팅층에 포함되는 적어도 90% 이상의 텅스텐 분말들의 입자 크기의 평균을 의미한다. 구체적으로, 상기 텅스텐 분말들의 입자 크기의 평균은 방사선 차폐재 코팅층에 포함되는 적어도 90% 이상, 91% 이상, 92% 이상, 93% 이상, 94% 이상, 95% 이상, 96% 이상, 97% 이상, 98% 이상 또는 99% 이상의 분말들의 입자내 가장 큰 직경의 평균값을 의미할 수 있다. 보다 구체적으로 상기 입자 크기의 평균은 550nm 이상, 560nm 이상, 570 nm 이상, 580 nm 이상 또는 590 nm 이상일 수 있으며, 600 nm 이하, 590 nm 이하, 580 nm 이하, 570 nm 이하 또는 560 nm 이하일 수 있다. 상기 입자 크기 범위를 벗어날 경우 방사선 차폐 성능이 낮아지거나, 가공성이 떨어질 수 있다.
- [0033] 일 실시예로서, 상기 주석 및 코발트 중 하나 이상의 무기물의 평균 입자 크기는 상기 텅스텐 분말 입자 크기와 동일하거나 더 클 수 있다. 상기 무기물의 입자 크기는 제한되지 않으나, 예를 들어 450 nm 내지 100 μ m일 수 있다.
- [0034] 일 실시예로서, 상기 방사선 차폐 섬유는 무연(lead-free) 섬유일 수 있다.
- [0035] 일 실시예에서, 상기 베이스 섬유는 고온에 내열성을 가지며 유연성을 갖는 것이라면 제한되지 않으며, 예를 들어 실리카 및 아라미드 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 상기 실리카 섬유는 고온 세라믹 섬유로서 1,250 내지 1,600 $^{\circ}$ C의 고온에서도 내열성을 가지며 유연한 특성을 가지고 있다. 구체적으로, 상기 실리카 섬유는 SILICA CLOTH TYPES SIL-1, SIL-2 및 SIL-3 중 하나 이상일 수 있다. 일 실시예로서, 상기 아라미드는 파라 아라미드사로 이루어진 섬유일 수 있다. 일 실시예로서, 상기 베이스 섬유는 이중직사 또는 합사일 수 있다.
- [0036] 본 개시의 일 실시예에서 방사선 차폐재의 유효성분인 텅스텐은 납과 유사한 차폐 성능을 갖는 것으로 보고되나, 고가이고 가공성이 좋지 않아 종래에는 텅스텐 분말과 고분자 재료를 혼합하여 시트나 필름 형태로 가공되는 것이 일반적이었다. 그러나 상기 방법은 실제 제조공정에서 고분자 물질에 텅스텐 분말이 균일하게 혼합되었다 하더라도 이를 실제 베이스 섬유, 예를 들어 부직포에 액상 상태로 배합된 물질을 코팅하는 과정에서 텅스텐 입자의 분산이 고르게 이루어지지 않아 차폐 성능의 재현성이 떨어진다는 문제가 있었다. 그러나 본 개시의 상기 방법에 따르면 방사선 차폐재 입자를 베이스 섬유에 직접 코팅하므로, 동일한 면적에 동일한 양의 방사선 차폐재를 코팅하는 것이 가능하며, 이를 통해 섬유의 차폐 성능 재현성을 유지할 수 있다. 본 개시의 일 실시예는 방사선 차폐재를 반응용 상태로 코팅하므로, 용점에 큰 차이가 없는 혼합 재료를 더 첨가할 수도 있다. 또한, 일 실시예에 따른 상기 플라즈마 용사 코팅 방식은 방사선 차폐재의 두께를 일정하게 유지하기 위한 자동화 공정을 포함하기 때문에 차폐성 섬유 또는 의복의 대량 생산이 가능하며, 캘린더 공정이나 바인더 공정과 같이 일정한 온도와 압력에서 두께를 제어하는 것보다 더 편리하다. 일 실시예로서 본 개시는 방사선 차폐재의 코팅층 두께를 조절함으로써 섬유가 사용되는 대상에 따라 차폐 성능을 용이하게 조절할 수 있다. 예를 들어, 상기 방사선 차폐재 코팅층의 두께는 0.1 내지 0.3mm일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 상기

베이스 섬유의 두께는 0.2 내지 0.9mm일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 방사선 차폐 섬유의 두께는 0.5 내지 2mm일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 상기 방사선 차폐 섬유의 두께가 너무 두꺼울 경우 섬유의 유연성이 저하될 수 있으며, 두께가 너무 얇을 경우 방사선 차폐재 코팅층의 두께도 낮아지므로 방사선 차폐율이 저하될 수 있다.

[0037] 일 실시예에 따른 본 개시의 상기 방사선 차폐 섬유의 x-선 차폐율은 40-120kVp의 관전압 범위에서 측정시 70 내지 95%일 수 있다.

[0038] 본 개시의 일 실시예는 상술된 방사선 차폐 섬유를 포함하는 방사선 차폐복(방사선 차폐 의류), 방사선 차폐 커튼, 방호벽 등을 제공할 수 있다. 예를 들어, 상기 방사선 차폐복은 의료용일 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 의료기관에서 사용하는 방사선은 인체를 투과할 수 있는 최소한의 에너지를 필요로 하며, 본 개시의 상기 방사선 차폐 섬유는 방사선 차폐재의 양을 정량적으로 제어할 수 있다. 일 실시예로서, 상기 의료용 방사선 차폐복의 방사선 차폐재 코팅층은 0.2mm 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. 상기 관점에서, 본 개시의 일 실시예로서 0.2mm 두께의 방사선 차폐재 코팅층을 포함하는 1.2mm 두께의 차폐 섬유는 100kVp에서 72%의 차폐 성능을 보이는 것일 수 있다. 이는 종래에 텅스텐과 고분자 재료를 액상 코팅 공정으로 혼합하여 1.5mm 두께의 방사선 차폐재 코팅층을 갖는 섬유를 제조하였을 때 100kVp에서 72%의 차폐율을 보인 것보다 섬유의 두께와 유연성을 현저히 감소시킨 것이며, 0.2mm 두께의 표준 납과 방사선 차폐 효율이 약 15% 이하밖에 차이 나지 않는 것이다. 따라서, 본 개시는 납을 포함하지 않아 인체에 안전하고 환경에 무해하면서도 의료분야와 이외 방사선 차폐복을 필요로 하는 다양한 분야에서 유용하게 사용될 수 있다.

[0039] 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.

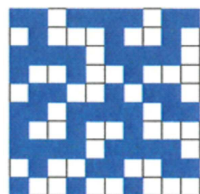
[0040] [실시예]

[0041] 본 개시에서 방사선 차폐재로 사용하는 텅스텐은 원자번호 74로 납(82)의 원자번호와 비슷하며 밀도는 19.25g/cm^3 로 고밀도로 평가되며, 납과 유사한 차폐 성능을 갖는 것으로 알려져 있다. 이에 본 개시의 일 실시예에 따라 제조된 방사선 차폐 섬유가 납을 대체할 수 있을 정도로 가볍고 유연함을 확인하기 위해 아래의 실험을 실시하였다.

[0042] 실시예에 따른 방사선 차폐 섬유는 플라즈마 용사 코팅법을 사용하여 제조하였으며, 베이스 섬유로는 고강도, 고내열성을 지닌 파라-아라미드 이중직사인 파라계 아라미드사(ALKEX®)를 사용하였다(도 1). 상기 파라-아라미드 원사의 표면은 200데니어 파라-아라미드 원사이며, 후면은 400데니어 파라-아라미드 원사로 구성되어 원단 구조로 인한 에어갭을 줄였다. 상기 파라-아라미드 원사의 이중직은 아래 표와 같이 설계하였으며, 에어갭 직기(Toyota. Co., Model: Toyota 610)를 이용하여 제작하였다. 도 2는 상기 파라-아라미드 원사의 단면에 대한 주사 전자 현미경(scanning electron microscopy, SEM) 이미지를 나타낸 것이다.

표 1

[0043] 아라미드 이중직 조직용 설계표

구분		날실(Warp)	씨실(Weft)	날실 밀도	씨실 밀도	직조 폭
아라미드 이중직 섬유	이 표면층	아라미드 200 데니어	아라미드 300 데니어	1200	100 T	1 m
	후면층	아라미드 400 데니어	아라미드 400 데니어	800		
		조직도				

[0044] 본 실시예에서 방사선 차폐재는 플라즈마 용사 코팅법을 사용하여 상기 베이스 섬유에 코팅하였다. 일 실시예로서 상기 플라즈마 용사 코팅법은 열전 이온화된 가스가 소량의 무기물 입자를 부분적으로 녹이고 반응용 상태에

서 고속으로 가속시켜 직물의 표면을 얇게 코팅하는 공정으로, 상기 코팅방법을 도 3에 개략적으로 도시하였다.

[0045] 상기 방사선 차폐재는 텅스텐 분말과 주석 분말을 95:5의 중량비로 혼합하여 준비하였다. 이때 사용된 텅스텐 입자는 도 4와 같은 분말 형태로, 사용된 입자는 500 nm보다 작다. 텅스텐은 녹는점이 3422℃로 원소 중 가장 높아 원하는 모양으로 가공하기 어렵다. 그러나 본 개시는 플라즈마 용사 코팅 방식을 사용하여 텅스텐 입자를 녹이지 않으며, 텅스텐 분말이 소량의 무기물 입자와 혼합되어 있음을 감안할 때 반응용 상태가 되므로 효과적인 분무가 구현된다.

[0046] 구체적으로, 본 실시예에서는, 상기 베이스 섬유에 분사될 열의 온도가 약 500 내지 600℃가 되도록 설정하였으며, 상기 방사선 차폐재의 분사 거리를 베이스 섬유로부터 100mm가 되는 위치로 설정하였다. 또한 베이스 섬유 고정 장치는 5mm/s의 이동 속도로 상하 이동이 가능하게 하여 섬유 전체적으로 균일한 방사선 차폐재 입자 분사가 가능하도록 하였다. 열 분사시 주석 입자는 녹고, 텅스텐 입자는 녹지 않기 때문에 주석 입자가 텅스텐을 둘러싸서 반응용 상태로 실리카 원단 위에 밀착 및 코팅된다. 따라서 상기 방법은 기존의 고분자 물질과 차폐물질을 섞어서 코팅할 때보다 균일한 입자 분산이 가능하여 대량 생산 시 차폐성능의 재현이 가능하다. 또한 섬유의 표면(앞면)에만 입자가 코팅되기 때문에 뒷면은 베이스 섬유의 유연성을 그대로 유지하여 결과적으로 방사선 차폐성능도 지니면서 일반 섬유의 특성도 지니는 차폐섬유로 제조가 가능하다.

[0047] 플라즈마 용사 방법의 공정 제어 매개변수에는 생성된 텅스텐 코팅의 특성에 영향을 미치는 플라즈마 출력 및 분무 온도가 포함된다. 도 5는 플라즈마 용사 공정에 사용되는 장비 및 제어 장치를 보여준다. 본 실험은 플라즈마 출력 약 80kW, 분무 온도 약 1,700℃의 조건에서 수행되었다. 동일한 면적에 동일한 양의 물질을 확보하기 위해 코팅두께 0.2mm를 기준으로 플라즈마 이동속도를 5mm/s로 설정하고 텅스텐 입자를 분사하였다. 이에 1m X 1m X 1.2±0.02mm의 텅스텐 차폐 직물을 제조하였다.

[0048] 방사선 차폐섬유에서는 단위 질량당 표면적이 증가함에 따라 차폐재에 포함된 금속 원자의 수와 충돌 확률이 증가하여 입사 방사선을 효과적으로 감쇠시키고 양호한 차폐 효과를 달성한다. 따라서 입사되는 방사선의 세기를 I_0 , 차폐물의 선형감쇠계수를 μ 라고 하면, 방사선이 제작된 두께(t)의 차폐직물을 통과할 때의 투과도(I)는 다음과 같이 주어진다.

[0049] [수학식 1]

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (1)$$

[0051] 직물의 면적밀도는 원사에 따라 다르지만, 수학식 2를 이용하여 직물에 텅스텐을 코팅함으로써 감쇠능을 향상시키는 질량감쇠계수를 결정할 수 있다.

[0052] [수학식 2]

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{s}{m} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (2)$$

[0054] 여기서 s 는 복사 감쇠 효과가 예상되는 영역이고 m 은 단위 면적당 질량이다. 고체 상태의 텅스텐의 경우 밀도는 19.25 g/cm³이다. 결과적으로 방사선 차폐재 입자의 고른 분산을 통해 코팅 및 차폐 효과가 발생한다.

[0055] 이에, 광학현미경(OM, AxioTech 100 HD, Zeiss)과 SEM(JSM-5410, Jeol)을 이용하여 상기에서 제조한 방사선 차폐섬유의 단면과 표면구조를 관찰하였다. 납 등가시험법(KS A 4025: 2017)을 적용하여 직물의 차폐성능 평가로도 6과 같이 수행하였다. 또한, 차폐율 측정은 수학식 3을 이용하여 수행하였다.

[0056] [수학식 3]

$$S = \left(1 - \frac{T}{T_0}\right) \times 100 \quad (3)$$

[0058] 여기서 S 는 차폐율, T_0 는 입사선량(mR), T 는 투과선량(mR)이다. 구체적으로, T 는 X선과 검출기 사이에 차폐섬유가 있는 상태에서 측정된 노출량이고, T_0 는 X선과 검출기 사이에 차폐섬유 없이 측정된 노출량이다. 측정된 선량 조건에서 관전류는 200mA이고 조사 시간은 0.1초였다. X선 발생기(DK-525, Toshiba E7239X, Tokyo)와 보정된 이온챔버(Model PM-30, PR-18)를 이용하여 노출량을 10회 측정한 후 평균값을 사용하였다. 또한 0.2mm 표준 납(순도 99.8%)을 사용하여 상기 본 개시의 일 실시예에 따라 제조한 방사선 차폐 섬유와 차폐 성능을

비교하였다.

[0059] 아래 표 2는 상기 실시예에서 사용한 파라-아라미드사로 직조한 이중직물의 특성을 나타낸 것이다. 상기 직물은 높은 내열성, 유연성 및 강도를 나타내었으며, 차폐섬유의 인장강도, 인장신도 및 인열강도가 높았다.

표 2

[0060] 이중직 아라미드 섬유 특성

인장강도 (KS K 0520:2015)		인장 신도 (KS K 0520:2015)		인열 강도 (ISO 13937-2:2000)		무게
날실	3,400 N	날실	30.4%	날실	330.27 N	3.24g/10cm ² (324gsm±3%)
씨실	6,000 N	씨실	7.8%	씨실	602.78 N	

[0061] 전자현미경을 이용하여 상기 베이스 섬유를 관찰한 결과, 도 7과 같이 텅스텐 코팅 전 직물의 표면이 전반적으로 거친 것을 확인하였다. 또한 상기 섬유의 두께는 $1.0 \pm 0.04\text{mm}$ 로 측정되었다. 본 개시에서 베이스 섬유는 고온에서도 텅스텐 입자와 섬유 사이의 접착력이 우수하고 손실이 없어야 하며 공극이 최소화되어야 한다. 도 7에서는 상기 베이스 섬유의 직물이 밀도를 가지고 있고(a), 고온을 견딜 수 있고 보이드를 방지하기 위해 약간 더 두껍다는 것(b)을 확인할 수 있다. 도 7의 (c)는 고밀도 직조의 단면 이미지를 확인한 것이다.

[0062] 아래 표 3은 상기 제조된 본 개시의 일 실시예에 따른 방사선 차폐 섬유의 특성을 나열한 것이다. 차폐섬유의 전체 강도는 용사 코팅 전보다 낮았는데, 이는 고온으로 인한 실의 약화로 설명될 수 있다. 그러나 고온으로 인한 박막 코팅이 성공적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

표 3

[0063] 텅스텐 코팅된 파라-아라미드 차폐 직물의 특성

인장강도 (KS K 0520:2015)		인장신도 (KS K 0520:2015)		인열강도 (ISO 13937-2:2000)		무게
날실	2,800 N	날실	27.9%	날실	159.87 N	9.38g/10cm ² (938gsm±3%)
씨실	3,200 N	씨실	4.8%	씨실	305.77 N	

[0064] 전자현미경을 이용하여 상기 텅스텐이 코팅된 방사선 차폐 섬유를 관찰한 결과를 도 8에 나타내었으며, 그 외관을 도 9에 나타내었다. 도 8의 (a) 및 (b)의 표면을 확대한 이미지에서, 특히, 도 8의 (b)에서 베이스 섬유에 코팅된 텅스텐 입자를 볼 수 있다. 이로부터 액상 형태의 부직포를 코팅하는 종래의 방법에서 발생하는 수지 뭉침 등의 문제가 없으며, 텅스텐 분사가 균일하게 분산되었음을 확인할 수 있다. 단면 이미지 분석 결과 이중직물이 잘 표현되었으며, 실 끊어짐 등의 손실 없이 텅스텐이 잘 안착됨을 확인할 수 있다. 도 9(c)의 단면 이미지에서 텅스텐 입자가 표면에만 분산되어 있고, 원단 뒷면에 미치는 영향은 미미하기 때문에 섬유의 유연성을 유지할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 코팅된 차폐 직물의 두께는 $1.2 \pm 0.02\text{mm}$ 로 측정되었다.

[0065] 표 4는 상기 텅스텐이 코팅된 방사선 차폐 섬유에 대한 차폐 성능 평가 결과를 나타낸 것이다. 차폐 직물의 두께는 약 1mm인 반면 텅스텐 코팅의 두께는 0.2mm였다. 두께는 1 m² 면적 내에서 제작된 차폐섬유 10개소를 무작위로 선택하여 측정하였으며 오차가 없는 균일한 두께를 확인하였다. 상기 제조된 차폐 직물은 40-60kVp의 낮은 관전압 범위에서 높은 차폐 성능을 보였다. 120kVp에서도 72.21%의 차폐 효율이 측정되었으며 동일한 두께 0.2mm의 표준 납은 87.42%의 차폐 효율을 나타내어 약 15%의 차이를 보였다.

[0066] 표 5는 종래 기술에 해당하는 비교예들로서 황산바륨, 텅스텐 분말 또는 산화비스무트를 고분자 물질인 고밀도 폴리에틸렌에 액상 형태로 혼합 및 교반하여 바인딩시킨 용액을 제조한 뒤, 부직포에 코팅하는 방법에 의해 제조한 각 방사선 차폐 섬유의 차폐 성능을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 이때, 방사선 차폐제인 상기 황산바륨, 텅스텐 분말 또는 산화비스무트의 함량은 상기 실시예와 동일하였다. 이 결과로부터 종래 차폐 섬유의 유연성을 확보하기 위해 채택한 고분자 소재에 텅스텐 분말 등의 방사선 차폐제를 바인딩시켜 액상으로 부직포를 코팅하는 방식은 차폐 성능을 재현하기 어려움을 확인할 수 있다.

표 4

[0067] 텅스텐 코팅된 차폐 섬유에 차폐 성능 평가 결과

방사능 유형	kVp	노출 평균값 (μR)			차폐율(%)	
		차폐 없음	차폐 섬유	표준 납	차폐 섬유	표준 납
X-ray	40	106.90	21.27	0	90.10	100
	60	381.63	69.28	6.47	81.85	98.30
	80	799.70	172.37	48.87	78.45	93.89
	100	1318.33	338.97	144.83	74.29	89.01
	120	1648.33	458.07	207.43	72.21	87.42

표 5

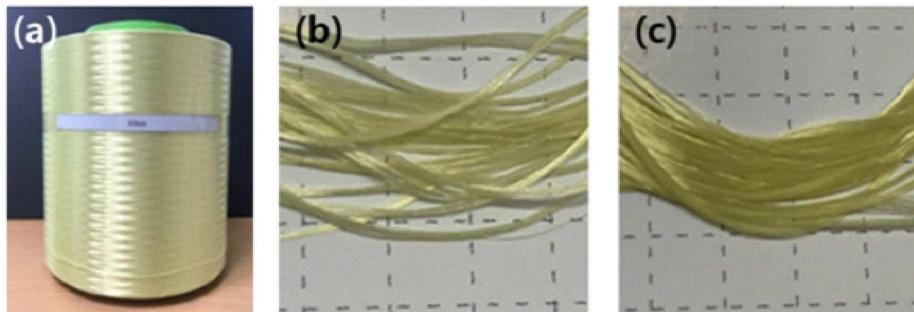
[0068] 종래 무연 방사선 차폐 시트의 차폐 성능 평가 결과

방사능 유형	kVp	노출 평균값 (μR)				차폐율(%)		
		차폐 없음	황산바륨	산화비스무트	텅스텐	황산바륨	산화비스무트	텅스텐
X-ray	40	106.90	61.04	41.69	19.23	42.90	61.00	82.01
	60	381.63	236.51	160.15	114.36	38.03	58.04	70.03
	80	799.70	550.80	463.81	351.76	31.12	42.00	56.01
	100	1318.33	1001.93	870.03	672.26	24.00	34.01	49.01
	120	1648.33	1318.66	1120.76	906.05	20.00	32.01	45.03

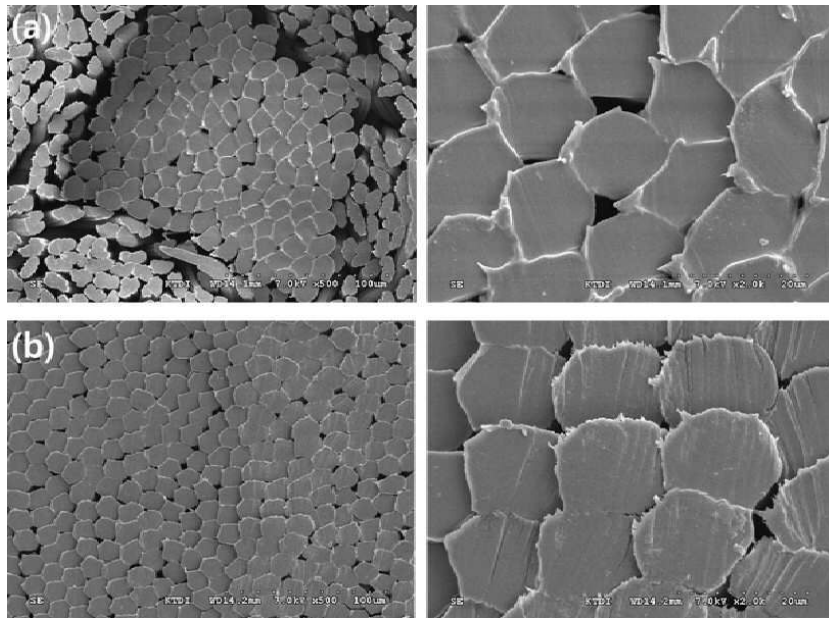
[0069] 상기 두 결과는 본 개시에 따른 방사선 차폐섬유가 납보다는 약간 낮지만 종래기술과 비교하여 동일 두께대비 매우 높은 차폐 효율의 나타내면서도 유연성을 가지고 있기 때문에 방사선 차폐 섬유로서 매우 효과적임을 의미한다.

도면

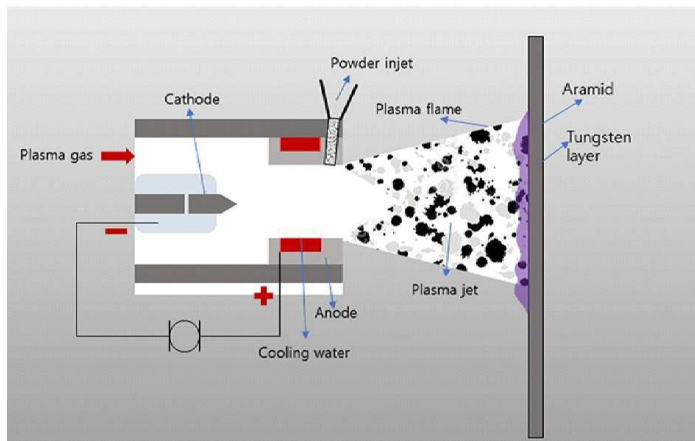
도면1



도면2



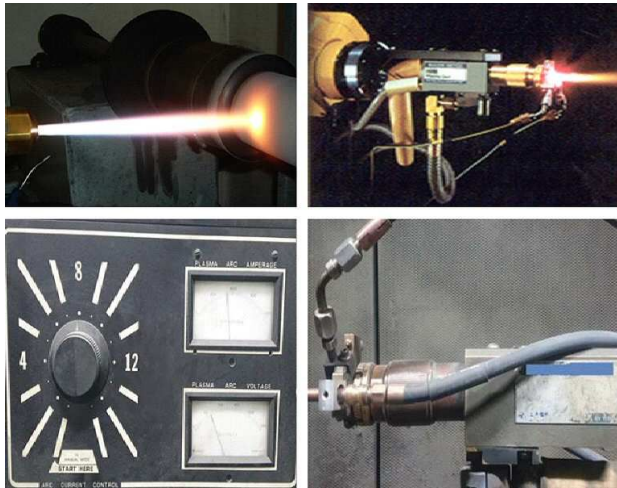
도면3



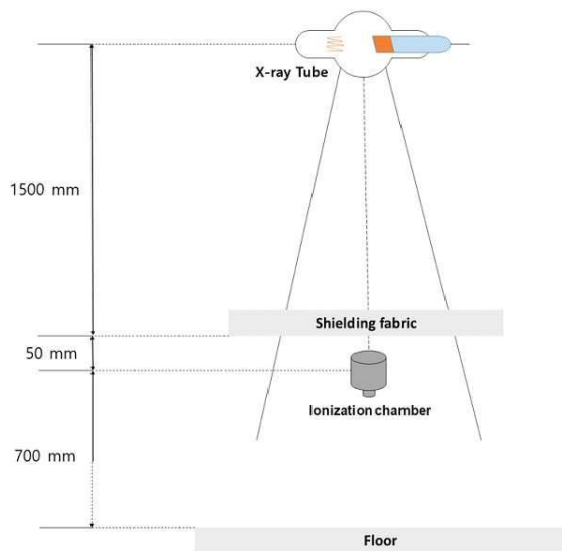
도면4



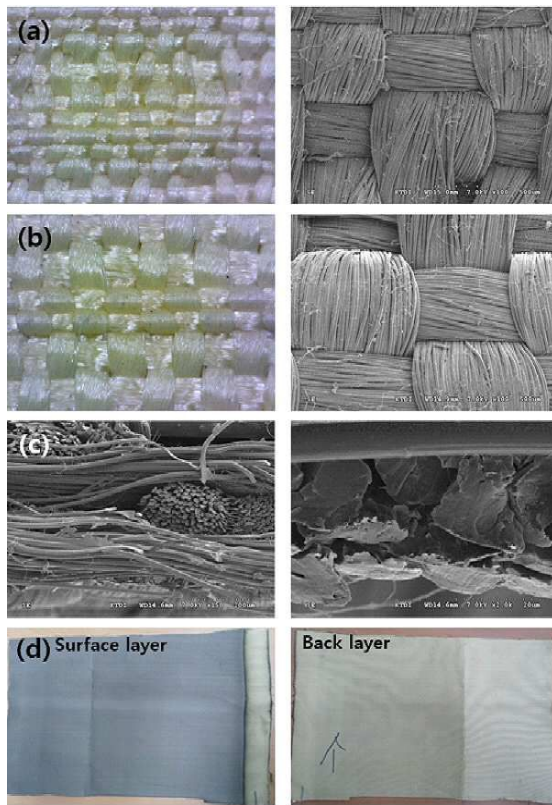
도면5



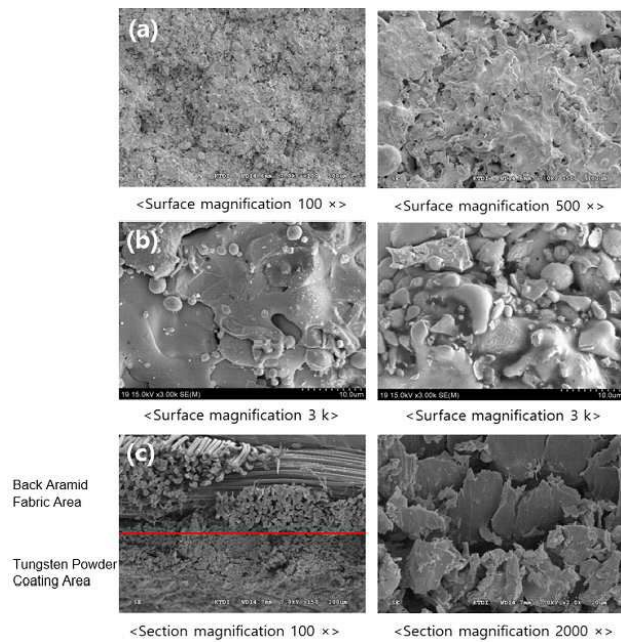
도면6



도면7



도면8



도면9

