



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0173393
(43) 공개일자 2024년12월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
D02G 3/04 (2006.01) D02G 3/28 (2006.01)
D06M 10/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
D02G 3/04 (2013.01)
D02G 3/28 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0072048
(22) 출원일자 2023년06월05일
심사청구일자 2023년06월05일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
나성수
서울특별시 영등포구 당산로42길 13, 106동 802호(당산동5가, 당산동1차 효성아파트)
신홍철
서울특별시 성북구 안암로9나길 51, 401호 (안암동3가)
윤태영
서울특별시 동대문구 안암로26길 11, 201호
(74) 대리인
박상열, 최내윤

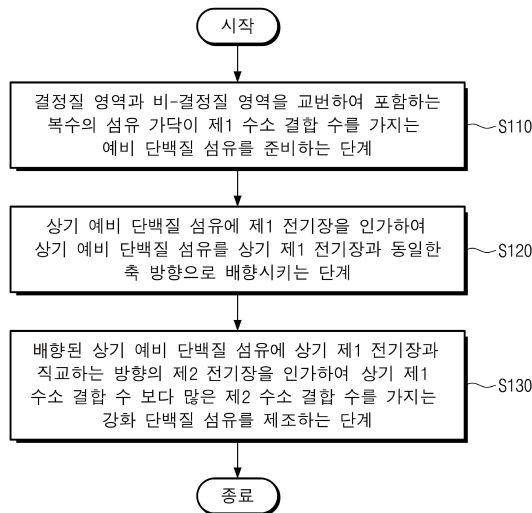
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 강화 단백질 섬유 및 그의 제조방법

(57) 요약

결정질 영역과 비-결정질 영역을 교번하여 포함하는 복수의 섬유 가닥이 제1 수소 결합 수를 가지는 예비 단백질 섬유를 준비하는 단계, 상기 예비 단백질 섬유에 제1 전기장을 인가하여, 상기 예비 단백질 섬유를 상기 제1 전기장과 동일한 축 방향으로 배향시키는 단계, 및 배향된 상기 예비 단백질 섬유에 상기 제1 전기장과 직교하는 방향의 제2 전기장을 인가하여, 상기 제1 수소 결합 수 보다 많은 제2 수소 결합 수를 가지는 강화 단백질을 제조하는 단계를 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법이 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

D06M 10/00 (2013.01)

D10B 2211/01 (2013.01)

D10B 2211/20 (2013.01)

D10B 2509/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711189489
과제번호	2022R1A2B5B01001928
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	인공 지능 모델링 및 다중 스케일 시뮬레이션을 통한 실크 소재의 자동 최적 설계
플랫폼 개발	
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

결정질 영역과 비-결정질 영역을 교번하여 포함하는 복수의 섬유 가닥이 제1 수소 결합 수를 가지는 예비 단백질 섬유를 준비하는 단계;

상기 예비 단백질 섬유에 제1 전기장을 인가하여, 상기 예비 단백질 섬유를 상기 제1 전기장과 동일한 축 방향으로 배향시키는 단계; 및

배향된 상기 예비 단백질 섬유에 상기 제1 전기장과 직교하는 방향의 제2 전기장을 인가하여, 상기 제1 수소 결합 수 보다 많은 제2 수소 결합 수를 가지는 강화 단백질 섬유를 제조하는 단계를 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 강화 단백질 섬유와 상기 예비 단백질 섬유는 동일한 원자 수를 가지되,

상기 강화 단백질 섬유는, 상기 결정질 영역에서 상기 예비 단백질 섬유 보다 많은 수소 결합 수를 가지는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 강화 단백질 섬유는, 상기 결정질 영역에서 상기 예비 단백질 섬유 보다 작은 부피를 가지는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 제1 전기장을 인가하는 단계는,

상기 예비 단백질 섬유의 쌍극자 모멘트를 이용하여 상기 예비 단백질 섬유를 x축 방향으로 배향시키는 것을 포함하고,

상기 제2 전기장을 인가하는 단계는,

상기 x축 방향과 x-z평면을 형성하는 방향으로 정의되는 z축 방향의 전기장을, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유에 인가하는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 x축 방향으로 배향된 상기 복수의 섬유 가닥은, 상기 z축 방향으로 나란하게 서로 정방향으로 배열된 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 6

제4 항에 있어서,

상기 강화 단백질 섬유는, 상기 예비 단백질 섬유 보다 높은 영률 및 인장강도를 가지는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 7

제4 항에 있어서,

상기 x축 방향과 x-y평면을 형성하는 방향으로 정의되는 y축 방향의 전기장을, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유에 인가하는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 x축 방향으로 배향된 상기 복수의 섬유 가닥은, 상기 y축 방향으로 나란하게 서로 역방향으로 배열된 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 9

제7 항에 있어서,

상기 강화 단백질 섬유는, 상기 예비 단백질 섬유와 동일한 영률을 가지되, 상기 예비 단백질 섬유 보다 높은 인장강도를 가지는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 10

제1 항에 있어서,

상기 예비 단백질 섬유는 실크, 아마, 및 양털 중에서 어느 하나를 포함하되,

상기 예비 단백질 섬유가 상기 실크인 경우,

상기 강화 단백질 섬유를 제조하는 단계에서, 0.05 V/nm 초과 내지 10 V/nm 미만의 상기 제2 전기장이 인가되는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법.

청구항 11

결정질 영역과 비-결정질 영역을 교번하여 포함하고, 일 방향으로 적층되어 배열된 복수의 섬유 가닥을 포함하되,

상기 결정질 영역에서 상기 복수의 섬유 가닥의 부피는, 상기 비-결정질 영역에서 상기 복수의 섬유 가닥의 부피보다 작은 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 복수의 섬유 가닥은, 나란하게 서로 정방향으로 배열되되,

동일한 원자 수를 가지는 참조 단백질 섬유 보다 높은 영률 및 인장강도를 가지는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유.

청구항 13

제11 항에 있어서,

상기 복수의 섬유 가닥은, 나란하게 서로 역방향으로 배열되되,

동일한 원자 수를 가지는 참조 단백질 섬유와 동일한 영률을 가지고, 상기 참조 단백질 섬유 보다 높은 인장강도를 가지는 것을 포함하는, 강화 단백질 섬유.

청구항 14

제11 항에 있어서,

실크, 아마, 및 양털 중에서 어느 하나를 포함하는, 강화 단백질 섬유.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 강화 단백질 섬유 및 그의 제조방법에 관련된 것으로, 보다 상세하게는 전기장 인가에 따라 수소 결합 수가 증가되고 인장강도가 강화되는 강화 단백질 섬유 및 그의 제조방법에 관련된 것이다.

배경 기술

[0003] 단백질 섬유는, 생체적합 특성 및 친환경 특성을 가지기 때문에 유익한 장점을 가질 수 있다. 이에, 종래에는 기존의 화학 섬유를, 상술된 바와 같은 유익한 장점을 가지는 단백질 섬유로 대체하기 위한 노력이 이루어지고 있다.

[0004] 하지만 종래의 단백질 섬유는 영률(Young's modulus) 및 인장강도가 낮아 물성이 저하될 수 있다. 이에, 종래에는 단백질 섬유의 물성을 강화시키기 위한 방법이 개발되고 있다. 예를 들어, 종래에는, 유전자 재조합을 이용하여 아미노산 서열을 변이시키고 단백질 섬유의 물성을 향상시키는 방법이 이용되고 있다. 이와 관련하여, 대한민국 공개특허공보 10-2012-0103435에는, 서열번호 1의 아미노산 서열을 코딩하는 말미잘 실크 단백질의 유전자를 포함하는 발현벡터를 제조하는 단계, 상기 발현벡터를 숙주세포에 삽입하여 형질전환체를 제조하는 단계, 상기 형질전환체로부터 말미잘 유래 재조합 실크 단백질을 생산하는 단계, 및 상기 생산된 말미잘 유래 재조합 실크 단백질을 분리 및 정제하는 단계를 포함하는, 말미잘 유래 재조합 실크 단백질의 제조방법이 개시되어 있다.

[0005] 하지만, 종래의 방법과 같이 유전자 재조합을 이용하여 단백질 섬유의 물성을 향상시키는 방법은, 고가의 비용이 요구될 뿐 아니라, 장시간이 소요되는 단점이 있을 수 있다. 또한, 상술된 종래의 방법은, 인허가가 까다로운 문제도 있을 수 있다.

[0006] 이에, 간편하고 효율적인 방법으로 단백질 섬유의 물성을 향상시킬 수 있는 방법이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 출원이 해결하고자 하는 일 기술적 과제는, 영률 및 인장강도를 향상시키는 강화 단백질 섬유 및 그의 제조방법을 제공하는 데 있다.

[0009] 본 출원이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 영률은 유지시키되 인장강도를 향상시키는 강화 단백질 섬유

및 그의 제조방법을 제공하는 데 있다.

[0010] 본 출원이 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 간편하고 효율적인 강화 단백질 섬유 및 그의 제조방법을 제공하는 데 있다.

[0011] 본 출원이 해결하고자 하는 기술적 과제는 상술된 것에 제한되지 않는다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 출원은 강화 단백질 섬유 제조방법을 제공한다.

[0014] 일 실시 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유 제조방법은, 결정질 영역과 비-결정질 영역을 교번하여 포함하는 복수의 섬유 가닥이 제1 수소 결합 수를 가지는 예비 단백질을 준비하는 단계, 상기 예비 단백질을 섬유에 제1 전기장을 인가하여, 상기 예비 단백질을 상기 제1 전기장과 동일한 축 방향으로 배향시키는 단계, 및 배향된 상기 예비 단백질 섬유에 상기 제1 전기장과 직교하는 방향의 제2 전기장을 인가하여, 상기 제1 수소 결합 수 보다 많은 제2 수소 결합 수를 가지는 강화 단백질을 제조하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 일 실시 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유와 상기 예비 단백질 섬유는 동일한 원자 수를 가지되, 상기 강화 단백질 섬유는, 상기 결정질 영역에서 상기 예비 단백질 섬유 보다 많은 수소 결합 수를 가질 수 있다.

[0016] 일 실시 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유는, 상기 결정질 영역에서 상기 예비 단백질 섬유 보다 작은 부피를 가질 수 있다.

[0017] 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 전기장을 인가하는 단계는, 상기 예비 단백질 섬유의 쌍극자 모멘트를 이용하여 상기 예비 단백질을 x축 방향으로 배향시키는 것을 포함하고, 상기 제2 전기장을 인가하는 단계는, 상기 x축 방향과 x-z평면을 형성하는 방향으로 정의되는 z축 방향의 전기장을, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유에 인가하는 것을 포함할 수 있다.

[0018] 일 실시 예에 따르면, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 복수의 섬유 가닥은, 상기 z축 방향으로 나란하게 서로 정방향으로 배열될 수 있다.

[0019] 일 실시 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유는, 상기 예비 단백질 섬유 보다 높은 영률 및 인장강도를 가질 수 있다.

[0020] 일 실시 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유 제조방법은, 상기 x축 방향과 x-y평면을 형성하는 방향으로 정의되는 y축 방향의 전기장을, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질을 섬유에 인가하는 것을 포함할 수 있다.

[0021] 일 실시 예에 따르면, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 복수의 섬유 가닥은, 상기 y축 방향으로 나란하게 서로 역방향으로 배열될 수 있다.

[0022] 일 실시 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유는, 상기 예비 단백질 섬유와 동일한 영률을 가지되, 상기 예비 단백질 섬유 보다 높은 인장강도를 가질 수 있다.

[0023] 일 실시 예에 따르면, 상기 예비 단백질 섬유는 실크, 아마, 및 양털 중에서 어느 하나를 포함하되, 상기 예비 단백질 섬유가 상기 실크인 경우, 상기 강화 단백질을 제조하는 단계에서, 0.05 V/nm 초과 내지 10 V/nm 미만의 상기 제2 전기장이 인가될 수 있다.

[0025] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 출원은 강화 단백질 섬유를 제공한다.

[0026] 일 실시 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유는, 결정질 영역과 비-결정질 영역을 교번하여 포함하고, 일 방향으로 적층되어 배열된 복수의 섬유 가닥을 포함하되, 상기 결정질 영역에서 상기 복수의 섬유 가닥의 부피는, 상기 비-결정질 영역에서 상기 복수의 섬유 가닥의 부피보다 작을 수 있다.

[0027] 일 실시 예에 따르면, 상기 복수의 섬유 가닥은, 나란하게 서로 정방향으로 배열되되, 동일한 원자 수를 가지는 참조 단백질 섬유 보다 높은 영률 및 인장강도를 가질 수 있다.

[0028] 일 실시 예에 따르면, 상기 복수의 섬유 가닥은, 나란하게 서로 역방향으로 배열되되, 동일한 원자 수를 가지는 참조 단백질 섬유와 동일한 영률을 가지고, 상기 참조 단백질 섬유 보다 높은 인장강도를 가질 수 있다.

[0029] 일 실시 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유는, 실크, 아마, 및 양털 중에서 어느 하나를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0031] 본 출원의 실시 예에 따르면, 결정질 영역과 비-결정질 영역을 교번하여 포함하는 복수의 섬유 가닥이 제1 수소 결합 수를 가지는 예비 단백질을 준비하는 단계, 상기 예비 단백질을 섬유에 제1 전기장을 인가하여, 상기 예비 단백질을 섬유를 상기 제1 전기장과 동일한 축 방향으로 배향시키는 단계, 및 배향된 상기 예비 단백질을 섬유에 상기 제1 전기장과 직교하는 방향의 제2 전기장을 인가하여, 상기 제1 수소 결합 수 보다 많은 제2 수소 결합 수를 가지는 강화 단백질을 제조하는 단계를 포함하는, 강화 단백질 섬유 제조방법이 제공될 수 있다.

[0032] 상기 제1 전기장을 인가하는 단계는, 상기 예비 단백질 섬유의 쌍극자 모멘트를 이용하여 상기 예비 단백질을 x축 방향으로 배향시키는 것을 포함할 수 있다. 한편, 상기 제2 전기장을 인가하는 단계는, 상기 x축 방향과 x-z평면을 형성하는 방향으로 정의되는 z축 방향의 전기장을, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유에 인가하는 것을 포함할 수 있다.

[0033] 이에 따라, 본 출원의 실시 예에 따라 제조된 상기 강화 단백질 섬유는, 상기 예비 단백질 섬유 보다 높은 영률 및 인장강도를 가질 수 있다.

[0034] 한편, 본 출원의 변형 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에 의하면, 상기 x축 방향과 x-y평면을 형성하는 방향으로 정의되는 y축 방향의 전기장을, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질을 섬유에 인가할 수 있다.

[0035] 이에 따라, 본 출원의 변형 예에 따라 제조된 상기 강화 단백질 섬유는, 상기 예비 단백질 섬유와 동일한 영률을 가지되, 상기 예비 단백질 섬유 보다 높은 인장강도를 가질 수 있다.

[0036] 즉, 본 출원의 실시 예 및 변형 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유는 영률 및 인장강도가 모두 향상되거나, 인장강도가 선택적으로 향상될 수 있다. 따라서, 본 출원의 실시 예 및 변형 예에 의하면, 용도별로 영률 및/또는 인장강도가 제어된 강화 단백질 섬유가 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0038] 도 1은 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 예비 단백질을 준비하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 예비 단백질을 배향시키는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 예비 단백질을 배향시키는 단계를 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 강화 단백질을 제조하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 강화 단백질을 제조하는 단계를 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 출원의 변형 예에 따른 강화 단백질 섬유를 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 출원의 변형 예에 따른 강화 단백질 섬유를 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 출원의 실험 예 1-1 내지 실험 예 5-3에 따른 강화 단백질 섬유 및 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유의 PDB(Protein data base) 파일을 VMD(visualization of molecular dynamics)로 시각화한 이미지이다.

도 10은 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유에서 결정질 영역의 부피를 나타낸 그래프이다.

도 11은 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유

유에서 결정질 영역의 구조 변형을 나타낸 그래프이다.

도 12는 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유에서 결정질 영역의 수소 결합 수를 나타낸 그래프이다.

도 13은 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유의 영률(Young's modulus)을 나타낸 그래프이다.

도 14는 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유의 최대 인장강도(ultimate tensile strength)을 나타낸 그래프이다.

도 15는 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유의 인성(toughness)을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.
- [0040] 또한, 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제 1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제 2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 하나를 포함하는 의미로 사용되었다.
- [0041] 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 하기에 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.
- [0043] 도 1은 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 예비 단백질 섬유를 준비하는 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 3은 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 예비 단백질 섬유를 배향시키는 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 4는 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 예비 단백질 섬유를 배향시키는 단계를 구체적으로 설명하기 위한 도면이고, 도 5는 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 강화 단백질 섬유를 제조하는 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 6은 본 출원의 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유 제조방법에서 강화 단백질 섬유를 제조하는 단계를 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0044] 도 1 및 도 2를 참조하면, 결정질 영역(cr)과 비-결정질 영역(am)을 교번하여 포함하는 복수의 섬유 가닥(11: 11a~11f)이 제1 수소 결합 수를 가지는 예비 단백질 섬유(10)가 준비될 수 있다(S110).
- [0045] 일 실시 예에 따르면, 상기 예비 단백질 섬유(10)가, 상기 결정질 영역(cr)과 상기 비-결정질 영역(am)을 교번하여 포함하는 경우, 상기 예비 단백질 섬유(10)로부터 제조되는 강화 단백질 섬유(20, 도 5 참조)는, 상기 결정질 영역(cr)에 의해 영률(Young's modulus) 및/또는 인장강도가 제어될 수 있다. 한편, 상기 예비 단백질 섬유(10)로부터 제조되는 강화 단백질 섬유(20)는, 상기 비-결정질 영역(am)에 의해 인성(toughness)이 제어될 수 있다.
- [0046] 일 실시 예에 따르면, 상기 예비 단백질 섬유(10)로부터 제조되는 강화 단백질 섬유(20)는, 수소 결합 수 및/또는 수소 결합 세기에 따라 영률 및/또는 인장강도가 제어될 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 수소 결합 수가 증가하고 또는 상기 수소 결합 세기가 증가하는 경우, 상기 예비 단백질 섬유(10)로부터 제조되는 강화 단백질 섬유(20)는, 영률 및 인장강도가 향상될 수 있다.

- [0047] 일 실시 예에 따르면, 상기 예비 단백질 섬유(10)에서 상기 복수의 섬유 가닥(11)은, 도 2에 도시된 바와 같이, 제1 거리(d1)로 이격될 수 있다. 상기 제1 거리(d1)는, 후술되는 상기 예비 단백질 섬유(10)로부터 제조되는 강화 단백질 섬유(20)에서 복수의 섬유 가닥(11)이 이격된 제2 거리(d2, 도 5 참조) 보다 멀 수 있다.
- [0048] 일 실시 예에 따르면, 상기 예비 단백질 섬유(10)는, 실크, 아마, 및 양털 중에서 어느 하나일 수 있다. 하지만, 상기 예비 단백질 섬유(10)는 상술된 예에 한정되는 것은 아니며, 단백질로 이루어진 섬유이면 제한되지 않는다.
- [0049] 도 1 및 도 3을 참조하면, 상기 예비 단백질 섬유(10)에, 제1 전기장이 인가되어, 상기 예비 단백질 섬유(10)가 상기 제1 전기장과 동일한 축 방향으로 배향될 수 있다(S120).
- [0050] 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 전기장은 도 3에 도시된 x축 방향을 가질 수 있다. 상기 제1 전기장은, 상기 예비 단백질 섬유(10)에 인가되어, 상기 예비 단백질 섬유(10)를 상기 제1 전기장과 동일한 상기 x축 방향으로 배향시킬 수 있다. 한편, 상기 제1 전기장은, 상기 예비 단백질 섬유(10)의 물성을 비-변화시키는 세기로 상기 예비 단백질 섬유(10)에 인가될 수 있다. 보다 구체적으로 상기 제1 전기장은, 수용액 분위기에서 특정 전위와 기준 전위의 차를 이용하여, 상기 예비 단백질 섬유(10)에 인가될 수 있다. 예를 들어, 상기 예비 단백질 섬유(10)가 실크인 경우, 상기 제1 전기장은 0.05 V/mm의 직류(direct current) 저전압으로 상기 예비 단백질 섬유(10)에 인가될 수 있다. 한편, 상기 예비 단백질 섬유(10)는, 쌍극자(dipole)를 포함할 수 있다. 따라서, 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 x축 방향의 상기 제1 전기장이 인가되면, 쌍극자 모멘트(dipole moment)에 의해서 도 4A 내지 도 4C에 도시된 바와 같이 상기 예비 단백질 섬유(10)가 상기 제1 전기장과 동일한 축 방향 즉, 상기 x축 방향으로 배향될 수 있다.
- [0051] 도 1 및 도 5를 참조하면, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에, 상기 제1 전기장과 직교하는 방향의 제2 전기장이 인가되어, 상기 제1 수소 결합 수 보다 많은 제2 수소 결합 수를 가지는 강화 단백질 섬유(20)가 제조될 수 있다(S130).
- [0052] 일 실시 예에 따르면, 상기 제2 전기장은 도 5에 도시된 상기 제1 전기장의 방향(x축 방향)과 x-z평면을 형성하는 방향으로 정의되는 z축 방향을 가질 수 있다. 상기 제2 전기장도 앞서 설명된 바와 같이, 수용액 분위기에서 특정 전위와 기준 전위의 차를 이용하여, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 인가될 수 있다. 즉, 상기 제1 전기장 및 제2 전기장의 인가는 인 시츄(in situ) 공정으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 제2 전기장은, 상기 예비 단백질 섬유(10)가 상기 실크인 경우, 인 시츄 공정으로 상기 제1 전기장 인가에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에, 0.05 V/nm 초과 내지 10 V/nm 미만의 직류 저전압으로 인가될 수 있다. 이에 따라, 본 출원 공정은 간편하고 효율적일 수 있다. 또는, 상기 제1 전기장 및 제2 전기장 인가는 각각 별도의 공정으로 수행될 수도 있다. 이에 따라, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 복수의 섬유 가닥(11) 사이의 거리가 상기 제1 거리(d1) 보다 짧은 제2 거리(d2)로 좁혀진 상기 강화 단백질 섬유(20)가 제조될 수 있다. 즉, 본 출원에 의하면, 상기 강화 단백질 섬유(20)는, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 복수의 섬유 가닥(11) 사이의 거리가 상기 제1 거리(d1, 도 3 참조)에서 상기 제2 거리(d2, 도 5 참조)로 좁혀지기 때문에, 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 작은 부피를 가질 수 있다.
- [0053] 한편, 상기 제2 전기장은, 상기 예비 단백질 섬유(10)의 종류에 따라 인가되는 세기가 달라질 수 있다. 예를 들어, 상기 예비 단백질 섬유(10)가 동일 원자 수를 가지는 참조 단백질 섬유 대비 상기 결정질 영역(cr)에서 상대적으로 큰 부피를 가지는 경우, 상기 제2 전기장의 세기는 강해질 수 있다. 반면에, 상기 예비 단백질 섬유(10)가 동일 원자 수를 가지는 참조 단백질 섬유 대비 상대적으로 작은 부피를 가지는 경우, 상기 제2 전기장의 세기는 약질 수 있다.
- [0054] 일 실시 예에 따르면, 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a~11c)은, 도 6에 도시된 바와 같이, 상기 예비 단백질 섬유(10) 및 상기 강화 단백질 섬유(20)의 상기 결정질 영역(cr)에서, 상기 z축 방향으로 나란하게 서로 정방향으로 배열될 수 있다.
- [0055] 도 7을 참조하면, 본 출원에서 상기 정방향으로 배열되는 것은, 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b, 11c 또는 11d, 11e, 11f 또는 11g, 11h, 11i 또는 11j, 11k, 11l, 또는 11m, 11n, 11o)이 상기 z축 방향으로 적층 배열되되, 도 8A를 참조하면, 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b)의 양 말단이 동일한 작용기를 가지도록 배열되는 것을 의미할 수 있다. 다시 말해, 도 8A를 참조하면 상기 z축 방향으로 적층된 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b) 중에서, 제1 섬유 가닥(11a)의 일 말단, 및 상기 z축 방향으로 상기 제1 섬유 가닥(11a)에 인접한 제2 섬유 가닥(11b)의 일 말단은 동일한 작용기(C-terminus)를 포함할 수 있고, 상기 제1 섬유 가닥(11a)의 타 말

단 및 상기 인접한 상기 제2 섬유 가닥(11b)의 타 말단이 동일한 작용기(N-terminus)를 가질 수 있다.

[0056] 상술된 바와 같이, 상기 예비 단백질 섬유(10)의 상기 결정질 영역(cr)에서, 상기 복수의 섬유 가닥(11)이 상기 z축 방향으로 나란하게 서로 정방향으로 배열되는 경우, 상기 복수의 섬유 가닥(11)에 포함된 상기 수소 결합(22)을 형성하는 원자들 간의 거리가 멀 수 있다. 이에 따라, 상기 예비 단백질 섬유(10)에는, 상기 수소 결합(22)을 미-형성한 원자들이 존재할 수 있다. 한편, 상기 예비 단백질 섬유(10)에, 상기 z축 방향의 상기 제2 전기장이 인가되면, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 원자간의 거리가 좁혀져 상기 수소 결합(22)을 미-형성한 원자들은 상기 수소 결합(22)을 형성할 수 있다. 따라서, 상기 강화 단백질 섬유(20)와 상기 예비 단백질 섬유(10)는 동일한 원자 수를 가지되, 상기 강화 단백질 섬유(20)는, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 예비 단백질 섬유(10)의 상기 제1 수소 결합 수 보다 많은 제2 수소 결합 수를 가질 수 있다. 이에 따라, 상기 강화 단백질 섬유(20)는, 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 높은 영률 및 인장강도를 가질 수 있다.

[0058] 이하, 본 출원의 변형 예가 설명된다.

[0059] 이하 설명되는 본 출원의 변형 예에서 앞서 설명된 실시 예와 중복되는 설명은 생략될 수도 있다. 하지만, 이하에서 중복되는 설명이 생략된다고 하여서 이를 배제하는 것은 아니며, 이하에서 중복되는 설명은 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.

[0061] 도 7은 본 출원의 변형 예에 따른 강화 단백질 섬유를 설명하기 위한 도면이고, 도 8은 본 출원의 변형 예에 따른 강화 단백질 섬유를 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

[0062] 도 7을 참조하면, 본 출원의 변형 예에서는, 앞서 설명된 실시 예와 동일하되, 상기 x축 방향과 x-y평면을 형성하는 방향으로 정의되는 y축 방향의 전기장이, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 인가될 수 있다.

[0063] 도 7 및 도 8A를 참조하면, 앞서 설명된 실시 예에서, 상기 복수의 섬유 가닥(11)은, 상기 예비 단백질 섬유(10) 및 상기 강화 단백질 섬유(20)의 상기 결정질 영역(cr)에서, 상기 z축 방향으로 나란하게 서로 정방향으로 배열될 수 있다.

[0064] 본 출원에서 상기 정방향으로 배열되는 것은, 도 7에 도시된 바와 같이 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b, 11c 또는 11d, 11e, 11f 또는 11g, 11h, 11i 또는 11j, 11k, 11l, 또는 11m, 11n, 11o)이 상기 z축 방향으로 적층 배열되되, 도 8A에 도시된 바와 같이 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b)의 양 말단이 동일한 작용기를 가지도록 배열되는 것을 의미할 수 있다. 다시 말해, 도 8A를 참조하면 상기 z축 방향으로 적층된 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b) 중에서, 제1 섬유 가닥(11a)의 일 말단, 및 상기 z축 방향으로 상기 제1 섬유 가닥(11a)에 인접한 제2 섬유 가닥(11b)의 일 말단은 동일한 작용기(C-terminus)를 포함할 수 있고, 상기 제1 섬유 가닥(11a)의 타 말단 및 상기 인접한 상기 제2 섬유 가닥(11b)의 타 말단이 동일한 작용기(N-terminus)를 가질 수 있다.

[0065] 상술된 바와 같이, 상기 예비 단백질 섬유(10)의 상기 결정질 영역(cr)에서, 상기 복수의 섬유 가닥(11)이 상기 z축 방향으로 나란하게 서로 정방향으로 배열되는 경우, 상기 복수의 섬유 가닥(11)에 포함된 상기 수소 결합(22)을 형성하는 원자들 간의 거리가 멀 수 있다. 이에 따라, 상기 예비 단백질 섬유(10)에는, 상기 수소 결합(22)을 미-형성한 원자들이 존재할 수 있다. 한편, 상기 예비 단백질 섬유(10)에, 상기 z축 방향의 상기 제2 전기장이 인가되면, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 원자간의 거리가 좁혀져 상기 수소 결합(22)을 미-형성한 원자들은 상기 수소 결합(22)을 형성할 수 있다. 따라서, 상기 강화 단백질 섬유(20)와 상기 예비 단백질 섬유(10)는 동일한 원자 수를 가지되, 상기 강화 단백질 섬유(20)는, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 예비 단백질 섬유(10)의 상기 제1 수소 결합 수 보다 많은 제2 수소 결합 수를 가질 수 있다. 이에 따라, 상기 강화 단백질 섬유(20)는, 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 높은 영률 및 인장강도를 가질 수 있다.

[0066] 한편, 도 7 및 도 8B를 참조하면, 본 출원의 변형 예에서, 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11d)은, 상기 예비 단백질 섬유(10) 및 상기 강화 단백질 섬유의 상기 결정질 영역(cr)에서, 상기 y축 방향으로 나란하게 서로 역방향으로 배열될 수 있다.

[0067] 본 출원에서 상기 역방향으로 배열되는 것은, 도 7에 도시된 바와 같이 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11d, 11g, 11j, 11m 또는 11b, 11e, 11h, 11k, 11n 또는 11c, 11f, 11i, 11l, 11o)이 상기 y축 방향으로 적층 배열

되되, 도 8B에 도시된 바와 같이 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11d)의 양 말단이 서로 다른 작용기를 가지도록 배열되는 것을 의미할 수 있다. 다시 말해, 도 8B를 참조하면 상기 y축 방향으로 적층된 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11d) 중에서, 상기 제1 섬유 가닥(11a)의 일 말단, 및 상기 y축 방향으로 상기 제1 섬유 가닥(11a)에 인접한 제3 섬유 가닥(11d)의 일 말단은 서로 다른 작용기(각각 C-terminus 및 N-terminus)를 포함할 수 있고, 상기 제1 섬유 가닥(11a)의 타 말단 및 상기 인접한 상기 제3 섬유 가닥(11d)의 타 말단이 동일한 작용기(각각 C-terminus 및 N-terminus)를 가질 수 있다.

[0068] 상술된 바와 같이, 상기 예비 단백질 섬유(10)의 상기 결정질 영역(cr)에서, 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11d)이, 상기 y축 방향으로 나란하게 서로 역방향으로 배열되는 경우, 상기 복수의 섬유 가닥(11)에 포함된 상기 수소 결합(22)을 형성하는 원자들 간의 거리가 짧을 수 있다. 이에 따라, 상기 예비 단백질 섬유(10)는, 상기 결정질 영역(cr)에서 대부분 상기 수소 결합(22)이 형성될 수 있다. 한편, 상기 예비 단백질 섬유(10)에, 상기 y축 방향의 전기장이 인가되면, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 원자간의 거리가 좁혀져 상기 수소 결합(22)을 미-형성한 원자들은 상기 수소 결합(22)을 형성할 수 있다. 따라서, 본 출원의 변형 예에 따른 강화 단백질 섬유와 상기 예비 단백질 섬유(10)는 동일한 원자 수를 가지되, 본 출원의 변형 예에 따른 강화 단백질 섬유는, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 많은 수소 결합 수를 가질 수 있다. 한편, 본 출원의 변형 예에 따른 강화 단백질 섬유는, 상기 결정질 영역(cr)에서 앞서 설명된 실시 예에 따른 강화 단백질 섬유(20) 보다 작은 수소 결합 수를 가질 수 있다. 따라서, 본 출원의 변형 예에 따라 제조된 강화 단백질 섬유는, 상기 예비 단백질 섬유(10)와 동일한 영률을 가지되, 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 높은 인장강도를 가질 수 있다.

[0069] 정리하면, 상기 복수의 섬유 가닥(11)에 상기 x축 방향의 상기 제1 전기장이 인가되어, 상기 복수의 섬유 가닥(11)이 도 7에 도시된 바와 같이 상기 x축 방향으로 배향되는 경우, 상기 x축 방향으로 배향된 상태에서 상기 z축 방향으로 적층 배열된 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b, 11c 또는 11d, 11e, 11f 또는 11g, 11h, 11i 또는 11j, 11k, 11l, 또는 11m, 11n, 11o)은 상기 정방향으로 배열되고, 상기 x축 방향으로 배향된 상태에서 상기 y축 방향으로 적층 배열된 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11d, 11g, 11j, 11m 또는 11b, 11e, 11h, 11k, 11n 또는 11c, 11f, 11i, 11l, 11o)은 상기 역방향으로 배열될 수 있다.

[0070] 한편, 상기 y축 방향으로 적층 배열된 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11d, 11g, 11j, 11m 또는 11b, 11e, 11h, 11k, 11n 또는 11c, 11f, 11i, 11l, 11o)은 원자들 간의 거리가 짧기 때문에 대부분 이미 상기 수소 결합(22)을 형성하였을 수 있다. 반면에, 상기 z축 방향으로 적층 배열된 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b, 11c 또는 11d, 11e, 11f 또는 11g, 11h, 11i 또는 11j, 11k, 11l, 또는 11m, 11n, 11o)은 원자들 간의 거리가 멀기 때문에 상기 수소 결합(22)을 미-형성한 원자들이 존재할 수 있다. 따라서, 상기 z축 방향의 상기 제2 전기장이 인가되면, 상기 y축 방향으로 적층 배열된 상기 복수의 섬유 가닥(11: 11a, 11b, 11c 또는 11d, 11e, 11f 또는 11g, 11h, 11i 또는 11j, 11k, 11l, 또는 11m, 11n, 11o)은, 상기 수소 결합(22)을 미-형성하였던 원자들 간에 거리가 좁혀질 수 있고, 이로 인해 상기 수소 결합(22)을 형성할 수 있다.

[0071] 이상 설명된 본 출원의 실시 예 및 변형 예에 따르면, 상기 결정질 영역(cr)과 상기 비-결정질 영역(am)을 교번하여 포함하고, 일 방향으로 적층되어 배열된 복수의 섬유 가닥(11)을 포함하되, 상기 결정질 영역(cr)에서 상기 복수의 섬유 가닥(11)의 부피는, 상기 비-결정질 영역(am)에서 상기 복수의 섬유 가닥(11)의 부피보다 작은, 강화 단백질 섬유가 제공될 수 있다.

[0072] 앞서 설명된 본 출원의 실시 예에 따르면, 상기 복수의 섬유 가닥(11)이, 상기 z축 방향으로 나란하게 서로 정방향으로 배열된 경우, 상기 z축 방향의 전기장이 인가됨에 따라, 상기 강화 단백질 섬유(20)는, 동일한 원자 수를 가지는 참조 단백질 섬유 보다 높은 영률 및 인장강도를 가질 수 있다.

[0073] 한편, 앞서 설명된 본 출원의 변형 예에 따르면, 상기 복수의 섬유 가닥(11)이, 상기 y축 방향으로 나란하게 서로 역방향으로 배열된 경우, 상기 y축 방향의 전기장이 인가됨에 따라, 상기 강화 단백질 섬유는, 동일한 원자 수를 가지는 참조 단백질 섬유와 동일한 영률을 가지되, 상기 참조 단백질 섬유 보다 높은 인장강도를 가질 수 있다.

[0074] 즉, 본 출원의 실시 예 및 변형 예에 따르면, 상기 강화 단백질 섬유는, 영률 및 인장강도가 모두 향상되거나, 인장강도가 선택적으로 향상될 수 있다. 따라서, 본 출원의 실시 예 및 변형 예에 의하면, 용도별로 영률 및/또는 인장강도가 제어된 강화 단백질 섬유가 제공될 수 있다.

- [0076] 이하, 본 출원의 실험 예가 설명된다.
- [0077] 실험 예 1-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex1-1)의 제조
- [0078] 상기 예비 단백질 섬유(10)로 실크를 준비하였다.
- [0079] 수용액 분위기에서 특정 전위와 기준 전위의 차를 이용하여, 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 x축 방향의 0.05 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 상기 예비 단백질 섬유(10)를 상기 x축 방향으로 배향시켰다.
- [0080] 수용액 분위기에서 특정 전위와 기준 전위의 차를 이용하여, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 x축 방향의 0.05 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 1-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex1-1)를 제조하였다.
- [0082] 실험 예 1-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex1-2)의 제조
- [0083] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 0.05 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 1-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex1-2)를 제조하였다.
- [0085] 실험 예 1-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex1-3)의 제조
- [0086] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.05 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 1-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex1-3)를 제조하였다.
- [0088] 실험 예 2-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-1)의 제조
- [0089] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 x축 방향의 0.1 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 2-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-1)를 제조하였다.
- [0091] 실험 예 2-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-2)의 제조
- [0092] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 0.1 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 2-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-2)를 제조하였다.
- [0094] 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)의 제조
- [0095] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)를 제조하였다.
- [0097] 실험 예 3-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex3-1)의 제조
- [0098] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 x축 방향의 0.6 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 3-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex3-1)를 제조하였다.
- [0100] 실험 예 3-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex3-2)의 제조
- [0101] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 0.6 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 3-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex3-2)를 제조하였다.
- [0103] 실험 예 3-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex3-3)의 제조
- [0104] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.6 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 3-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex3-3)를 제조하였다.

- [0106] 실험 예 4-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex4-1)의 제조
- [0107] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 x축 방향의 1.0 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 4-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex4-1)를 제조하였다.
- [0109] 실험 예 4-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex4-2)의 제조
- [0110] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 1.0 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 4-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex4-2)를 제조하였다.
- [0112] 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex4-3)의 제조
- [0113] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 1.0 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex4-3)를 제조하였다.
- [0115] 실험 예 5-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex5-1)의 제조
- [0116] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 x축 방향의 10 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 5-1에 따른 강화 단백질 섬유(ex5-1)를 제조하였다.
- [0118] 실험 예 5-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex5-2)의 제조
- [0119] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 10 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 5-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex5-2)를 제조하였다.
- [0121] 실험 예 5-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex5-3)의 제조
- [0122] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 10 V/mm의 직류 저전압을 인가하여, 실험 예 5-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex5-3)를 제조하였다.
- [0124] 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)의 준비
- [0125] 상술된 실험 예 1-1(ex1-1)에서, 상기 예비 단백질 섬유(10)에 어떠한 전기장도 인가하지 않고, 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)를 준비하였다.
- [0127] 상술된 실험 예 1-1 내지 실험 예 6(ex1-1~ex6)은 아래 표 1과 같이 정리될 수 있다.

표 1

구분	전기장의 축 방향	전기장의 세기
실험 예 1-1(ex1-1)	x축	0.05 V/mm
실험 예 1-2(ex1-2)	y축	0.05 V/mm
실험 예 1-3(ex1-3)	z축	0.05 V/mm
실험 예 2-1(ex2-1)	x축	0.1 V/mm
실험 예 2-2(ex2-1)	y축	0.1 V/mm
실험 예 2-3(ex2-1)	z축	0.1 V/mm
실험 예 3-1(ex3-1)	x축	0.6 V/mm
실험 예 3-2(ex3-2)	y축	0.6 V/mm
실험 예 3-3(ex3-3)	z축	0.6 V/mm
실험 예 4-1(ex4-1)	x축	1.0 V/mm

실험 예 4-2(ex4-2)	y축	1.0 V/mm
실험 예 4-3(ex4-3)	z축	1.0 V/mm
실험 예 5-1(ex5-1)	x축	10 V/mm
실험 예 5-2(ex5-2)	y축	10 V/mm
실험 예 5-3(ex5-3)	z축	10 V/mm
실험 예 6(ex6)	없음	없음

- [0130] 도 9는 본 출원의 실험 예 1-1 내지 실험 예 5-3에 따른 강화 단백질 섬유 및 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유의 PDB(Protein data base) 파일을 VMD(visualization of molecular dynamics)로 시각화한 이미지이다.
- [0131] 도 9를 참조하여 상기 실험 예 1-1 내지 실험 예 5-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex1-1~ex5-3)와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)를 대비하여 보면, 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)의 상기 결정질 영역(cr, 화살표로 표시)에서, 상기 복수의 섬유 가닥(11) 사이의 거리가 명확하게 짧아진 것을 관측할 수 있다. 또한, 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)에서 상기 결정질 영역(cr, 화살표로 표시)의 부피가 명확하게 감소된 것을 알 수 있다.
- [0132] 이에 따라, 본 출원의 실시 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)의 부피가 감소됨이 입증될 수 있다.
- [0134] 도 10은 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유에서 결정질 영역의 부피를 나타낸 그래프이고, 도 11은 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유에서 결정질 영역의 구조 변형을 나타낸 그래프이고, 도 12는 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유에서 결정질 영역의 수소 결합 수를 나타낸 그래프이다.
- [0135] 도 10을 참조하여 상기 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-1~ex4-3)와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)를 대비하여 보면, 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)에서 상기 결정질 영역(cr)의 부피가 명확하게 감소된 것을 알 수 있다.
- [0136] 이에 따라, 본 출원의 실시 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)의 부피가 감소됨이 입증될 수 있다.
- [0137] 한편, 도 11을 참조하여 상기 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-1~ex4-3)와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)를 대비하여 보면, 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)에서 상기 결정질 영역(cr)의 구조 변형이 증가한 것을 알 수 있다. 본 출원에서 구조 변형이라 함은, 상기 결정질 영역(cr)에서 베타 시트(beta sheet)가 형성됨을 의미할 수 있다. 또한 상기 베타 시트의 형성은, 수소 결합 수가 증가됨을 의미할 수 있다. 즉, 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)에서 상기 구조 변형이 가장 많이 일어난 것은, 상기 베타 시트가 가장 많이 형성되었고, 상기 수소 결합 수가 가장 많이 증가된 것을 의미할 수 있다.
- [0138] 이에 따라, 본 출원의 실시 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)의 베타 시트 형성 및 수소 결합 수가 증가됨이 입증될 수 있다.
- [0139] 한편, 도 12를 참조하여 상기 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-1~ex4-3)와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)를 대비하여 보면, 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)에서 상기 결정질 영역(cr)의 수소 결합 수가 명확하게 증가된 것을 알 수 있다.
- [0140] 이에 따라, 본 출원의 실시 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)의 수소 결합 수가 증가됨이 입증될 수 있다.
- [0141] 또한, 도 12를 참조하면, 상기 실험 예 2-3(ex2-3) 다음으로 상기 실험 예 2-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-2)에서 상기 결정질 영역(cr)의 수소 결합 수가 많이 증가된 것을 알 수 있다.

- [0142] 이에 따라, 본 출원의 변형 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유의 수소 결합 수가 증가됨이 입증될 수 있다.
- [0143] 도 10 내지 도 12를 참조하면, 본 출원의 실험 예를 통하여, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)의 부피가 감소하고, 베타 시트가 형성되고, 수소 결합 수가 증가되는 것을 알 수 있다. 따라서, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)는 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 높은 영률 및 인장강도를 가질 수 있다.
- [0144] 한편, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유의 수소 결합 수가 증가되는 것을 알 수 있다. 따라서, 상기 y축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유는 상기 예비 단백질 섬유(10)와 동일한 영률을 가지되, 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 높은 인장강도를 가질 수 있다.
- [0146] 도 13은 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유의 영률(Young's modulus)을 나타낸 그래프이고, 도 14는 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유의 최대 인장강도(ultimate tensile strength)을 나타낸 그래프이고, 도 15는 본 출원의 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유의 인성(toughness)을 나타낸 그래프이다.
- [0147] 도 13을 참조하여 상기 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-1~ex4-3)와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)를 대비하여 보면, 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)의 영률이 명확하게 증가된 것을 알 수 있다.
- [0148] 이에 따라, 본 출원의 실시 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)의 영률이 증가됨이 입증될 수 있다.
- [0149] 또한, 도 13을 참조하면, 상기 실험 예 2-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-2)의 영률이 오차 범위 내에서 유지되는 것을 알 수 있다. 이는 즉, 상기 실험 예 2-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-2)와 상기 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)가 실질적으로 동일한 영률을 가지는 것을 의미할 수 있다.
- [0150] 이에 따라, 본 출원의 변형 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유의 영률은, 오차 범위 내에서 상기 예비 단백질 섬유(10)와 동일함이 입증될 수 있다.
- [0151] 한편, 도 14를 참조하여 상기 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-1~ex4-3)와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)를 대비하여 보면, 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-3)의 최대 인장강도가 명확하게 증가된 것을 알 수 있다.
- [0152] 이에 따라, 본 출원의 실시 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)의 인장강도가 증가됨이 입증될 수 있다.
- [0153] 또한, 도 14를 참조하면, 상기 실험 예 2-3(ex2-3) 다음으로 상기 실험 예 2-2에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-2)의 최대 인장강도가 많이 증가된 것을 알 수 있다.
- [0154] 이에 따라, 본 출원의 변형 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유의 인장강도가 증가됨이 입증될 수 있다.
- [0155] 한편, 도 15를 참조하여 상기 실험 예 2-1 내지 실험 예 4-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-1~ex4-3)와 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)를 대비하여 보면, 상기 실험 예 2-2 및 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-2, ex2-3)의 인성이 오차 범위 내에서 유지되는 것을 알 수 있다. 이는 즉, 상기 실험 예 2-2 및 상기 실험 예 2-3에 따른 강화 단백질 섬유(ex2-2, ex2-3)와, 상기 실험 예 6에 따른 예비 단백질 섬유(ex6)가 실질적으로 동일한 인성을 가지는 것을 의미할 수 있다.
- [0156] 이는, 본 출원의 실험 예에 따르면, 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 전기장 또는 상기 y축 방향

의 전기장을 인가하는 경우, 상기 인성을 제어하는 상기 비-결정질 영역(am)에서 상기 전기장의 영향이 최소화되는 것을 의미할 수 있다.

[0157] 이에 따라, 본 출원의 변형 예에 따라 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장 또는 상기 y축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(10)의 인성은 오차 범위 내에서 상기 예비 단백질 섬유(10)와 동일함이 입증될 수 있다.

[0158] 도 13 내지 도 15를 참조하면, 본 출원의 실험 예를 통하여, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 z축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유(20)는 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 높은 영률 및 인장강도를 가짐을 알 수 있다.

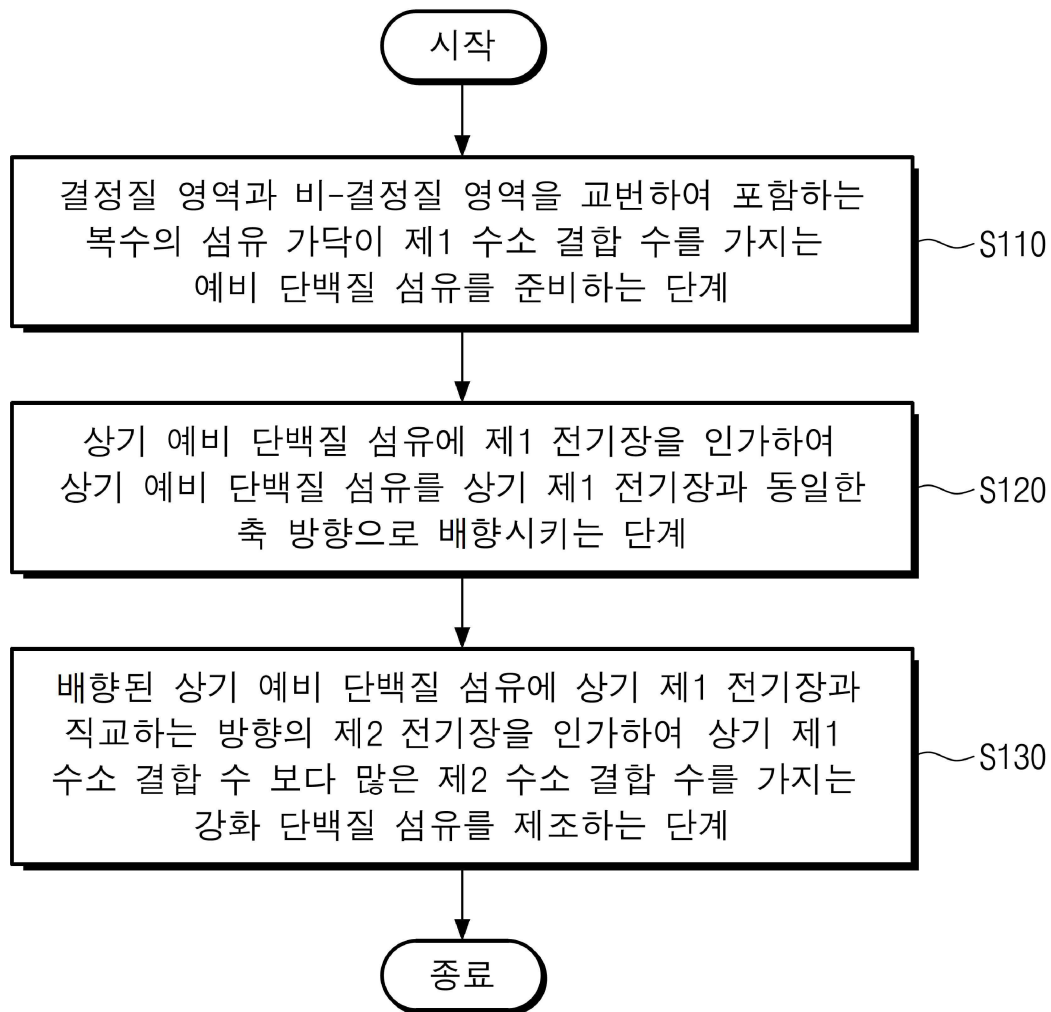
[0159] 한편, 상기 x축 방향으로 배향된 상기 예비 단백질 섬유(10)에 상기 y축 방향의 0.1 V/nm 전기장이 인가되는 경우, 제조되는 상기 강화 단백질 섬유는 상기 예비 단백질 섬유(10)와 동일한 영률을 가지되, 상기 예비 단백질 섬유(10) 보다 높은 인장강도를 가짐을 알 수 있다.

[0160] 이로써, 본 출원의 실험 예에 따라, 상기 강화 단백질 섬유는, 영률 및 인장강도가 모두 향상되거나, 인장강도가 선택적으로 향상될 수 있음이 입증될 수 있다.

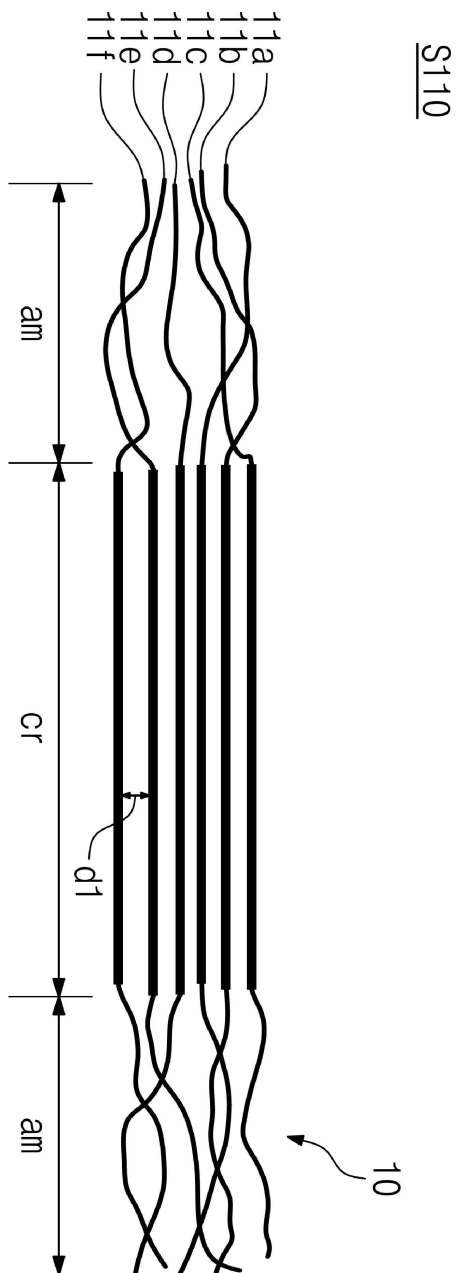
[0162] 이상, 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

도면

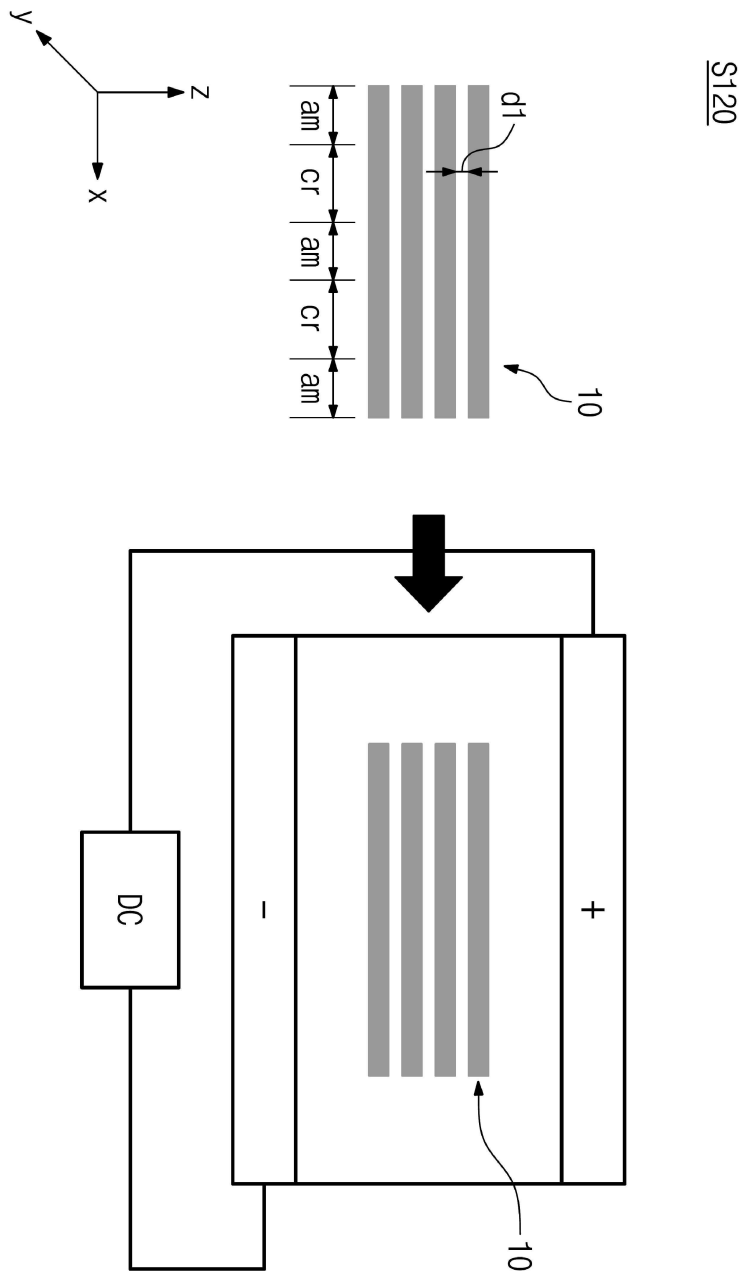
도면1



도면2

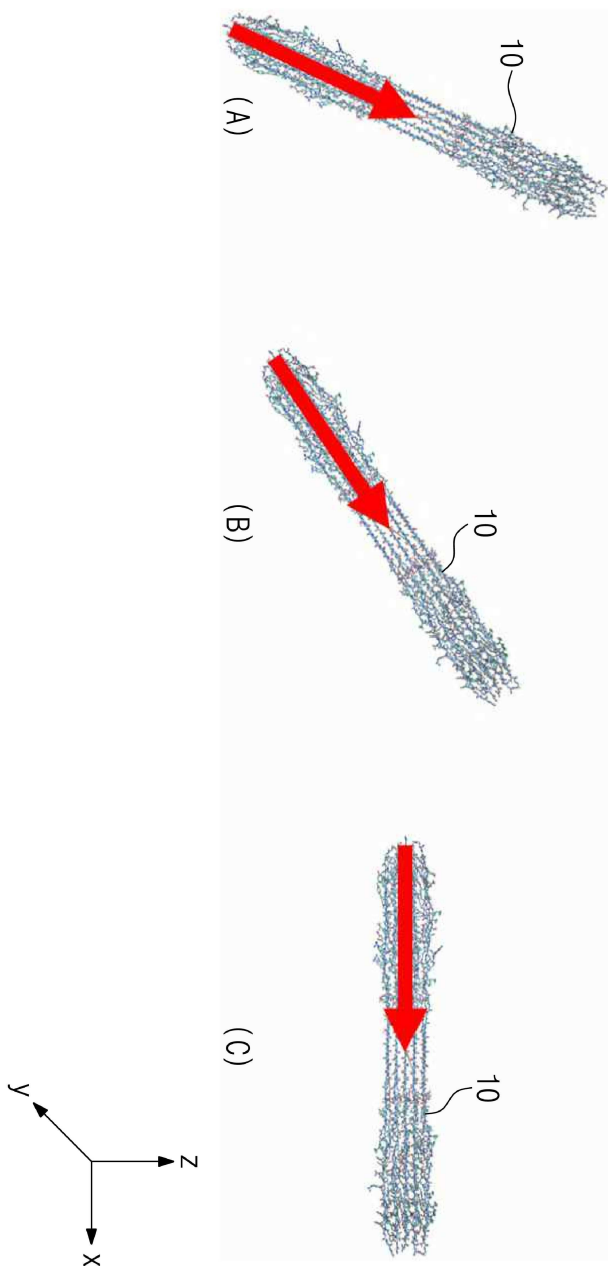


도면3

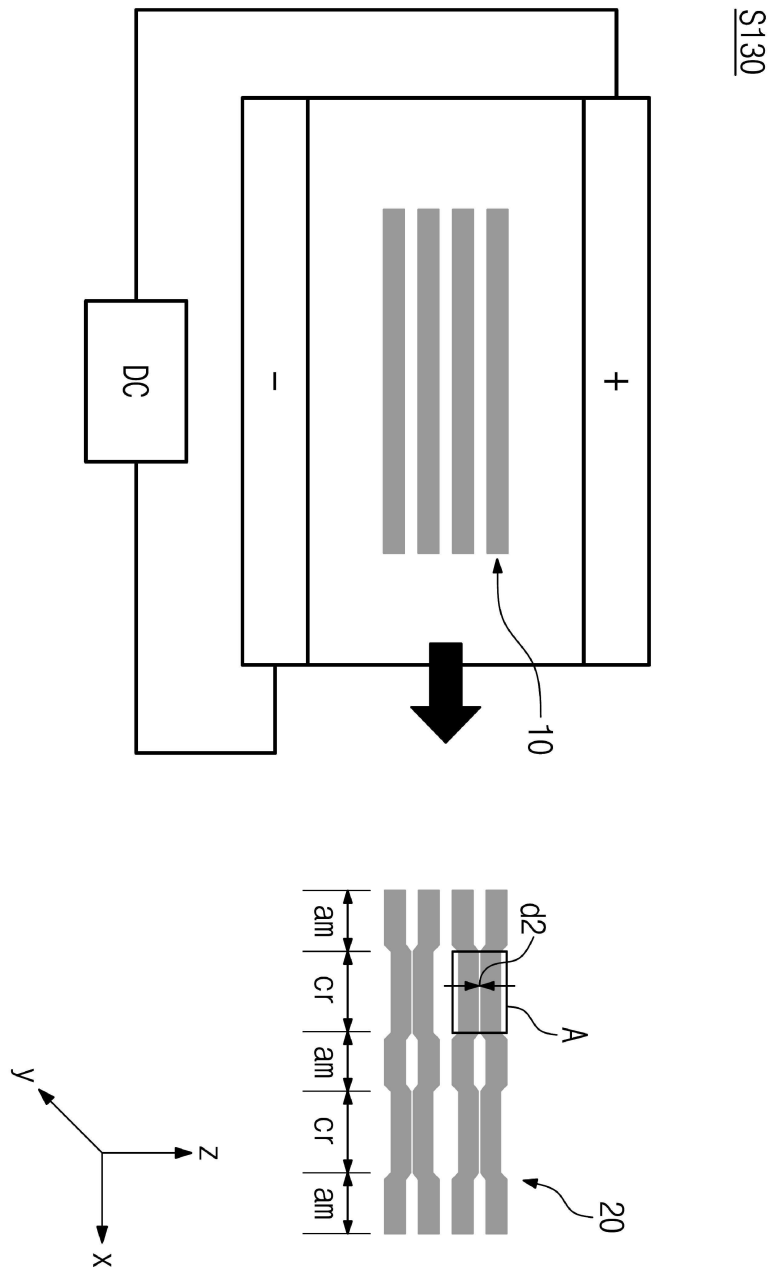


S120

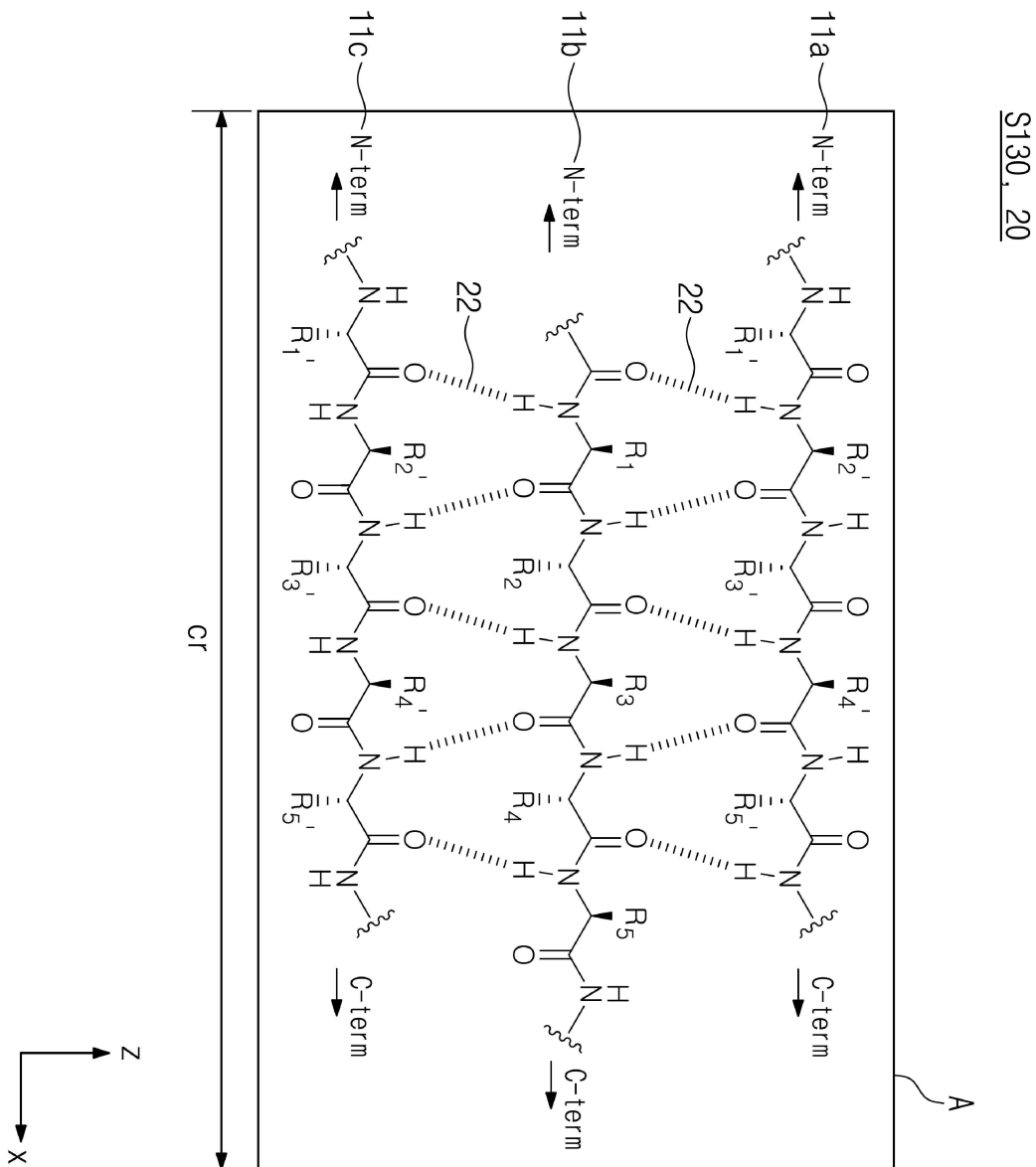
도면4



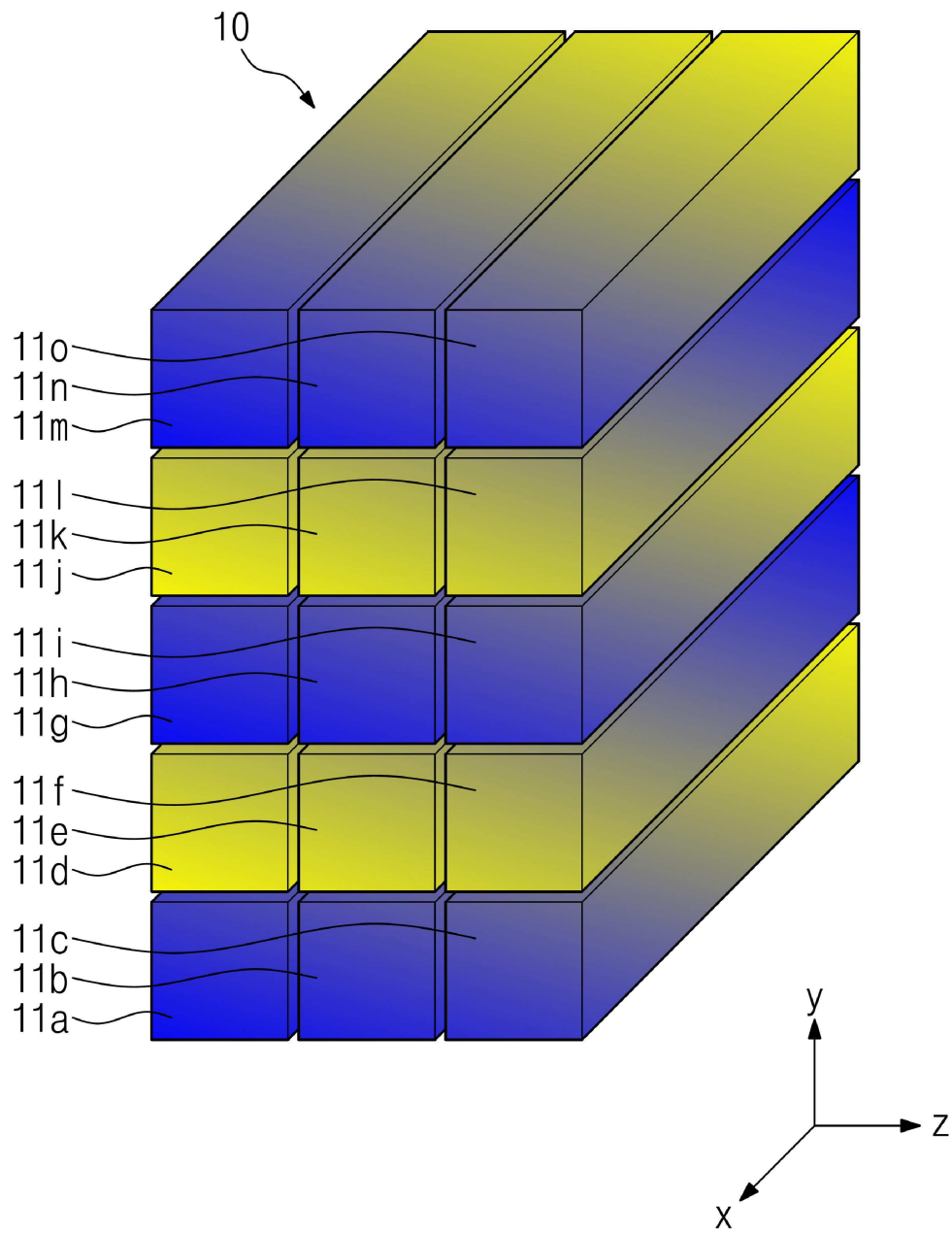
도면5



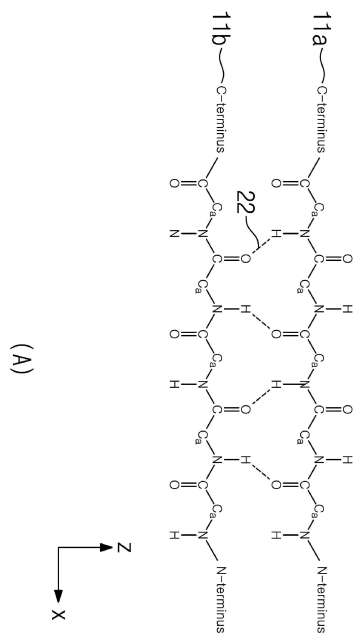
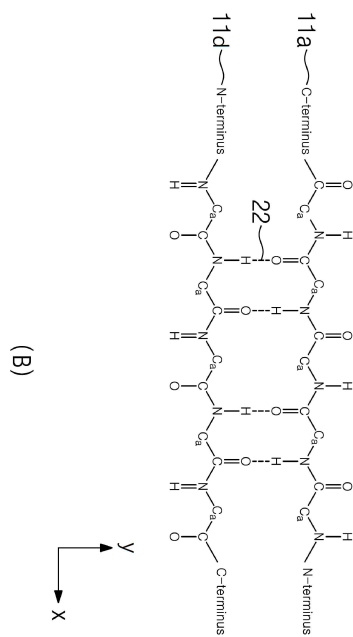
도면6



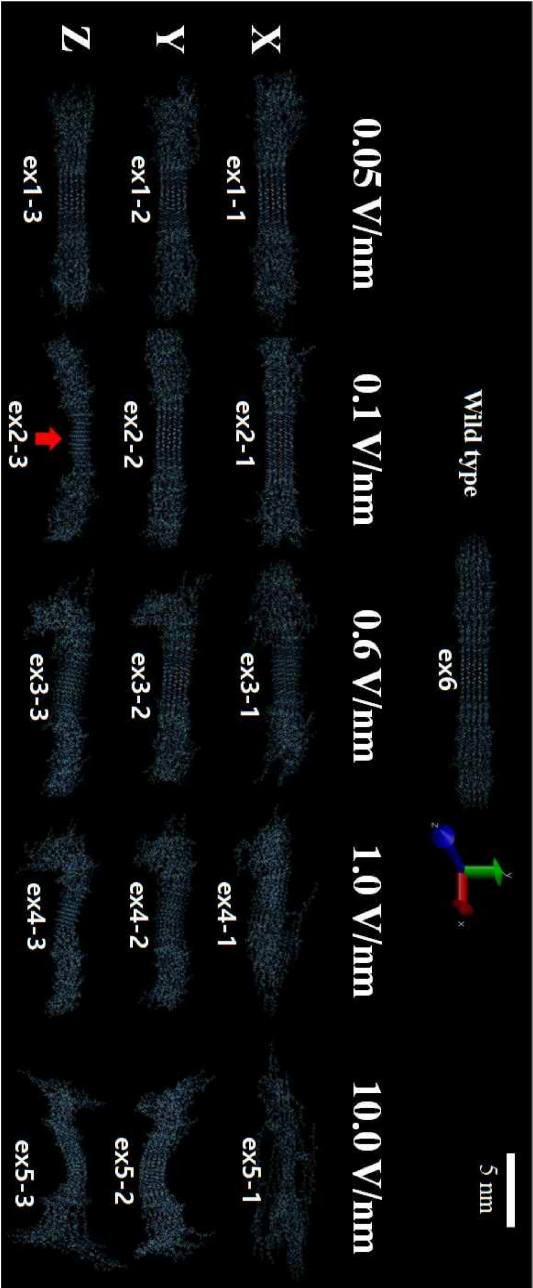
도면7



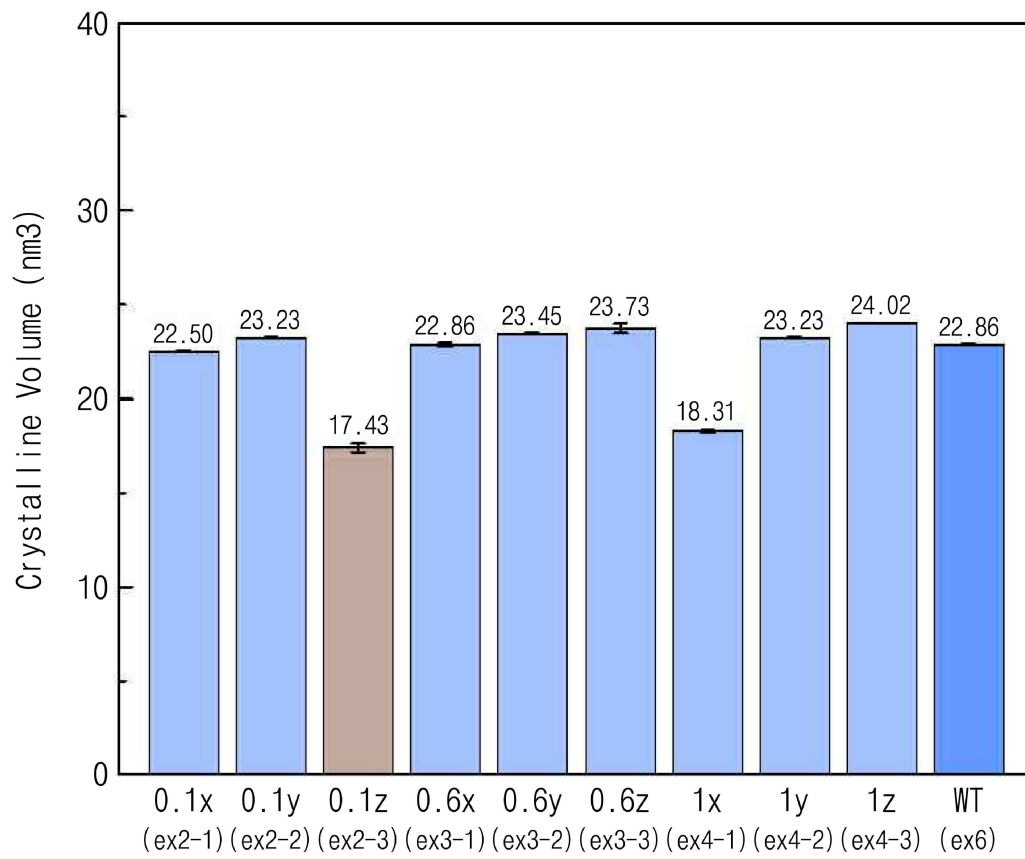
도면8



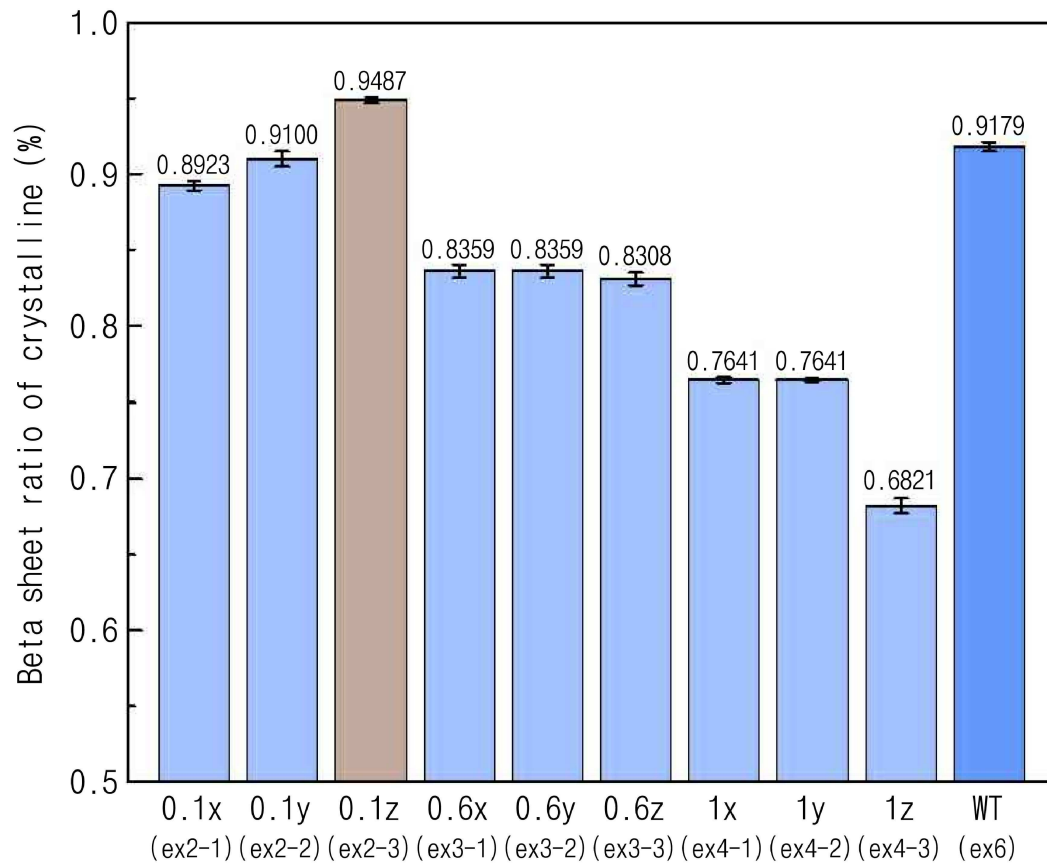
도면9



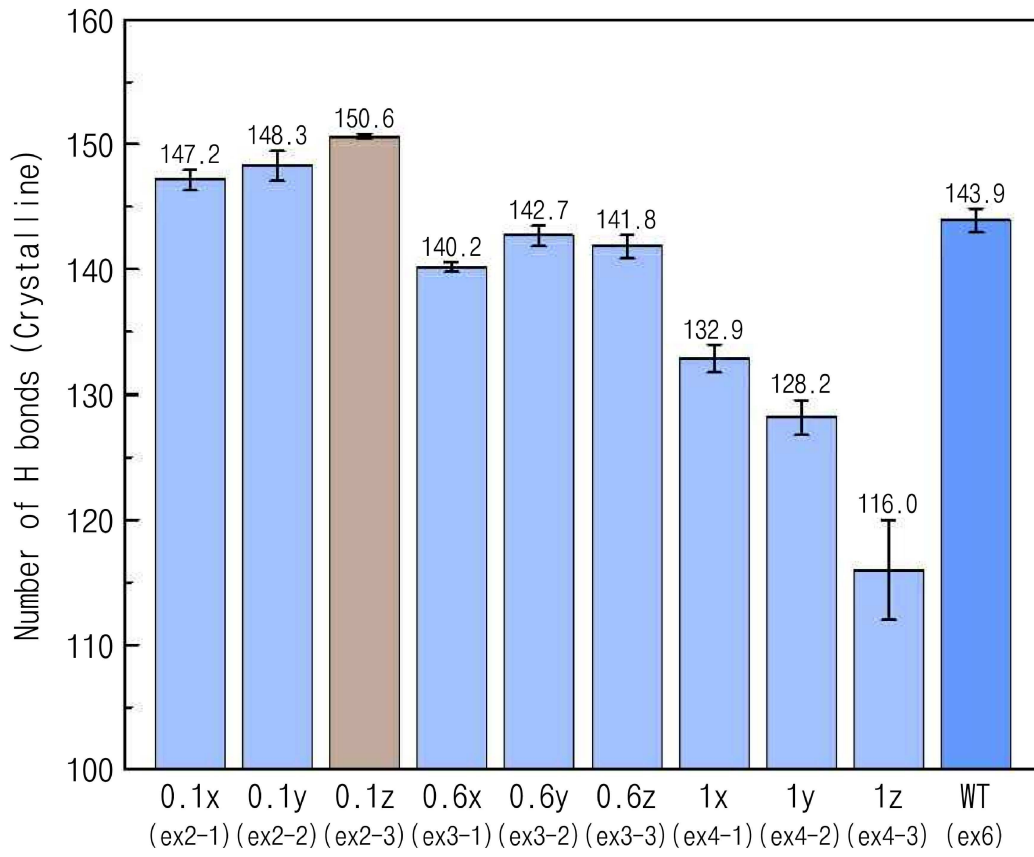
도면10



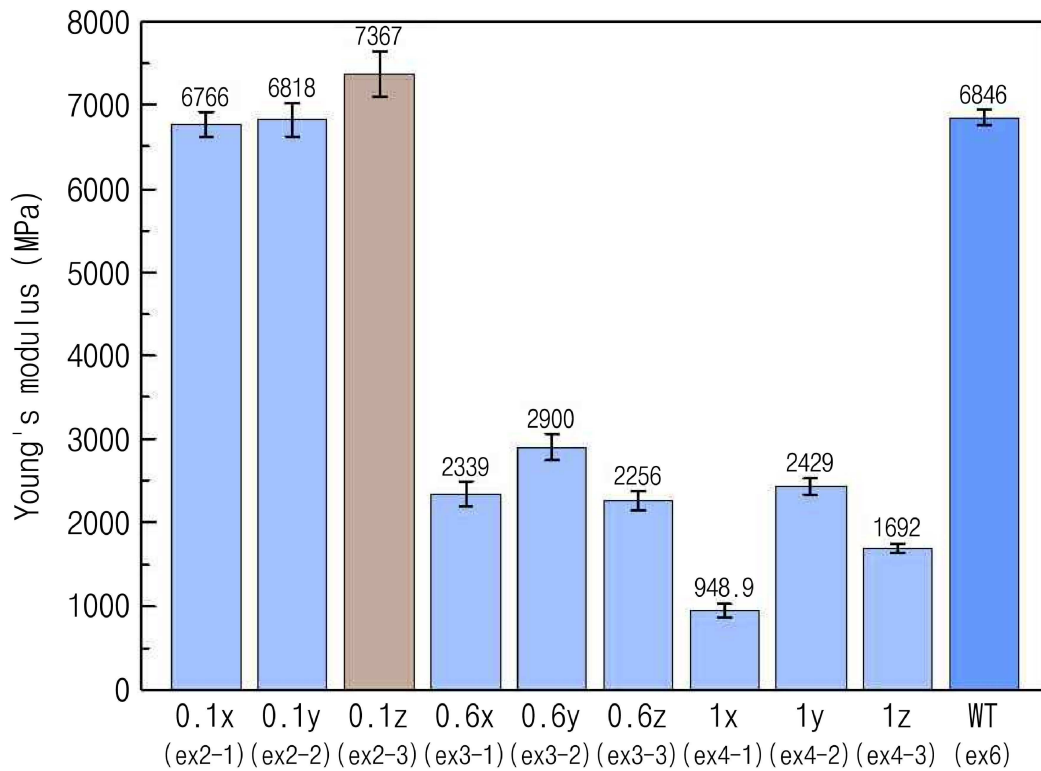
도면11



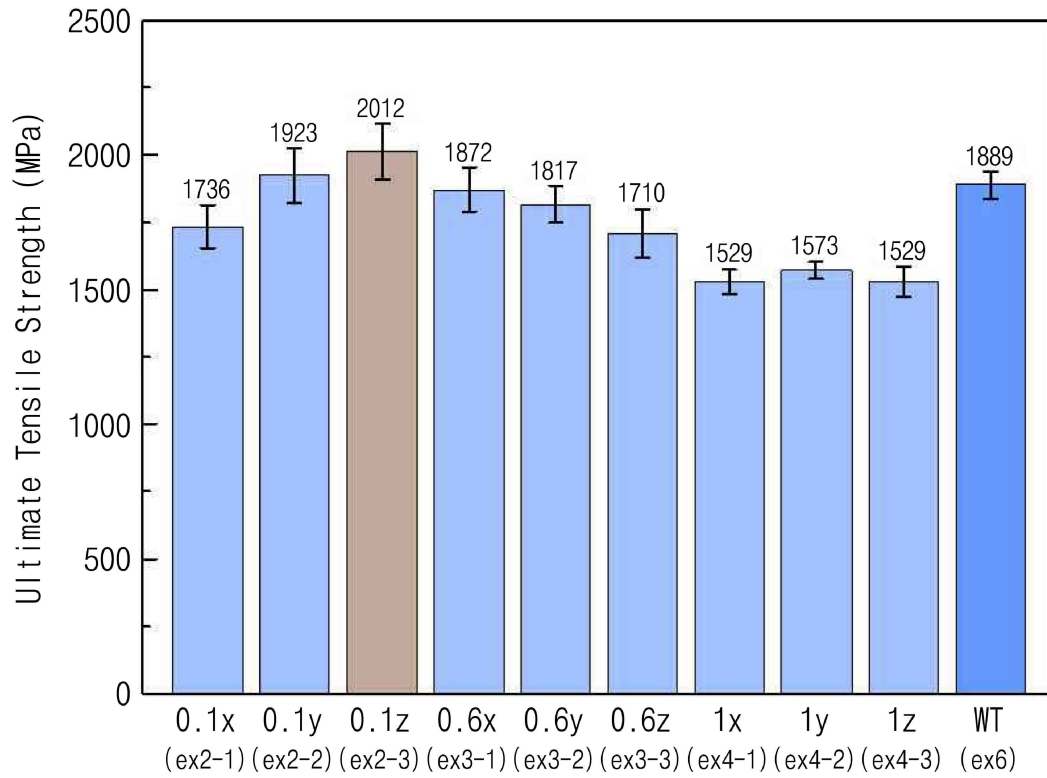
도면12



도면13



도면14



도면15

