



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0133700
(43) 공개일자 2019년12월03일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
D02G 1/20 (2006.01) D02G 1/02 (2006.01)
D02G 3/02 (2006.01) D02G 3/32 (2006.01)
D02G 3/36 (2006.01) D02G 3/38 (2006.01)
D02G 3/40 (2006.01) D06M 11/05 (2006.01)
D06M 11/84 (2006.01) D06M 101/20 (2006.01)
D06M 101/32 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
D02G 1/205 (2013.01)
D02G 1/0286 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7030170
- (22) 출원일자(국제) 2018년04월10일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2019년10월14일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2018/026941
- (87) 국제공개번호 WO 2018/191291
국제공개일자 2018년10월18일
- (30) 우선권주장
62/483,839 2017년04월10일 미국(US)

- (71) 출원인
어더 랩 엘엘씨
미국 캘리포니아주 94110 샌프란시스코 20쓰 스트리트 3101
- (72) 발명자
리들리 브렌트
미국 캘리포니아주 92646 헌팅턴 비치 선릿지 드라이브 9372
- 창진
미국 캘리포니아주 94114 샌프란시스코 다이아몬드 스트리트 650 아파트먼트 6
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
장훈

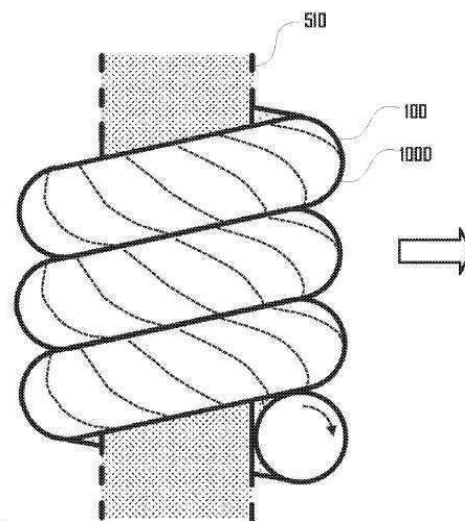
전체 청구항 수 : 총 63 항

(54) 발명의 명칭 코일형 액추에이터 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 코일형 액추에이터 섬유를 생성하는 시스템 및 방법에 관한 것이다. 상기 방법은, 섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계, 비틀림 섬유를 코어 주위로 감싸서 비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계; 및 코어의 적어도 한 부분을 제거하여 코일형 액추에이터 섬유를 생성하는 단계를 포함한다. 몇몇 양태에서, 섬유는 하나 또는 그 이상의 섬유를 포함하는 얇, 또는 단일의 기다란 요소를 포함하는 섬유일 수 있다. 몇몇 양태에서, 코어의 한 부분은 제거가능한 희생 부분을 포함한다. 제거가능한 희생 부분은 용매에 용해될 수 있거나 또는 물리적으로 제거될 수 있다. 몇몇 양태에서, 코어는 용해될 수 없는 비-용해성 부분을 추가로 포함하며, 코일형 액추에이터를 생성하는 방법은 코어 상에서 비틀림 섬유를 처리하여 희생 부분을 제거하고 비-용해성 부분을 남김으로써 희생 부분을 제거하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도5a



(52) CPC특허분류

D02G 3/02 (2013.01)
D02G 3/326 (2013.01)
D02G 3/36 (2013.01)
D02G 3/38 (2013.01)
D02G 3/406 (2013.01)
D06M 11/05 (2013.01)
D06M 11/84 (2013.01)
D06M 2101/20 (2013.01)
D06M 2101/32 (2013.01)

(72) 발명자

메이크란츠 사라

미국 오리건주 97214 힐스버러 노쓰이스트 2번 애
비뉴 540 유닛 비

오브라이언 코너 에드워드

미국 캘리포니아주 94110 샌 프란시스코 케프 스트
리트 414

명세서

청구범위

청구항 1

사용자의 신체의 일부분을 적어도 부분적으로 둘러싸며 착용하도록 구성된 열 적응식 의복을 형성하는 방법에 있어서, 열 적응식 의복은:

복수의 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하되, 복수의 코일형 액츄에이터 섬유들은 각각:

섬유를 비틀어서 25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가진 고-비틀림 섬유를 생성하는 단계;

고-비틀림 섬유를 희생 코어 주위로 감싸서 고-비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계;

희생 코어에 배열된 고-비틀림 섬유 코일에 열 또는 화학적 설정 제재를 제공함으로써 고-비틀림 섬유를 설정하는 단계; 및

희생 코어를 용매에 용해시킴으로써 희생 코어를 제거하여 다음 특성들을 가진 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 단계에 의해 생성되는데, 이 특성들은:

2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C),

20°C와 똑같거나 그보다 큰 코일 부분 접촉 온도,

$|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답, 및

25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 포함하고;

이렇게 생성된 복수의 코일형 액츄에이터 섬유들을 포함하는 열 적응식 패브릭을 생성하며;

열 적응식 패브릭에 의해 형성된 의복 몸체를 생성하되, 상기 열 적응식 패브릭은:

착용하는 사용자의 신체를 향하도록 구성된 내측면을 가진 내측 부분, 및

착용하는 사용자의 외부에 있는 환경을 향하도록 구성된 외측면을 가진 외측 부분을 포함하되,

열 적응식 패브릭은 제1 환경 온도 범위에 응답하여 기저 형상을 가지도록 구성되고, 및

열 적응식 패브릭은 제1 환경 온도 범위로 상이한 제2 환경 온도 범위에 응답하여 로프팅된 형상을 가지도록 구성된 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 섬유는: 하나 또는 그 이상의 섬유를 포함하는 얇, 또는 단일의 기다란 요소를 포함하는 섬유 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 희생 코어는 물에 용해됨으로써 제거되는 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 희생 코어는 수용성 폴리머 모노필라멘트, 필라멘트 얇, 또는 스테이플 얇을 포함하는 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 희생 코어는 코일형 액츄에이터 섬유들이 패브릭 내에 통합되고 난 뒤 제거되는 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.

청구항 6

복수의 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 방법에 있어서, 각각의 복수의 코일형 액츄에이터 섬유는:

섬유를 비틀어서 25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가진 비틀림 섬유를 생성하는 단계;

비틀림 섬유를 희생 코어 주위로 감싸서 비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계;

희생 코어에 배열된 비틀림 섬유 코일에 열 또는 화학적 설정 재제를 제공함으로써 고-비틀림 섬유를 설정하는 단계; 및

희생 코어를 용매에 용해시킴으로써 희생 코어를 제거하여 다음 특성들 중 2개 이상의 특성을 가진 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 단계에 의해 생성되는데, 이 특성들은:

2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C),

20°C와 똑같거나 그보다 큰 코일 부분 접촉 온도,

$|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답, 및

25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 포함하는 것을 특징으로 하는 복수의 코일형 액츄에이터 섬유 생성 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 섬유는: 하나 또는 그 이상의 섬유 또는 그 밖의 요소를 포함하는 안, 또는 단일의 기다란 요소를 포함하는 섬유 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 복수의 코일형 액츄에이터 섬유 생성 방법.

청구항 8

코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 방법에 있어서, 상기 방법은:

섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계;

비틀림 섬유를 코어 주위로 감싸서 코일을 비틀림 섬유에 생성하는 단계; 및

코어의 적어도 한 부분을 제거하여 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 9

제8항에 있어서, 섬유는: 하나 또는 그 이상의 섬유를 포함하는 안, 또는 단일의 기다란 요소를 포함하는 섬유 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 10

제8항에 있어서, 열 또는 화학적 처리에 의해 코일형 액츄에이터 섬유를 설정하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 11

제10항에 있어서, 비틀림 섬유 코일을 설정하는 단계는 코어를 부분적으로 또는 전체적으로 제거하기 전에 수행되는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 12

제10항에 있어서, 비틀림 섬유 코일을 설정하는 단계는 코일형 액츄에이터 섬유의 스폴에 수행되는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 13

제8항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C)를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 14

제8항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 10℃와 똑같거나 그보다 큰 코일 부분 접촉 온도를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 15

제8항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 16

제8항에 있어서, 상기 방법은 2개 이상의 비틀림 섬유를 코어 주위로 감싸서 비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 17

제8항에 있어서, 코어는

- a. 용해;
- b. 화학적 반응;
- c. 또는 이들의 조합을 통해 제거되는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 18

제17항에 있어서, 코어는 제거가능한 부분과 동일한 상태 하에서 화학적으로 반응하거나 용해되지 않아서 코어의 한 부분을 남기는 제거 가능하지 않은 부분을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 19

제8항에 있어서, 섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계는 25° 보다 큰 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가지도록 섬유를 비트는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 20

제8항에 있어서, 섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계는 30° 내지 40° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가지도록 섬유를 비트는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.

청구항 21

- a. 코일형 섬유가 체온에 있을 때, 및
- b. 언로딩될 때,
코일들 사이에 물리적 공간을 코일형 섬유 액츄에이터를 형성하는 방법에 있어서,
설정 공정 동안, 코일형 섬유 액츄에이터가 팽창되거나 수축되는 것을 방지하는 물리적 제한 하에서,
코일형 섬유 액츄에이터는
- c. 열 또는
- d. 화학적 처리 중 하나 이상에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C)를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 23

제21항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형

섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 24

제21항에 있어서, 설정 단계 동안 제공되는 물리적 제한은 코일형 섬유 액츄에이터의 스펴에 제공되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 25

제21항에 있어서, 설정 단계 동안 제공되는 물리적 제한은

- c. 설정 공정 동안 코일형 섬유 액츄에이터가 팽창하거나 수축하는 것을 방지하고, 및
- d. 코일 사이에 물리적 공간이 있을 때의 한 위치에 코일형 섬유 액츄에이터를 고정시키는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 26

제21항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 121℃와 똑같거나 그보다 큰 온도에서 열 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 27

제21항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는

- c. 코일형 섬유가 실온에 있을 때 및
- d. 언로딩될 때

코일 사이에 물리적 공간을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 28

- c. 코일형 섬유가 체온에 있을 때 및
- d. 언로딩될 때,

코일 사이에 물리적 공간을 가진 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법에 있어서,

코일들이 초기에 형성되고 난 뒤, 코일형 섬유 액츄에이터는

- d. 코일을 형성하기 위해 사용되는 비틀림 방향과 반대 방향으로 비틀리고,
 - e. 초기 코일 형성 동안 섬유에 제공되는 인장보다 작은 인장 하에서 비틀리며,
 - f. 초기에 형성된 코일의 대부분이 변형되지 않은 상태로 유지되는 정도로만 비틀리고,
- 부분적으로 언트위스팅된 코일형 섬유 액츄에이터는

- c. 열 또는
- d. 화학적 처리에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 29

제28항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C)를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 30

제28항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 31

제28항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 121℃와 똑같거나 그보다 큰 온도에서 열 설정되는 것을 특징으로

하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 32

제28항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는

- e. 코일형 섬유가 실온에 있을 때 및
- f. 언로딩될 때

코일 사이에 물리적 공간을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 33

- g. 코일형 섬유가 체온에 있을 때 및
- h. 언로딩될 때,

코일 사이에 물리적 공간을 가진 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법에 있어서,
코일형 섬유 액츄에이터는

- d. 섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계,
- e. 비틀림 섬유를 희생 코어 주위로 감싸서 비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계, 및
- f. 희생 코어의 적어도 한 부분을 제거하여 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 단계에 의해 생성되며,
코일형 섬유 액츄에이터는
- c. 열 또는
- d. 화학적 처리에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 34

제33항에 있어서, 코어는 용해를 통해 제거되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 35

제33항에 있어서, 코어는 완전히 제거되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 36

제33항에 있어서, 비틀림 섬유는 코어 주위로 감싸서 코일을 생성하기 전에 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 37

제33항에 있어서, 비틀림 섬유는 20° 와 똑같거나 그보다 큰 섬유 편향각을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 38

제33항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 39

제33항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 코어를 제거하기 전에 열 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 40

제33항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는

- i. 코일형 섬유가 실온에 있을 때 및
- j. 언로딩될 때

코일 사이에 물리적 공간을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.

청구항 41

희생 코어 주위에 감기거나 감싸진 고-비틀림 섬유 또는 얇으로 제작된 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터에 있어서, 희생 코어는 부분적으로 또는 전체적으로 제거된 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터.

청구항 42

제41항에 있어서, 섬유 편향각은 25° 내지 45° 사이에 있는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터.

청구항 43

제41항에 있어서, 희생 코어는 용해를 통해 제거된 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터.

청구항 44

제41항에 있어서, 희생 코어는 물에서 용해를 통해 제거된 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터.

청구항 45

제41항에 있어서, 희생 코어는 수용성 폴리머 모노필라멘트, 필라멘트 얇, 또는 스테이플 얇인 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터.

청구항 46

제41항에 있어서, 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터는 희생 코어를 제거하기 전에 열 또는 화학적 수단에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터.

청구항 47

코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터 형성 방법에 있어서, 상기 방법은

- a. 섬유 또는 얇을 비트는 단계,
- b. 비틀림 섬유 또는 얇을 희생 코어 재료 주위로 감싸거나 코일링하는 단계, 및
- c. 희생 코어 재료를 부분적으로 또는 전체적으로 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터 형성 방법.

청구항 48

코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터에서 코일의 기하학적 형상을 변경하는 방법에 있어서, 상기 방법은

- d. 코일 형성 단계 동안 제공되는 인장과 똑같거나 그보다 작은 인장을 제공하는 단계 및
- e. 코일을 언트위스팅시켜 코일형 섬유 또는 얇 액츄에이터의 코일 지수를 증가시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일의 기하학적 형상 변경 방법.

청구항 49

제48항에 있어서, 언트위스팅 동안 제공되는 인장은 코일의 형성 동안 제공되는 인장의 50%보다 작은 것을 특징으로 하는 코일의 기하학적 형상 변경 방법.

청구항 50

제48항에 있어서, 코일의 직경은 언트위스팅 동안 모니터링되며 직경 데이터는 다음의 공정 변수 즉

- f. 인장,
- g. 업테이크 속도, 또는
- h. 비틀림 속도 중 하나 이상을 조절하는 데 사용되는 것을 특징으로 하는 코일의 기하학적 형상 변경 방법.

청구항 51

코일형 섬유 또는 안 액츄에이터의 코일 지수를 변경하기 위하여, 제1 인장 하에서는 비틀림 삽입을 통해, 그리고, 제2 인장 하에서는 언트위스팅을 통해 감겨진 고-비틀림 섬유 또는 안으로 형성된 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.

청구항 52

제51항에 있어서, 동일한 비틀림, 코일링, 및 설정 상태 하에서 형성되지만 언트위스팅 단계 없이 형성된 제2 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터는 언트위스팅 단계를 포함하는 공정으로 형성된 코일보다 낮은 코일 접촉 온도를 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.

청구항 53

제51항에 있어서,

- i. 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 지수, 또는
- j. 실온 이상의 코일 접촉 온도를 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.

청구항 54

코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 제작 방법에 있어서, 상기 방법은

- k. 제1 인장 하에서 섬유 또는 안을 비트는 단계,
- l. 다음과 같이,
- i. 코일링 지점으로 비틀림 삽입하거나, 또는
- ii. 비틀림 섬유 또는 안을 희생 코어 또는 맨드릴 주위로 감싸서 비틀림 섬유 또는 안을 코일링하는 단계, 및
- m. 제2 인장 하에서 코일을 언트위스팅하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 제작 방법.

청구항 55

제54항에 있어서, 제2 인장은 제1 인장보다 작은 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 제작 방법.

청구항 56

제54항에 있어서, 제2 인장은 제1 인장의 10% 또는 그보다 작은 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 제작 방법.

청구항 57

- n. 코일형 액츄에이터가 실온 이상에 있을 때 및
 - o. 언로딩될 때의 상태 하에서,
- 코일 사이에 물리적 공간을 가진 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터에 있어서,
- 설정 공정 동안, 팽창되거나 수축되는 것을 방지하는 물리적 제한 하에서, 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터는
- k. 열 또는
 - l. 화학적 처리에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.

청구항 58

제57항에 있어서, 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터는, 설정 전에, 실온에서 인접 코일과 접촉하는 코일을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안.

청구항 59

제57항에 있어서, 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터는, 설정 전에, 최소 인장 하에 있는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안.

청구항 60

이미지 해석과 카메라를 포함하는 센서로서,

- p. 섬유 또는 안의 상대 또는 절대 직경,
- q. 섬유 또는 안 속도, 및
- r. 섬유 또는 안 영킴의 위치로부터 하나 이상을 결정하고, 섬유 또는 안의 처리 또는 제작에 이용되는
- d. 인장,
- e. 업테이크 속도, 및
- f. 비틀림 속도로부터 변경될 수 있는 하나 이상의 공정에 대한 제작 조절 정보를 제공하는 센서.

청구항 61

제60항에 따른 센서를 사용하는 공정에서 제작된 섬유 액츄에이터.

청구항 62

2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 지수 값을 가진 섬유 액츄에이터로서, 코일은 원통형 영킴의 유도 지점까지의 비틀림 삽입을 통해 제작되는 섬유 액츄에이터.

청구항 63

20℃보다 큰 코일 접촉 온도를 가지며 제62항에 따른 섬유 액츄에이터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 특허출원은 발명의 명칭이 "COLIED ACTUATOR SYSTEM AND METHOD"이고 2017년 4월 10일에 출원된 미국 가특허출원번호 62/483,839호를 기초로 우선권을 주장하고 있는데, 상기 미국 가특허출원은 본 명세서에서 전반적으로 참조문헌으로 인용된다.

[0002] 또한, 본 특허출원은, 포대 번호 0105198-019US0를 가지며 발명의 명칭이 "COLIED ACTUATOR SYSTEM AND METHOD"이고 2018년 4월 10일에 출원된 미국 특허출원번호 XX/XXX,XXX호에 관한 것이며, 또한, 발명의 명칭이 "SYSTEM AND METHOD FOR THERMALLY ADAPTIVE MATERIALS"이고 2016년 5월 20일에 출원된 미국 특허출원번호 15/160,439호에 관한 것으로서, 상기 두 미국 특허출원도 본 명세서에서 전반적으로 참조문헌으로 인용된다.

[0003] 정부 권리

[0004] 본 발명은 미국 에너지국에 의해 DE-AR0000536 하에서 지원받았다. 따라서, 미 정부가 본 발명의 권리자이다.

도면의 간단한 설명

[0005] 도 1은 비틀림 섬유, 필라멘트, 또는 안을 예시한 도면으로서, 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 보여준다.

도 2는 비틀림 및 코일형 섬유 또는 안을 예시한 도면으로서, 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$), 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$), 코일

드릴 또는 섬유 또는 안 코어 주위로 감싸질 수 있다. 본 발명에서 논의되는 다양한 예들이 섬유를 지칭하지만, 다양한 실시예들은 임의의 적절한 기다란 요소, 가령, 섬유, 필라멘트, 리본, 안, 라인 등을 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 것과 같이, '섬유'는 임의의 기다란 요소, 가령, 하나 또는 그 이상의 섬유 또는 그 밖의 요소, 단일의 기다란 요소를 포함하는 섬유 등을 포함하는 안을 포함할 수 있다. 그에 따라, 용어 '섬유'는, 그 외에 달리 명확하게 언급되지 않는 한, 일반적으로 임의의 기다란 요소 또는 요소들을 포함하는 것으로 간주되어야 한다.

[0007] 몇몇 실시예들에서, 본 명세서에서 논의된 코일형 액츄에이터 섬유는 직물을 작동시키기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 이러한 직물들은 다양한 타입의 환경 상태, 가령, 온도, 수분, 습도 등에 반응하는 의류 제작에 사용될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 최소 하중의 직물이 제공되거나 및/또는 직물은 체온 근처에서 작동될 필요가 있으며, 다양한 실시예들은 이러한 작동 상태 하에서 원하는 작동을 하도록 구성될 수 있다. 추가적인 실시예들은 다양한 그 밖의 다른 적절한 목적 또는 용도를 구현하도록 구성될 수 있으며, 따라서, 인간에 의해 사용되도록 하는 형상에 관한 예 또는 동물 사용자는 본 명세서에 논의된 액츄에이터의 다수의 적용 용도를 제한하는 것으로 간주되어서는 안 된다.

[0008] 다양한 실시예들은 몇몇 용도 또는 적용들에 대해 다수의 이점을 가질 수 있다. 예를 들어, 액츄에이터의 몇몇 실시예들은 제작-우호적인 기술을 이용하여 형성된 액츄에이터를 위한 큰 열 응답 값을 포함할 수 있는데, 액츄에이터는 조절된 코일 접촉 온도와 열 응답 범위를 가진다.

[0009] 다양한 실시예들에 따르면, 코일형 열 섬유 또는 안 액츄에이터는 비틀림으로부터 비틀 또는 영킴 지점까지의 코일링에 의해(셀프-코일링 또는 비틀림에 의한 코일링), 섬유 또는 섬유들이 그 주위로 감겨질 수 있는 코어로서 제공되는 맨드릴 또는 그 밖의 적절한 재료 주위로의 코일링에 의해(감쌈에 의한 코일링), 또는 그 밖의 적절한 방법에 의해 형성될 수 있다. 다양한 예들에서, 이러한 코어는 부분적으로 또는 전체적으로 제거될 수 있는데, 가령, 본 명세서에서 상세하게 논의되는 것과 같이, 용해에 의해 제거될 수 있다.

[0010] 몇몇 예들에서, 종래의 일반적인 안 제작 기계 가령, 스피닝 또는 트위스팅 기계는 비틀림에 의한 코일링인 원하는 조절된-기하학적 형상의 섬유 또는 안 액츄에이터를 안정적으로 제작할 수 없었다. 이러한 안을 제작하는 것은, 변수들, 가령, 주변 온도 및 습도, 입력 필라멘트 결정도 및 배열방향, 마찰, 입력 필라멘트 내의 결함, 스핀들 속도, 공급률, 또는 테이크-업 속도, 입력 필라멘트 직경, 안 인장에서의 변화 등에 매우 민감할 수 있다.

[0011] 하지만, 본 명세서에서 보다 상세하게 논의되는 것과 같이, 다양한 실시예들에서, 안 인장, 안 공급률, 삽입된 트위스트/m, 패키지 테이크 업 속도, 안 제작 동안 플라이어(또는 링 및 트래블러) 회전 속도 등 사이가 조심스럽게 균형이 맞춰지면, 조절된 기하학적 형상을 가진 높은 비틀림 또는 코일형 액츄에이터를 제작할 수 있다. 이러한 변수들 중 하나 또는 그 이상은 위에서 언급된 변수들에서의 변동을 설명하기 위해 제작 동안 변경되거나 조절될 수 있을 필요가 있으나; 하지만, 몇몇 통상적인 제작 기계는 제작 동안에는 이러한 변수들의 변동을 허용하지 않는다. 게다가, 한 위치 또는 스핀들을 위한 변수는 또 다른 위치 또는 스핀들에서의 변수와는 상이하게 변경될 수 있으며, 몇몇 위치들이 공통 드라이브(common drive)로 구동되는 경우, 몇몇 시스템에서는 불가능할 수도 있다. 그에 따라, 이러한 기능을 제공하는 신규한 기계가 본 명세서에 기술된다.

[0012] 트위스트를 필라멘트 안 또는 섬유(모노필라멘트 또는 멀티필라멘트) 내에 삽입하기 위한 방법은 링 트위스팅, 마찰 스피닝, 투-포-윈 트위스팅 등을 포함할 수 있다. 링 스피닝은 트래블러로 지칭되는 가이드의 모션을 이용하는 공정으로서, 트래블러는 트위스트를 삽입하고 그와 동시에 링 주위에서 자유로이 순환시켜 형성된 안을 보빈 위에서 감는다. 한 제작 환경에서, 스핀들은 공통의 벨트 구동 시스템을 이용하여 구동될 수 있다. 섬유 내에 삽입된 트위스트의 양은 스핀들의 회전 속도와 공급 롤로부터 나온 안의 속도에 의해 결정될 수 있다. 트래블러(팔로워로도 알려져 있는)는 인장과 마찰로 인해 스핀들의 회전 속도보다 뒤쳐질 수 있는 회전 속도를 가질 수 있다. 스핀들과 트래블러 사이의 회전 속도의 차이로 인해, 보빈 주위에 안 테이크-업이 발생된다. 플라이어 스피닝과 로빙(roving)은 링 스피닝과 비슷한 원리를 따라갈 수 있으며, 플라이어는 회전 스핀들 주위에서 상이한 속도로 회전되어, 비틀림 삽입 및 안 테이크-업이 발생된다. 투-포-윈 트위스팅에서, 비틀림 레벨은 스핀들 회전 속도와 테이크-업 릴 회전 속도 또는 스핀들 회전 속도 및 안 공급률을 설정함으로써 조절될 수 있다. 제작 기계에서, 안 공급, 스핀들, 및/또는 상이한 위치를 위한 테이크-업 릴을 조절하는 모터는 경제적인 이유 또는 그 밖의 다른 목적으로 공통의 벨트 구동 시스템으로 구동될 수 있다.

[0013] 고-비틀림 섬유를 맨드릴 또는 그 밖의 코어 재료, 가령, 또 다른 섬유 또는 안 주위에 감으면, 몇몇 실시예들에서, 라우트(route)에 큰 직경을 제공하고, 보다 개방된 코일에 큰 코일 스프링 지수 값을 제공하며, 열 응답

을 해결하는 방법을 제공한다. 하지만, 몇몇 예들에서, 맨드릴 주위로 감는 것은 대량 제작에는 적절하지 않을 수도 있는데, 그 이유는 제작되는 코일형 섬유 또는 얇은 액츄에이터로부터 맨드릴을 제거하는 어려움 때문이다. 몇몇 예들에서, 만약 공정이, 가능하다면, 한 단부에서 테이퍼 형태로 구성된 짧은 맨드릴을 포함하며 그에 따라 섬유, 섬유들 또는 얇은 맨드릴 주위로 감싸기 위해 공급되는 한 면에 고정될 수 있다면, 맨드릴 감김이 대량 제작에 보다 적합할 수 있다. 섬유가 맨드릴 주위로 감기고 전진되면, 섬유는 맨드릴 단부에서 떨어져서 콘 또는 드럼에 감겨질 수 있다. 섬유 또는 얇은 액츄에이터를 위해, 몇몇 실시예들에서, 감쌈 또는 감김 공정에 사용되는 비틀림 섬유, 섬유들, 또는 얇은 감쌈 또는 감김 전에 (가열, 스팀 또는 화학적 혹은 기계적 처리에 의해) 설정되며, 몇몇 실시예들에서는 감쌈 또는 감김 공정 이후에 설정될 수도 있다. 몇몇 예들에서, 보다 상세하게 기술되는 것과 같이, 희생 재료(sacrificial material)가 섬유 또는 얇은 희생 재료 주위에 감기거나 감싸짐으로써 감겨지는 공정에서 코어로 사용될 수 있으며, 상기 희생 재료는 물리적 수단, 용해, 용융, 세척, 화학적 방법 등을 통해 추후에 제거될 수 있다.

[0014] 코일 기하학적 형상(예컨대, 열 응답) 및/또는 코일 공간(예컨대, 활성 온도 범위)을 해결할 수 있는 한 접근법은 희생 재료를 사용하는 방법을 포함할 수 있다. 이러한 실시예에서, 공압출 다중-성분 섬유 가령, 코어-쉬스 구조물 등은 비틀러지거나 감겨질 수 있으며(예컨대, 맨드릴 또는 그 밖의 코어 재료 주위로 감겨짐으로써 또는 비틀림 삽입으로부터, 선택적으로는, 코일형 애플리케이터는 비틀러지 않을 수도 있음) 열 액츄에이터를 형성한다. 쉬스를 용해시키거나 화학적으로 반응시켜 쉬스가 제거시킴으로써, 코일의 스프링 지수 값이 증가될 수 있으며 그와 동시에 몇몇 예들의 코일 공간도 증가될 수 있다. 몇몇 예들에서, 쉬스 재료(또는 재료들)이 제거되는 것은 가열 설정 전에 또는 가열 설정 후에 수행될 수 있다.

[0015] 몇몇 비틀림 및 스피닝 기술과 기계는 얇은 또는 섬유 패키지를 회전시킬 필요에 따라 회전 속도가 제한될 수 있다. 잘못된 비틀림 기술은 훨씬 작은 질량을 스피닝함으로써 실제적인 회전 속도 제한을 해결할 수 있지만; 다양한 예들에서, 이러한 방법들은 진정한 트위스트를 삽입할 수 없으며 원하는 특성을 가진 고-비틀림 및 코일형 섬유들 및 얇은 제작할 수 없다. 몇몇 잘못된 비틀림 기술의 높은 회전 속도는, 몇몇 예들에서, 섬유 또는 얇은 트위스터로 공급되는 면에서 비틀림이 가해지면, 비틀림 또는 코일링 공정에 사용될 수 있으며, 그에 따라 비틀림 유닛의 다른 면은 실제 비틀림에 제공되고 비틀림 유닛의 맞은편에 가해진 비틀림을 단순히 제거할 수 없다. 비틀림은 2개의 비슷한 접근법을 통해 기계의 공급 면에 제공될 수 있다. 한 접근법은, 개방-단부 스피닝과 비슷하게, 개별 스테이플 섬유들을 유닛에 공급하여 비틀림 유닛 영역에 얇은 형성하는 것이다. 다양한 예들에서, 기계는 큰 용량을 스피닝할 필요가 없으며 잘못 트위스팅할 필요도 없는데, 그 이유는 얇은 회전 영역에 형성될 수 있기 때문이다. 두 번째 접근법은, 인-라인 공정의 한 부분으로서, 압출된 섬유를 비틀는 방법으로서, 이때 비틀림은 용융부, 겔, 또는 용액의 압출 영역 근처에 있는 분자 슬립(molecular slip)으로 인해 수행된다.

[0016] 도 1은 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)를 보여주는 비틀림 섬유(100)의 한 예(100A)를 도시한다. 상기 예에서, 섬유(100) 내의 비틀림 레벨은 섬유(100)를 가로질러 비틀린 점선(105)들로 표시된다. 다양한 실시예들에서, 비틀림 레벨은 직접 관찰될 수 있으며 현미경 하의 관찰을 통해 섬유(100)로부터 결정될 수 있다. 도 1에 도시된 것과 같이, 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)이 섬유(100)의 축방향과 섬유 표면에서의 관측된 비틀림 사이의 각도를 측정함으로써 결정될 수 있다. 다양한 예들에서, 언트위스팅 섬유(untwisted fiber)에 있어서는, 섬유 편향각은 0° 일 것이다.

[0017] 섬유, 필라멘트, 및 얇은 공정 동안과 최종 사용 용도에서 비틀릴 수 있다. 본 명세서에 기술된 섬유 및 얇은 액츄에이터는 "높은 수준의 비틀림(또는 고-비틀림)"으로 기술될 수 있는데, 몇몇 실시예들에서는 20° 또는 그 이상의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$), 및 추가적인 실시예들에서는 25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 형성하기에 충분한 크기의 비틀림을 포함할 수 있다. 몇몇 예들에서, "고-비틀림" 또는 "높은 수준의 비틀림"을 가진다는 것은, 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° , 45° , 50° , 또는 55° 등과 똑같거나 그보다 큰 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 생성하는 비틀림 크기를 포함할 수 있다. 비틀림이 섬유 또는 얇은 삽입되고 섬유 편향각이 증가되면, 섬유 또는 얇은 영키려는 경향을 가진다. 이러한 영킴의 시작은 다수의 변수, 가령, 환경 상태, 재료, 재료의 공정 이력, 및 섬유 또는 얇은에 제공되는 인장에 좌우된다. 종종, 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)이 40° 이상, 몇몇 경우에는 약 45° 이상이면, 섬유 또는 얇은 영킨다. 몇몇 실시예들에서, 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)이 30° 내지 40° 사이인 고-비틀림 섬유 또는 얇은을 제작하여, 코어 재료 주위로 감쌈으로써 코일형 섬유 액츄에이터를 제작하도록 사용될 수 있는 고-비틀림 필라멘트를 형성하면서도, 영킴이 시작될 수 있는 가능성을 줄이는 것이 바람직하다.

- [0018] 이러한 고-비틀림 섬유(100)들을 제작하기 위한 상태는 환경 상태, 재료 특성, 재료 공정 이력, 및 섬유 직경에 따라 가변적일 수 있으며, 몇몇 예들에서, 주어진 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 형성하기 위해, 직경이 크면 비틀림이 작아야 한다. 앞에서, 유효 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)은 고-비틀림 안 또는 비틀림 표면에서 필라멘트의 각도로 이해하면 된다.
- [0019] 나일론, 폴리에스테르 등과 같은 섬유 재료들에 대해서, 열팽창계수(CTE) 값들은 몇몇 예들에서는 약 0.05 mm/m/°C일 수 있으며, 추가적인 예들에서는, 약 0.1 mm/m/°C을 초과하지 않는다. 드로잉된 섬유 또는 쉬트들에서, 폴리머 체인을 주문하면 이방성 성질을 가질 수 있으며 CTE 값들은 몇몇 예들에서는 드로잉 방향에서 10배 또는 그 이상만큼 떨어질 수 있거나, 혹은 추가적인 예들에서는 음의 값이 될 수도 있다. 하지만, 섬유(100)의 열기계적 응답은 몇몇 예들에서는 코일 또는 스프링 구조를 사용함으로써 효율적으로 증폭될 수 있다. 상품 섬유(commodity fiber) 및 안들은 높은 수준의 비틀림 삽입을 통해 감겨지거나 "원통형으로 영킬 수 있으며", 몇몇 실시예들에서 "인공 근육"으로 기술될 수 있는 코일형 섬유 열 액추에이터를 형성할 수 있으며, 섬유 또는 안들은 상당히 크거나 과장된 열팽창 특성을 가지도록 스프링과 같이 감겨진다.
- [0020] 도 2는 비틀림 및 코일형 섬유(100)의 한 예(100B)를 예시한 도면으로서, 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$), 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$), 코일 직경(D), 및 섬유 직경(d)을 보여준다. 도 1의 섬유(100)는 코일형 섬유(100) 내에서 연장되는 공동(220)을 형성하는 코일형 형상으로 도시된다. 상기 예에서, 코일형 섬유(100)의 인접한 코일 부분(240)들은 인접한 코일 부분(240)들 사이에 공간(260)을 형성하기 위해 이격되어 배열된다. 예를 들어, 코일형 섬유(100)의 제1 및 제2 코일 부분(240A, 240B)은 제1 공간(260A)을 형성하고 코일형 섬유(100)의 제2 및 제3 코일 부분(240B, 240C)들은 제2 공간(260B)을 형성한다. 상기 예에서, 제1 및 제2 공간(260A, 260B)은 코일형 섬유(100) 내에서 연장되는 근접 공간(260)을 형성한다. 추가적인 예들에서, 보다 상세하게 기술되는 것과 같이, 코일형 섬유(100)의 코일 부분(240)들은 코일형 섬유(100)의 부분(240)들 사이의 공간(260)의 일부 또는 모두가 없게 되도록(예컨대, 도 3b) 결합될 수 있다.
- [0021] 비틀림 섬유(100)가 도 1 및 2에 도시된 것과 같이 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가질 수 있다. 코일링 지점으로 비틀려진 섬유(100)에서, 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)은 코일을 형성하도록 사용되는 공정 상태 및 재료에 의해 결정될 수 있다. 하지만, 몇몇 실시예들에서, 이는 특정의 표적 온도 응답을 위해 최적 또는 원하는 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)으로 이어지지 않을 수도 있다. 맨드릴 또는 그 밖의 코어 주위에 감겨지거나 감싸짐을 통한 코일 배열은, 원하는 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 형성하기 위해 높은 수준으로 비틀려진 하나 또는 그 이상의 섬유(100)들로부터 형성된 코일 배열을 가능하게 할 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 원하는 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)은 30° 내지 50° 사이일 수 있으며, 보다 바람직하게는 몇몇 예들에서 35° 내지 45° 사이일 수 있다.
- [0022] 코일 직경(D), 및 섬유 직경(d)은 코일 스프링 지수(C)를 계산하도록 사용될 수 있다. 예를 들어, 스프링 지수(C)는 스프링 기계역학에서 $C = D/d$ 로 정의될 수 있는데, 도 2에 예시된 것과 같이 섬유 중앙선에 의해 측정되는 것과 같이, d 는 섬유 직경이고 D 는 공칭 코일 직경이다. 큰 스프링 지수(C)를 가진 코일 또는 스프링은 직경이 커지면 더 많이 개방될 수 있으며, 작은 스프링 지수(C)를 가진 코일은 직경이 작아지면 타이트한 코일에 더 많이 유사할 수 있다. 특성, 가령, 코일형 액추에이터의 유효 열팽창계수(CTE) 및 강성(예컨대, 모듈러스)은 코일의 기하학적 형상(예컨대, 스프링 지수(C) 및 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$), 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)과 같은 섬유 구조)에 좌우될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 스프링 지수(C)를 변경시킴으로써, 작동 스트로크(actuation stroke) 및/또는 응력은 원하는 변수들로 조정될 수 있다.
- [0023] 다양한 실시예들에서, 코일형 섬유(100)의 열 응답은 코일(100)의 기하학적 형상을 통해 조절될 수 있다. 몇몇 적용예들에서, 코일형 섬유(100)의 열 응답을 최대화하는 것이 바람직하는데, 몇몇 예들에서 큰 코일 직경(D)(예컨대, 섬유 직경(d)에 대한)을 필요로 할 수 있다. 맨드릴, 안, 섬유, 또는 그 밖의 코어 주위로 감지 않고서 형성된 코일형 섬유(100)들은 몇몇 예들에서 작은 값들의 코일 스프링 지수(C) 및 작은 코일 직경(D)들에 제한될 수 있다. 자체-코일링에 의해 형성된 섬유 및 안 액추에이터들로 이러한 제한을 넘어서, 실질적으로 약 1.7 이상, 2.0 이상, 또는 2.5 이상의 코일 스프링 지수(C)와 크기가 -2 mm/m/K 또는 그 이상의 유효 열팽창계수(CTE)를 가진 큰 코일 직경(D)들을 구현하기 위하여, 몇몇 실시예들의 형성된-그대로의 코일(as-formed coil)은 과잉의 잔여 비틀림 및 잔여 압축성 기계적 응력을 제거하기 위하여 비틀리지 않을 수도 있다(즉 코일링되는 삽입된 트위스트의 방향과 반대인, 반대 방향으로 비틀려질 수도 있다). 이러한 언트위스팅은 코일의 기하학적 형상을 변경시키고, 코일의 직경을 증가시키지만, 다양한 실시예들에서 원하는 결과를 구현하기 위해 코일을 제거

하는 지점에서 수행될 필요는 없다. 몇몇 실시예들에서, 가장 큰 코일 직경(D)들은, 코일링 공정을 위해 적합했던 인장 하중 하에서 엔트위스팅을 조절함으로써 수행되는 것이 아니라, 작은 하중(예컨대, \leq 코일링 단계 동안 사용되는 하중의 50%) 또는 심지어 0에 가까운 하중(예컨대, \leq 코일링 단계 동안 사용되는 하중의 10%, 무시할 만한 인장 하중 등) 하에서 수행된다. 몇몇 실시예들에서, 엔트위스팅은 감김 공정을 통해 형성된 코일의 기하학적 형상 및/또는 코일 스프링 지수(C)에 영향을 미치도록 사용될 수 있다.

[0024] 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)은 코일형 섬유(100)가 배열되는 방향에 대해 수직인 가상선과 비틀림 섬유(100)의 축방향 사이의 각도를 측정함으로써 결정될 수 있다. 코일형 섬유(100)가 스프링과 같이 연신되면, 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)은 증가될 수 있으며, 주어진 코일형 섬유(100)에 대해, 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)은 코일형 섬유(100)가 서로 접촉되는 섬유(100)의 코일 부분(240)들의 지점으로 완전히 압축될 때 가장 작은 값에 도달할 수 있다.

[0025] 코일이 제작되는 섬유(100)의, 섬유 직경(d)에 대한 전체 코일 직경(D)을 반영할 수 있는 코일 스프링 지수(C) 외에도, 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)은 코일의 특성들에 관한 코일 구조의 측정값일 수 있다. 코일이 과도한 또는 고-비틀림의 영향 하에서 형성될 때(즉 비틀림에 의한 코일링), 코일형 섬유(100)의 부분(240)들은 서로에 대해 물리적으로 접촉할 수 있으며, 각각의 코일 부분(240)은 인접한 코일 부분(240)과 접촉된다. 이러한 코일들이 최적으로 적재되면, 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)가 최소가 되고 온도 또는 그 밖의 환경적인 변수에 있어서 변화에 대한 최대 응답을 생성할 수 있다. 코일형 섬유(100)가 물리적으로 연장되고 코일들이 서로 멀어지는 방향으로 당겨져서 코일 부분(240)들 사이에 공간(260)이 생성되면, 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)은 증가될 수 있으며, 몇몇 예들에서 온도 응답은 감소될 수 있다.

[0026] 비틀림 삽입을 통해 코일링되는(즉 비틀림에 의한 코일링) 다양한 코일형 섬유 액츄에이터가 상기 크기의 코일에 대한 최소 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)을 가진 코일을 형성하는 동안, 코일이 코어 재료 주위로의 감김에 의해 형성될 때(감김에 의한 코일링), 본 명세서에 기술된 것과 같이, 몇몇 예들에서, 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)에 대해 몇몇 추가적인 조절부가 제공되는데, 감겨진 섬유 또는 얇은 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)이 코일 스프링 지수(C)(인접한 코일들이 서로 접촉되는)를 위한 최소값에 있거나 혹은 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)이 커지도록(인접한 코일 부분(240)들 사이에 일정 크기의 공간(260)이 배열되도록) 위치될 수 있다. 몇몇 적용예들에서, 액츄에이터의 열 응답을 최대화하여 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)을 작게 하는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)을 조절하면 코일-코일 접촉 온도 및 액츄에이터의 환경적인 응답 범위와 코일-코일 접촉 온도를 조절하는 것에 관련될 수 있다.

[0027] 도 1에 도시된 것과 같이, 섬유(100)에서의 비틀림 수준은 섬유(100)를 가로질러 비틀려진 점선(105)들로 표시된다. 도 2에 예시된 바닥을 향하여, 비틀림 섬유(100)은 횡단면도로서 도시되고, 점선은 비틀림 섬유(100)에서 비틀림 방향을 나타낸다. 도 2의 예에 예시된 것과 같이, 비틀림은 코일과 같이 Z-방향으로 구현되며, 따라서, 코일형 섬유(100)는 호모키랄과 같이 정의될 수 있다. 코일형 섬유(100)의 추가적인 예들은 임의의 적절한 키랄성(chirality)을 가질 수 있다. 예시된 도면의 거의 상측 부분에서, 섬유 또는 코일이 점선들로 표시되며 섬유(100) 코일이 임의의 길이로 지속적으로 형성되는 것을 나타낸다. 그에 따라, 코일형 섬유(100)들은, 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 다양한 실시예들에서, 임의의 적절한 길이를 가질 수 있다. 비틀림 섬유의 음영 부분들은 예시된 도면 페이지 속으로 들어가는 코일형 섬유(100)의 부분을 나타낸다.

[0028] 도 3a 및 3b는 상이한 코일 편향각들을 가진 2개의 상이한 형상의 코일형 섬유(100B) 예를 예시한다. 도 3a의 코일형 섬유(100)는 도 3b의 코일형 섬유(100)의 스프링 지수와 비슷한 스프링 지수(C)를 가진다. 다양한 예들에서, 도 3b의 코일형 섬유(100B)는 도 3a의 코일형 섬유 형상과 비슷한 형상을 생성하기 위해, 기계적 응력을 통해, 팽창을 생성하는 온도 변화를 통해 연신될 수 있다. 이와 비슷하게, 도 3a의 코일형 섬유(100B)는 도 3a의 코일형 섬유 형상과 비슷한 형상을 생성하기 위해 기계적 응력을 통해, 수축을 생성하는 온도 변화를 통해 수축될 수 있다. 도 3a 및 3b의 코일형 섬유(100) 예는 호모키랄이며 온도가 줄어들면 몇몇 실시예들에서 코일형 섬유(100)가 선형 팽창할 수 있다.

[0029] 도 4a 및 4b는 코일형 섬유(100)의 코일 기하학적 형상을 조절하는 데 있어 희생 재료(410)를 사용하는 것을 도시한다. 예를 들어, 도 4a는 셸(410)(또는 바다에서의 섬)을 가진 코어 코일형 섬유(100)를 예시하는데, 셸(410)은 제거가능한 재료일 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 셸(410)은 제거될 수 있으며(예컨대, 세척, 화학적 용해 등에 의해), 코일형 섬유(100)는, 도 4b의 예에 도시된 것과 같이, 상이한 코일 지수 값 및/또는 섬유(100)의 코일들 사이에 추가적인 공간을 가질 수 있다. 예를 들어, 도 4b에 도시된 것과 같이, 공간

(260)은 코일형 섬유(100)의 각각의 부분(240)들 사이에 생성될 수 있다. 도 4a 및 4b의 코일형 섬유(100)가 섬유(100) 내에서 비틀림을 포함하지 않지만, 추가적인 실시예들에서, 코일형 섬유(100)은 임의의 적절한 크기의 비틀림을 포함할 수 있다.

[0030] 도 5a 및 5b는 코일의 기하학적 형상을 조절하는 데 있어 희생 코어(510)를 사용하는 방법을 도시한 도면으로서, 코일형 섬유(100)의 내측 직경을 형성할 수 있는 코어(510) 주위에 감싸진 비틀림 섬유(100)를 보여준다. 코어(510)의 점선들은 코어(510)가 임의의 적절한 길이를 가질 수 있다는 것을 나타낸다. 코어(510)는 코일형 섬유(100)의 공동(220) 내에 배열될 수 있으며, 맨드릴, 필라멘트, 안 등을 포함하는 요소를 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 도 5a에 도시된 것과 같이, 코어(510)가 제거되어(예컨대, 물리적으로, 화학적으로, 또는 그 밖의 적절한 방식으로), 도 5b에 도시된 것과 같이 자유 코일형 섬유(100)가 제작될 수 있다. 한 실시예에서, 중심 코어(510)는 용해성 폴리머, 가령, 폴리비닐 알콜, 에틸렌 비닐 알콜 등을 포함하는 필라멘트 또는 안을 포함할 수 있는데, 이들은 임의의 적절한 온도에서, 가령, 실온, 40°C, 60°C, 80°C, 또는 그보다 높거나 낮은 온도에서, 물 또는 그 밖의 용매에서 용해될 수 있다.

[0031] 희생 코어(510) 주위로 하나 또는 그 이상의 비틀림 섬유(100)를 감싸는 제작 방법들을 위해서, 코어(510)가 완전히 제거될 필요는 없으며, 몇몇 경우에는, 코어(510)의 한 부분이 남도록 하는 것이 바람직할 수 있다. 코일형 액추에이터 섬유(100)의 공동(220) 내에 코어(510)의 한 부분이 남도록 하면, 다수의 그 밖의 방법들에서, 가령, 잔여 재료가 전도성(예컨대, 금속, 복합재, 유기 재료 등)이며 재료가 가열될 수 있는 경우, 및 재료가 연장 가능하여(예컨대, 화학적 성질, 기계적 구조 등으로 인해) 용이하게 선형으로 연장될 수 있지만 굽힘 또는 비틀림에 대해 재료에 강성을 부가할 수 있는 경우에 바람직할 수 있다.

[0032] 예시로서, 얇힌 안에서 코어(510)로서 수용성 섬유가 사용될 수 있는데, 얇힌 섬유 또는 섬유들은 코어(510)의 감쌈을 구성하는 감김 전에 또는 감김 동안 및, 감김 섬유(100) 설정 후에, 비틀렸으며, 코어(510)는 세척 단계를 통해 제거될 수 있다. 중앙 희생 코어(510)로서, 다수의 재료들, 가령, 수용성 폴리머 필라멘트 또는 안, 유기-용해성 폴리머 필라멘트 또는 안, 또는 산 또는 염기, 산화제 또는 치환제, 혹은 그 밖의 화학 제제가 있을 때 쉽게 용해되거나 또는 분해되는 필라멘트 또는 안이 적절하다.

[0033] 한 비-제한적인 예로서, 용어 "해도(islands-in-sea)" 안이 희생 코어(510)로서 사용될 수 있는데, 안의 "해" 성분을 세척함으로써, 미세-섬유 안이 코일 액추에이터의 공동(220) 내부에 남을 수 있다. 이러한 섬유들은 섬유 액추에이터의 움직임 범위를 제한하거나 수분 관리에 있어 유용할 수 있다. 호모키랄 섬유 액추에이터의 경우, 일정 코일 접촉 온도에서 유효 최소 길이가 구현될 수 있지만(즉, 코일형 섬유(100)의 몇몇 또는 모든 부분(240)들이 접촉하여 공간(260)이 부분적으로 또는 전체적으로 없을 때, 호모키랄 섬유 액추에이터가 코일 접촉 온도보다 낮은 온도에서 코일들 사이에 물리적 공간을 가질 것임), 온도가 내려가고 코일이 팽창되면, 코일형 섬유(100)의 움직임 정도는 코일형 섬유(100)의 공동(220)을 통해 배열되는 하나 또는 그 이상의 섬유들이 존재할 때 제한될 수 있다. "해도" 안은 다중-성분 압출 섬유로 제작될 수 있는데, 하나 이상의 성분은 용해될 수 있거나 혹은 그 외의 경우 제거될 수 있어서, 미세 특징, 가령, 희생 재료의 "해" 내에 비-희생 재료의 "도"를 형성할 수 있다. 공정의 몇몇 지점에서, 희생 재료는 제거되어, "도" 뒤에 남겨지며, 희생적인 "해" 재료에 의해 보호받지 않는다면 일부 기계에서 고속에서 처리하기가 어려운 미세-특징 섬유들일 수 있다.

[0034] 예를 들어, 도 6a 및 6b는 제거가능한 셸 재료(610) 및 내측 재료(620)를 포함하는 코어(510) 주위에 비틀림 섬유(100)를 감쌈으로써 제작될 수 있는 코일형 섬유(100)의 또 다른 예(100E)를 예시한다. 도 6a의 예에서, 코어(510)는 용해될 수 있거나 그 외의 경우 제거될 수 있는 외부 층 또는 셸 재료(510)를 포함할 수 있으며, 코어(510) 주위에 비틀림 섬유(100)를 감싸고 난 후에, 제거가능한 셸 재료(610)는 용해되거나 그 외의 경우 제거되어, 코일형 섬유(100)가 자유롭게 움직이고, 도 6b에 도시된 것과 같이 작은 중심 코어 내측 재료(620)를 남기게 된다. 단일의 스트랜드에서 단일의 재료로서, 상기와 같은 잔여 코어 재료가 예시되었지만, 몇몇 실시예들에서 다중 재료 및/또는 다중 스트랜드를 포함할 수도 있다.

[0035] 코어(510) 주위에 미터마다 비틀림 또는 감김 수를 조절함으로써, 코일 공간은 감김에 의해 형성된 하나 또는 그 이상의 코일형 섬유(100)를 포함하는 액추에이터를 위해 조절될 수 있는데, 가령, 코일형 섬유(100)들은 코일형 섬유(100)의 부분(240)들 사이에 공간(260)이 있거나 없을 수도 있다. 예를 들어, 도 7a는, 공간(260)이 코일형 섬유(100) 내에 생성되게끔 각각의 섬유 안 코일 부분(240)이 가장 가까운 인접 코일 부분(240)과 접촉하지 않도록, 코어(510)(예컨대, 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 하나 또는 그 이상의 재료를 가진 중심 코어 또는 맨드릴) 주위에 감겨진 비틀림 섬유(100)의 또 다른 예(100F)를 예시한다. 도 7b에 도시된 것과 같이 코어(510)를 제거하면(예컨대, 용해, 물리적 제거 등에 의해), 코일형 섬유(100)는 가변적인 환경 상태(예컨대,

본 명세서에서 논의되는 것과 같이 온도, 습도 등)를 변경하는 데 대해 방해받지 않는 움직임을 위하여 자유롭게 될 수 있다.

[0036] 또한, 코일 부분(240)들 사이의 공간은, 도 8a에 도시된 것과 같이, 공간 섬유(830)들을 사용함으로써 조절될 수 있다. 예를 들어, 도 8a의 예(100G)에 도시된 것과 같이, 비틀림 섬유(100)는 코일(510)(예컨대, 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 하나 또는 그 이상의 재료를 가진 중심 코어 또는 맨드릴) 주위에 감겨질 수 있으며 비틀림 섬유(100)를 위한 스페이서로서 제공되는 공간 섬유(830)를 따라 감싸질 수 있다. 공간 섬유(830)는 각각의 코일 부분(240)들 사이에 배열될 수 있으며 코일 부분(240)들이 서로 접촉하는 것을 방지할 수 있다. 이러한 접근법은 코일형 섬유(100)에 존재하는 코일-코일 공간을 조절하는 한 방법을 제공할 수 있다. 도 8b는 코어(510)와 공간 섬유(830)의 제거 후에 남아 있는 코일형 섬유(100)를 도시한다. 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 공간 섬유(830)와 코어(510)는 다양한 적절한 방법, 가령, 용매를 통해 용해, 물리적 제거 등에 의해 제거될 수 있다.

[0037] 도 9a는 코어(510)(예컨대, 맨드릴) 주위에 감겨진 제1 및 제2 비틀림 섬유(100₁, 100₂)를 예시하는데, 2개의 비틀림 섬유(100₁, 100₂)들은 서로 나란하게 배열된다. 도 9a는 제거가능한 코어(510) 주위에 감싸진 2개의 섬유(100₁, 100₂)를 포함하는 구조물(900)을 도시하며, 도 9b는 코어(510)로부터 릴리스되고 난 후의 2개의 정지된 코일형 액츄에이터 섬유(100₁, 100₂)의 구조물(900)을 예시한 도면이다. 2개의 섬유(100₁, 100₂)들은 비틀림을 보여주도록 예시되며 호모키탈 코일로서 도시된다. 도 9a 및 9b의 구조물(900) 예에서, 제2 섬유(100₂)는 제1 섬유(100₁)의 약 80%의 작은 크기를 가지도록 도시된다. 추가적인 예들에서, 2개의 섬유(100₁, 100₂)들은 동일한 크기로 구성되거나 또는 적절한 상이한 크기 또는 직경을 가지도록 구성될 수도 있다. 몇몇 실시예들에서, 환경 상태에서의 변화, 가령, 온도 감소에 노출될 때, 도 9a 및 9b에 물리적으로 서로 접촉하고 있는 상태로 도시된, 2개의 정지된 코일 섬유(100₁, 100₂)를 포함하는 구조물(900)은 각각 팽창될 수 있으며, 정지된 구조물(900)의 선형 길이는 증가될 수 있다. 그 밖의 다른 예시예들과 같이, 액츄에이터의 한 부분이 도시되지만, 이러한 섬유 또는 얇은 재료들은 임의의 길이를 가질 수 있다.

[0038] 희생 코어(510)를 부분적으로 또는 전체적으로 제거하면, 공정에서 인라인 또는 스폴에 자유로운 코일형 섬유 액츄에이터를 제공할 수 있지만, 희생 코어는 패브릭 또는 최종 제품 단계에서 제거될 수도 있다. 한 비-제한적인 예로서, 고-비틀림 필라멘트를 감기 위하여 용해성 희생 코어가 사용될 수 있으며, 감싸진 구조물을 포함하는 패브릭을 편직하거나 직조한 후에, 희생 코어는 제거될 수 있다. 이 경우들에서, 패브릭 제작 및 공정 동안, 희생 코어는 수치적 안정성을 제공할 수 있으며 쉽게 처리할 수 있다.

[0039] 코일형 섬유(100)들은 다양한 적절한 방법들로 제작될 수 있다. 예를 들어, 코일링 기계가, 본 명세서에서 보다 상세하게 논의되는 것과 같이, 선형 섬유(100)에서 코일을 생성하기 위하여 사용될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 이러한 코일링 기계는 섬유(100)의 코일링을 모니터링 하는 센서를 포함할 수 있으며 이러한 센서들로부터 나온 데이터에 따라 코일링 기계의 변수들을 변형할 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 제작 공정을 조절하기 위하여 실시간 정보를 사용하고 섬유 특성들을 모니터링 하는 것이 바람직할 수 있다. 센서의 출력이, 원하는 기하학적 형상 및 기계적 특성들을 가지며 오류가 최소인 고-비틀림 안들을 생산하도록 기계 변수들을 조절하기 위하여, 피드백 루프에서 사용될 수 있다. 코일링 기계의 하나 또는 그 이상의 부분은 개별적으로 조절될 수 있다.

[0040] 섬유(100)가 코일링 지점으로 비틀러지면, 오류를 방지하기 위하여 다수의 변수들, 가령, 안 인장, 안 공급률, 삽입된 트위스트/m, 패키지 테이크 업 속도, 또는 플라이어 회전 속도가 조절될 수 있도록, 어느 공급 경로를 따라 안이 감겨지는 지를 아는 것이 바람직할 수 있다. 오류 예들은 안 파열, 안 문제, 또는 원치 않는 또는 조절되지 않는 엉킴을 포함할 수 있다. 몇몇 센서들은 오류(예컨대, 안 파열)를 감지할 수 있으며 기계를 정지시키도록 신호를 출력하거나 기술자에게 오류가 발생했다고 경고할 수 있다.

[0041] 조절가능한 기하학적 형상을 가진 코일형 섬유(100)를 제작하기 위한 한 전략은, 섬유(100)의 길이를 따라 비틀림 레벨을 결정하고, 보빈 또는 스폴 주위에 고-비틀림(및 가능하다면 코일형) 안을 업테이크하기 위하여 스핀들 속도, 플라이어 속도, 및/또는 테이크-업 릴 속도를 조절하는 것이다. 몇몇 예들에서, 비틀림 또는 코일형 섬유(100)가 보빈 주위에 적절하게 테이크업 되지 않으면, 오류로 이어질 수 있다. 섬유(100)의 길이를 따라 비틀림 레벨은 섬유(100) 경로를 따라 하나 또는 그 이상의 센서를 추가함으로써 결정될 수 있다. 원하는 기하학적 형상을 가진 코일형 섬유(100)를 제작하거나 및/또는 오류를 방지하기 위해 기계 변수들을 조절하기 위해 피

드백 루프에서 센서 출력이 사용될 수 있다. 이러한 센서들은, 광학 센서(예컨대, CCD 또는 카메라 시스템, 엔코더, 레이저 마이크로미터, 광학 마이크로미터, 레이저 간섭 관측기 등), 기계 센서(가령, 스프링-장착된 기계 스위치 등), 및/또는 전기 센서(가령, 포텐서미터, 변형률 센서, 압전 센서 등)를 포함한다.

- [0042] 비틀림 섬유(100)의 기하학적 형상은, 제작 동안, 직접적으로(예컨대, 비틀림 섬유(100)의 직경을 측정함으로써) 또는 간접적으로(예컨대, 비틀림 섬유(100)의 기하학적 형상과 상호연관된 그 밖의 특성들을 측정함으로써) 측정될 수 있다. 센서 출력은, 원하는 비틀림 레벨 및 기하학적 형상이 형성될 때까지, 기계 변수(예컨대, 인장, 비틀림 속도, 공급률, 테이크 업 속도 등)를 실시간으로 조절하기 위해 피드백 루프에서 사용될 수 있다.
- [0043] 활성 섬유(100)의 기하학적 형상과 비틀림 레벨과 상호연관될 수 있는 특성들은, 필라멘트 색깔/반사율, 광택, 필라멘트 또는 섬유 직경(d), 임피던스, 변형률, 섬유 부드러움 또는 텍스처, 국부 섬유 속도 등을 포함할 수 있다(하지만, 이들에만 제한되지는 않는다). 예를 들어, 섬유(100)의 고-비틀림 영역들은 비틀림 레벨이 작은 영역의 속도보다 훨씬 작은 속도를 가질 수 있다. 만약 전도성 필라멘트 또는 섬유(100)가 비틀리면, 몇몇 실시예들에서, 홀 효과 센서들이 사용될 수 있다.
- [0044] 다양한 실시예들에서, 하나 또는 그 이상의 인장 센서 또는 공급장치가 섬유 경로를 따라 배열될 수 있으며, 이러한 센서들로부터 나온 데이터는 제작 동안 비틀림 섬유의 기하학적 형상을 조절하도록 사용될 수 있다. 고-비틀림 섬유(100)들은 축방향 수축을 경험할 수 있으며, 몇몇 예들에서, 공급률이 축방향 수축을 위해 상쇄하도록 조절되지 않는 한, 섬유(100) 내에 인장을 증가시킬 수 있다. 코일 기하학적 형상을 측정하는(직접적으로 또는 간접적으로) 센서 및/또는 관련 공정 조절 시스템이, 섬유(100)에서 실제 비틀림을 제공하는 기계 또는 잘못된 비틀림을 제공하는 기계에, 추가될 수 있다.
- [0045] 센서 출력, 가령, 섬유 경로를 따라 주어진 위치에서의 섬유(100)의 크기는 기계의 공정 조절장치 내에 피드백 될 수 있으며, 테이크-업 속도, 인장, 비틀림 속도, 공급률, 또는 그 밖의 공정 변수들을 알려줄 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 섬유 경로를 따른 복수의 센서의 출력 및/또는 하나 또는 그 이상의 공정 측정값들, 가령, 섬유 크기, 섬유 속도, 인장, 및 주변 상태, 가령, 온도 및 습도의 출력을 고려하는 것이 바람직할 수 있다. 몇몇 센서, 가령, 카메라는 단편적인 정보보다 많은 정보, 예를 들어, 섬유 직경(d) 및 섬유 속도를 모두 알려주는 정보를 제공할 수 있다.
- [0046] 비-제한적인 예로서, 센서는, 고-비틀림 필라멘트, 안 또는 섬유(100)를 제작할 때, 비틀림 레벨을 조절하고 모니터링 하도록 사용될 수 있다. 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)은 섬유 또는 안 액추에이터의 성능 특성들에 영향을 끼칠 수 있으며, 필라멘트, 섬유, 섬유들, 또는 안 내의 비틀림 레벨은 제작 동안 모니터링 될 수 있고, 제작되는 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)과 비틀림 공정을 조절하기 위해 중요한 피드백을 제공할 수 있다. 예를 들어, 비틀림 정보는 섬유의 인장 또는 업테이크 속도를 변경시키도록 사용될 수 있다. 카메라는, 비틀림 시에 두꺼워질 수 있는 섬유 직경(d)을 결정함으로써, 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 직접 측정함으로써, 또는 또 다른 적절한 방법에 의해, 필라멘트의 비틀림 레벨에서 정보를 제공할 수 있는 센서의 한 예이다.
- [0047] 또 다른 비-제한적인 예에서, 환경적으로 응답하는 액추에이터 섬유(100)의 코일링을 모니터링하고 코일형 섬유(100)의 제작을 조절할 때 유용한 정보를 제공할 수 있도록, 센서가 사용될 수 있다. 예를 들어, 카메라 또는 그 밖의 적절한 시각 시스템이, 섬유(100)의 비틀림 레벨에서 정보를 제공하고 코일링 전에 섬유(100)의 비틀림 레벨을 모니터링 하도록 사용될 수 있으며; 섬유(100)를 따라 코일링되는 위치 또는 코일링 또는 속도를 모니터링 하도록 사용될 수 있고, 이러한 정보는 장렬을 조절하거나 및/또는 코일형 섬유(100)를 위한 적절한 업테이크 속도를 결정하는 데 사용될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 이러한 시스템은, 몇몇 예들에서 섬유(100)의 핵심 특성들에서 중요할 수 있는 코일 직경(D)을 결정할 수 있으며, 인장을 감소하거나 또는 증가시키기 위해 기계의 시스템을 조절하기 위해 코일 직경 정보를 제공할 수 있는데, 코일형 섬유(100)가 제작될 때 코일 직경(D)에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다.
- [0048] 센서로부터의 다양한 정보, 가령, 직접적으로 모니터링된 공정 또는 주변 상태의 모니터링 정보는 코일링 기계의 조절 시스템에 통합될 수 있다. 비-제한적인 예로서, 주변 습도, 온도 측정값들 등이, 공정 시의 섬유(100)의 업테이크 속도 및/또는 인장을 조절할 때 정보를 제공하기 위해 코일 직경(D)의 인-라인 공정 측정과 함께 사용될 수 있다.
- [0049] 예를 들어, 도 10은 제작 방법(1000)의 한 다이어그램으로, 몇몇 실시예들에서, 방법(1000)의 몇몇 또는 모든 부분들에서 사용자 상호작용이 필요하지 않도록, 공정을 부분적으로 또는 전체적으로 자동화하기 위해 센서에

의해 조절되고 모니터링될 수 있다. 1010 단계에서, 공급원으로부터의 섬유 또는 얇은 인장되고, 1020 단계에서, 재료가 비틀러지는 위치로 공급된다. 그 뒤, 비틀림 및 가능하다면 코일형 섬유 또는 얇은 1030 단계에서 보빈 또는 스펀에 테이크업 될 수 있다. 이 세 1010, 1020, 1030 단계들은 그들을 둘러싸는 실선으로 박스로 예시되며, 인장으로부터 비틀림을 거쳐 업데이트까지 전달되는 재료가 점선으로 도시된다. 공정 센서(1040)들 및 주변 센서(1050)들은 점선들로 박스로 표시되며, 다양한 박스들 사이에 도시된 점선들은 1010, 1020, 1030 단계들을 조절하기 위한 피드백을 예시한다.

[0050] 어떻게 센서(예컨대, 센서(1040, 1050)들)가 공정 상태에 영향을 미치고 조절하는 지에 대한 한 예로서, 온도 및 습도를 모니터링하는 환경 센서가 섬유의 인장을 위한 설정 지점을 알려줄 수 있으며, 공급장치는, 인장이 너무 커지게 되면, 더 많은 재료가 비틀림 영역에 들어갈 수 있게 한다. 달리 말하면, 몇몇 예들에서, 센서(1040, 1050)들 중 하나 또는 둘 모두로부터 나온 데이터가 섬유를 위한 공급률 및/또는 인장 설정을 구현하고 결정하도록 사용될 수 있으며, 이러한 설정은 증가 또는 감소 인장 및/또는 증가 또는 감소 공급률을 포함할 수 있다. 이러한 공급률은 섬유 공급원으로부터의 공급 및/또는 비틀림 영역으로의 공급을 포함할 수 있다. 예를 들어, 몇몇 환경 상태 하에서, 비틀림 속도를 증가시키거나 감소시키며, 주변 센서(1050)들로부터 온도 및/또는 관련 습도 데이터들은 비틀림 속도를 알려줄 수 있는 것이 바람직할 수 있다.

[0051] 몇몇 실시예들에서, 공정을 모니터링 하는 센서(1040), (예컨대, 카메라)가 인장을 조절하는 단계(1010) 및 업데이트 속도를 조절하는 단계(1030)를 위한 정보를 제공할 수 있다. 한 비-제한적인 예로서, 공정 센서(1040)는 시각 시스템, 가령, 카메라를 포함할 수 있는데, 이들은 코일링을 유도하기 위해 고-비틀림 섬유가 추가로 비틀러지는 공정 동안에 섬유에 코일 형태를 모니터링 하도록 사용될 수 있다. 코일링 전에, 섬유 또는 얇은, 시각 시스템이 볼 수 있고 이미지 해석의 일부분으로서 그 밖의 적절한 공정 또는 픽셀 카운트를 통해 측정할 수 있는 특정 두께를 가질 수 있다. 비틀림 삽입은 섬유의 두께를 변경시킬 수 있지만, 코일링은 섬유의 유효 두께를 현저하게 변경시킬 수 있어서, 재료의 폭에 걸쳐 픽셀 카운트를 증가시킬 수 있다.

[0052] 코일이 비틀림 공정에서 응집되면(nucleated), 추가적인 삽입된 트위스트가 코일을 성장시키고 비틀림 섬유 또는 얇은 얇을 통해 코일을 전파시킨다. 시각 시스템의 관측 시야 내에서, 이미지 해석은 비디오 내의 프레임, 코일의 전진 또는 후퇴 속도를 비교함으로써 코일의 존재를 결정하도록 사용될 수 있다. 1030 단계에서 코일형 섬유 또는 얇은 얇이 스펀 또는 보빈이 테이크업 될 때, 업데이트 속도가 너무 높으면, 코일은 공정 센서(1040)의 관측 시야로부터 멀어지도록(예컨대, 시각 시스템 밖으로) 이동될 수 있다. 대안으로, 업데이트 속도가 너무 낮으면, 코일의 전파는 공정 센서(1040)의 전체 관측 시야를 통해 진행될 수 있으며 코일 구조물은 인장 공급장치를 향해 시스템 내로 다시 들어갈 수 있다. 코일 전파가 다시 인장 공급장치로 들어가고 코일 전파가 업데이트 보빈을 향해 전진되는 것은 바람직하지 않을 수 있다. 그에 따라, 공정 센서(1040)로부터의 정보(예컨대, 카메라 또는 그 밖의 시각 시스템으로부터의 데이터의 이미지 또는 비디오 해석)는 안정적이도록 유지하기 위해 공정 조절에서 사용될 수 있다. 달리 말하면, 공정 센서(1040)로부터의 데이터는, 코일 응집 지점을 원하는 위치에 또는 원하는 위치 범위 내에 유지하기 위하여, 다수의 변수, 가령, 인장, 공급률, 비틀림 속도, 업데이트 속도 등을 조절하도록 사용될 수 있다.

[0053] 예를 들어, 도 11a는 섬유(100)를 감고 수용하는 업데이트 스펀(1104)에 섬유(100)를 공급하는 섬유 공급원 스펀(1102)를 포함하는 섬유 코일링 시스템(1100)의 한 예를 예시한다. 도 11a의 섬유 코일링 시스템(1100)의 형상은 이러한 섬유 코일링 시스템(1100)의 오직 한 형상 예이며, 그 밖의 임의의 적절한 섬유 공급원, 섬유 업데이트 및 인장 요소들도 본 발명의 사상 및 범위 내에 있다는 사실에 유의해야 한다.

[0054] 도 11a에 추가로 도시된 것과 같이, 섬유(100)는 공급원 스펀(1102)으로부터 나온 선형 부분(1110)과 업데이트 스펀(1104)에 감긴 코일형 부분(1120)을 포함할 수 있다. 코일 응집 영역(1130)은 선형 및 코일형 부분(1110, 1120)들을 분리시키고 섬유가 공급원 스펀(1102)로부터 업데이트 스펀(1104)로 이동될 때 섬유(100)의 선형 부분(1110)이 코일형 부분(1120)이 되는 위치이다. 그 외에도, 도 11a는 하나 또는 그 이상의 공정 센서(1040), 가령, 도 11a의 시스템(1100)에 도시된 것과 같은 카메라(1150)에 의해 모니터링 될 수 있는 코일 응집 원도(1140)를 예시한다.

[0055] 코일 응집 원도(1140)는 코일 응집 영역(1130)이 위치되어야 하는 바람직한 위치를 포함할 수 있다. 섬유(100)가 업데이트 스펀(1102, 1104)과 공급원 사이에서 이동되고 섬유(100) 상의 코일 응집 영역(1130)에서 감겨지게 될 때, 코일 응집 영역(1130)은 업데이트 스펀(1104)을 향해 전파될 수 있으며(예컨대, 도 11b에 도시된 것과 같이) 공급원 스펀(1102)을 향해 전파될 수 있다(예컨대, 도 11c에 도시된 것과 같이), 이는 잠재적으로 코일 응집 원도(1140)로부터 코일 응집 영역(1130)을 이동시킬 수 있다(예컨대, 도 11b 및 11c에 도시된 것과 같이).

그에 따라, 시스템(1100)은 코일 응집 영역(1130)을 코일 응집 윈도(1140) 내에 유지하거나 및/또는 코일 응집 영역을 코일 응집 윈도(1140) 내로 다시 이동시키기 위해 실시간으로 시스템(1100)의 작동 형상을 조절하고 하나 또는 그 이상의 공정 센서(1040)에 의해 코일 응집 영역(1130)의 움직임과 위치를 모니터링 할 수 있다.

[0056] 한 예로서, 전파되는 코일 부분(1120)이 업테이크 보빈 또는 스폴(1104)을 향해 이동되면, 업테이크 스폴(1104)의 업테이크 속도는 감소되어 코일 응집 영역(1130)이 공급원 스폴(1102)을 향해 이동될 수 있다. 또 다른 예에서, 전파되는 코일 부분(1120)이 섬유 공급장치 스폴(1102)을 향해 이동되면, 업테이크 스폴(1104)의 업테이크 속도는 증가될 수 있다. 코일 응집 영역(1130)의 위치가 아니라, 코일 응집 영역(1130)의 모니터링 속도에 의해, 코일 응집 영역(1130)의 전파 속도에 따라 업테이크 스폴(1104)에서 업테이크 속도를 조절하는 것이 가능하다. 하지만, 추가적인 실시예들에서, 적절한 공정 안정성은 전파되는 코일 응집 영역(1130)의 위치 인식을 통해서만 구현될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 업테이크 스폴(1104)에서 업테이크 속도는 상수 값에 유지될 수 있고, 제작 공정에서 코일 응집 영역(1130)의 전파 속도 및/또는 위치에서의 변화는 섬유(100)의 비틀림 속도의 조절 시에 다시 공급될 수 있으며, 코일에 대한 비틀림을 보다 빠르게 증가시킬 수 있어서, 코일 응집 영역(1130)의 전파가 업테이크 스폴(1104)로부터 멀어져서 섬유 공급원 스폴(1102)을 향해 이동할 수 있게 된다. 추가적인 실시예들에서, 섬유(100)의 비틀림 속도를 감소시키면 코일링 속도가 감소될 수 있으며, 코일 응집 영역(1130)의 전파가 섬유 공급원 스폴(1102)로부터 멀어져서 업테이크 스폴(1104)를 향해 이동될 수 있게 된다.

[0057] 또 다른 예로서, 도 10에 예시된 것과 같이 제작 방법(1000)에서의 공정 센서(1040)는 시스템(1100)에 의해 제작되는 코일형 섬유(100)의 기하학적 형상에 영향을 미치도록 시스템을 조절하기 위한 정보를 제공할 수 있다. 한 예로서, 카메라(1150) 등으로부터의 데이터의 이미지 또는 비디오 해석이 섬유 직경(d)을 코일 직경(D)에 참조함으로써 코일형 재료의 코일 스프링 지수(C)를 결정하도록 사용될 수 있으며(도 1 및 2 참조), 이들은 모두 다양한 적절한 방법들로(예컨대, 공정 동안 재료의 프레임 또는 이미지에 걸친 픽셀 카운팅을 통해) 측정될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 코일 스프링 지수(C)는 절대적인 측정값이 아니라 상대적인 측정값이며, 참조하는 픽셀 카운트는 형성된-그대로의 코일 부분(1120)의 기하학적 형상을 부분적으로 이해하고 코일 스프링 지수(C)를 결정하기 위한 하나의 간단한 방법일 수 있다. 그에 따라, 몇몇 예들에서, 보정(calibration)이 필요하지 않을 수도 있다. 다양한 실시예들에서, 모니터링된 또는 결정된 코일 스프링 지수(C)가 미리 정해진 최소 코일 스프링 지수 임계값보다 밑에 있거나 너무 작은 것으로 밝혀지면, 섬유(100)의 인장은 감소될 수 있다. 대안으로, 모니터링된 또는 결정된 코일 스프링 지수(C)가 미리 정해진 최대 코일 스프링 지수 임계값보다 위에 있거나 너무 큰 것으로 밝혀지면, 섬유(100)의 인장은 증가될 수 있다.

[0058] 몇몇 실시예들에서, 비틀려진 코일 액츄에이터의 제작 속도를 증가시키는 것이 바람직할 수 있다. 하지만, 몇몇 예들에서, 높은 비틀림 속도는, 코일을 형성하는 원통형 영킴(도 12b 참조) 대신에, 섬유가 바람직하지 못한 킵킹 또는 정상 영킴(도 12a 참조)을 형성하는 가능성을 증가시킬 수 있다. 섬유(100)에서의 높은 인장은 몇몇 예들에서 비틀림 활성화(정상 영킴의 형성)로 인해 킵킹의 가능성을 감소시킬 수 있지만, 높은 인장은 작은 스프링 지수(C)와 함께 섬유(100)에서 타이트한 코일을 형성할 수 있다.

[0059] 대안의 접근법은, 섬유(100)가 킵킹 또는 정상 영킴을 형성하는(도 12a 참조) 데 따른 뒤틀림에 필요한 물리적 공간을 가지지 않도록, 비틀림 섬유(100)에 제공된 물리적 공간을 제한하는 것일 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 정상 영킴 및 원통형 영킴을 둘 다 섬유(100)가 물리적 뒤틀림을 겪게 할 수 있지만, 킵킹 또는 정상 영킴은 섬유의 연신 방향에 대해 수직으로 배열되어, 몇몇 예들에서 보다 많은 공간을 필요로 할 수 있다. 영킴 섬유 또는 안에 형성된 공간을, 예를 들어, 억제 튜브(constraining tube)를 사용하여 제한함으로써, 몇몇 예들에서, 원통형 영킴을 위한 충분한 물리적 공간을 제한하는 것이 가능하며, 그와 동시에, 킵킹 또는 정상 영킴을 형성하는 데 필요할 수 있는 공간을 제거할 수 있다.

[0060] 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 코일링 기계(100)가 섬유(100)가 연장되는 억제 튜브를 포함할 수 있는데, 억제 튜브는 원하는 코일 직경(D) 또는 최대 코일 직경과 똑같거나 그보다 더 큰 내측 직경을 가지며, 대안으로, 섬유(100)에 의해 생성될 수 있는 킵킹 또는 정상 영킴의 폭 또는 직경과 똑같거나 그보다 작은 내측 직경을 가진다.

[0061] 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 코일 기하학적 형상 및/또는 코일 공간은 액츄에이터의 다양한 실시예들을 위한 비틀림 및 코일형 액츄에이터의 특성들에 영향을 미칠 수 있다. 하지만, 코일 기하학적 형상 및/또는 공간을 조절하는 것은 다양한 적절한 방법들로 구현될 수 있다. 예를 들어, 한 접근법은 제작 동안 제작 온도 및 수분 레벨을 조절하는 것일 수 있다. 몇몇 예들에서, 트위스팅 및 언트위스팅(untwisting) 동안 상이한 인장 하중을 사용하는 것이 바람직할 수 있는 것과 같이, 몇몇 예들에서, 비틀림 및 언트위스팅 단계 동안 상이한 온도

(또는 수분 레벨)를 사용하는 것도 바람직할 수 있다. 대안으로, 온도에 응답하여 인장을 변경하는 것도 바람직할 수 있다.

[0062] 다양한 실시예들에서, 하나 또는 그 이상의 코일형 섬유(100)들은, 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 환경 상태 가령, 온도, 습도, 수분 등에 응답할 수 있는 코일형 섬유 액츄에이터를 형성할 수 있다. 이러한 코일형 섬유 액츄에이터를 실제로 사용하기 위하여, 몇몇 실시예들에서, 온도 응답의 한계 또는 범위 및/또는 열 응답(예컨대, 스트로크, Δ 길이/ Δ 온도)을 조절하는 것이 바람직할 수 있다. 주어진 섬유 재료를 위해, 열 응답의 크기는, 가령, 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$) 및 코일 직경(D) 또는 코일의 개방도와 같은, 코일의 구조 또는 기하학적 형상에 의해 영향을 받을 수 있다(예컨대, 큰 코일 직경(D)이 큰 코일 스프링 지수(C)를 야기할 수 있으며 이러한 코일은 큰 열 응답을 가질 수 있다). 그 외에도, 온도 응답의 범위의 한 끝은 코일의 공간을 통해 조절될 수 있다(예컨대, 코일 부분(240)들이 서로 접촉하게 되면, 코일형 액츄에이터의 수축은 재료의 수축을 필요로 하고 열 응답의 크기는 현저하게 감소될 수 있다).

[0063] 코일형 액츄에이터의 실제 사용을 위하여, 몇몇 예들에서, 이러한 코일형 액츄에이터가 원하는 열 응답(예컨대, 주어진 온도 변화를 위해 작동 크기, Δ 변형률/ ΔT)을 가지는 것이 바람직할 수 있으며, 이러한 코일형 액츄에이터가 용도와 연관된 온도 범위에 걸쳐 응답하는 것이 바람직할 수 있다. 몇몇 경우들에서, 움직임의 범위, 뿐만 아니라 최소 유효 길이(예컨대, 특정 온도에서) 및 최대 길이(예컨대, 또 다른 온도에서)에 걸쳐 조절하는 것이 바람직할 수 있으며, 이러한 작동은 2개의 길이 및 2개의 온도 사이에서만 발생하는 것이 효율적이다.

[0064] 임의 열팽창계수를 가진 열 액츄에이터의 몇몇 실시예들을 위해서, 특정 온도에서 및 특정 온도보다 큰 온도에서, 동일한 방향으로 비틀린 코일(예컨대, 호모키랄 코일) 및 섬유를 가진 실시예는 서로 접촉할 수 있으며(코일 접촉 온도), 액츄에이터를 위한 유효 최소 길이에 도달할 수 있다. 다양한 예들에서, 호모키랄 코일형 섬유 액츄에이터는 온도가 코일 접촉 온도보다 작을 때 코일들 사이에 물리적 공간을 가질 것이다. 인공 근육은 매스를 이동시킬 수 있는 로봇 분야에서 사용될 수 있다. 이러한 분야에서, 처음에 로딩된 코일형 액츄에이터는 액츄에이터의 코일을 연신시키고 이들을 서로 끌어당겨서, 액츄에이터의 수축 시에 하중이 올라갈 수 있게 한다. 하지만, 액츄에이터가 사전-연신되지 않거나 또는 사전-하중되지 않은 경우에서, 몇몇 실시예들에서, 코일형 섬유가 해당 온도 범위 내에서 작동할 필요가 있을 수 있다. 의복 분야 및 체온 근처에서 작동될 수 있는 그 밖의 분야에서, 몇몇 예들에서, 온도가 원하는 활성 범위 밖에 있어서 전체 해당 범위에 걸쳐 움직임이 가능할 때까지, 액츄에이터는 코일이 인접 코일들과 접촉되는 수축 상태에 도달할 수 없다. 하지만, 코일형 액츄에이터를 제작하기 위한 몇몇 기존 방법들은 액츄에이터가 언로딩될 때 저온(예컨대, 10°C 미만) 상태가 길어져야 하는 액츄에이터를 제공하는데, 이들은 몇몇 어패럴 예일 수 있다. 인접 코일들이 접촉하고 온도 하강에 대한 응답이 큰 코일 접촉 온도와 코일들 사이의 물리적 공간에 걸친 조절은, 특히, 어패럴 및 베딩 분야에서, 직물을 작동을 위해 실제로 구현되는 코일형 섬유 액츄에이터의 제작에 있어서 중요할 수 있다.

[0065] 다양한 실시예들에서, 코일 부분(240)들 사이의 공간(260)을 조절하는 것은, 코일 접촉 온도를 조절하기 위해 사용될 수 있는데, 상기 온도보다 큰 온도에서 몇몇 코일 액츄에이터가 효율적으로 비활성화될 수 있다. 코일 부분(240)들 사이의 공간(260)을 증가시키기 위하여, 제작된-그대로의 코일에서의 잔여 과도 비틀림 및 압축 응력은 위에서 기술된 것과 같이 엔트위스팅을 통해 제거되거나 감소될 수 있다. 코일형 섬유 액츄에이터는 열 설정될 수 있으며(예컨대, 어닐링될 수 있으며), 설정 상태는 코일들 사이의 공간에 영향을 미칠 수 있다. 코일은 디자인에 의해 온도에 대해 응답할 수 있으며, 열 설정 동안 제공되는 큰 온도에 응답할 수 있는데, 이러한 큰 온도는, 몇몇 예들에서, 재료에 따라, 200°C를 초과할 수 있다. 특정 어닐링 상태(예컨대, 시간, 온도, 임의의 촉진제, 가령, 물 등의 존재)에 따라, 재료에서의 일정량의 잔여 압축 응력은 몇몇 예들에서 제거될 수 있다. 열 설정을 통해 형성되거나 잔류되는 임의의 부분은 다양한 실시예들에서 코일 공간에 영향을 미칠 수 있다.

[0066] 열 설정은 다양한 적절한 시간 및 다양한 적절한 온도에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 열 설정은 140°C, 170°C, 또는 200°C에서 수행될 수 있다. 추가적인 예들에서, 열 설정은 150°C, 140°C, 또는 130°C 등과 똑같거나 그보다 작은 온도들에서 수행될 수 있다. 추가적인 예들에서, 열 처리는 100°C, 110°C, 120°C, 130°C 또는 140°C보다 높은 온도들에서 수행될 수 있다. 이러한 열 처리를 위한 온도 범위는 임의의 온도 사이의 범위에 있을 수 있다. 몇몇 예들에서, 코일형 액츄에이터는 다양한 적절한 시간 주기, 가령, 15분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간 또는 4시간 동안 원하는 온도 범위에서 열 처리될 수 있다. 그 외에도, 열 처리는 임의의 온도 시간 주기에 의해 결정된 적절한 범위에서 수행될 수 있다.

[0067] 동일한 열 설정 상태를 위해, 본 명세서에서 3개의 비-제한적인 예가 기술된다. 첫 번째 예는 섬유 액츄에이터가 설정 공정 동안 자유로이 이동되는 경우이다. 공정의 높은 온도로 인해, 코일은 수축하게 되고, 그러면 액츄

에이터가 상기 수축된 위치에 설정될 수 있다. 열 설정 공정으로부터 나오면, 온도가 낮아짐에 따라, 코일은 팽창하려는 경향을 가질 수 있지만, 몇몇 예들에서, 임의의 잔여 수축이 상기 코일 팽창에 대해 작동할 수 있으며 코일은 원하는 해당 분야의 온도 범위 또는 실온에서 서로 접촉될 수 있을 것이다.

[0068] 두 번째 예는, 어닐링 공정 동안, 온도가 증가되어도 코일들이 서로 타이트하게 접촉되지 않도록, 열 설정 절차가 섬유 액츄에이터를 물리적으로 제한하는 경우이다. 이러한 제한을 적용하기 위해서는 다수의 방법이 있는데, 가령, 예를 들어, 한 실시예는 스폴에 섬유 액츄에이터를 테이크업 하는 방법 및 설정 공정 동안, 가령, 설정 공정의 상태를 견딜 수 있도록 하기 위해 테이프 또는 쉬팅으로 스폴을 감쌌으로써, 전체 섬유를 제한하는 방법이다. 설정 공정 후에는, 몇몇 실시예들에서, 자가워진 액츄에이터 코일은 팽창하려는 경향을 가질 수 있으며, 열 설정 액츄에이터가 설정 공정 동안 자유로이 수축되는 경우보다 더 많이 분리될 수 있다. 열 설정 공정 동안 제한되는 섬유 액츄에이터들은 물리적 제한이 없는 비슷한 액츄에이터 열 설정보다 높은 값에서 코일 접촉 온도를 가질 수 있는데, 높은 코일 접촉 온도는 액츄에이터를 사용하여, 실온 및 체온, 또는 그 밖의 원하는 온도에서 언로딩되게 할 수 있다. 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 체온은 약 37.0°C, 38.0°C, 39.0°C 등을 포함하는 온도 뿐만 아니라, 피부 또는 피부 주위의 환경에 공통적으로 발견되는 온도, 가령, 약 27.0°C, 28.0°C, 29.0°C, 30.0°C, 31.0°C, 32.0°C, 33.0°C, 34.0°C, 35.0°C, 36.0°C 등을 포함할 수 있다. 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 실온은 약 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C, 25.0°C, 30°C 등의 온도를 포함할 수 있다.

[0069] 세 번째 예는, 열 설정 공정이 두 번째 예와 비슷한데, 세 번째 예가 열 설정 공정 동안 섬유 액츄에이터를 제한하지만 공정 동안에 액츄에이터를 의도적으로 연신함으로써 제한되는 경우이다. 이는 몇몇 실시예들에서 코일 접촉 온도를 높은 값으로 추가로 이동시킬 수 있다. 상기 경우들 중 각각의 경우에서, 온도, 시간, 및 재료의 설정을 용이하게 하는 임의의 화학 제재의 존재가 추가적인 요인이 될 수 있다.

[0070] 환경적으로 응답하는 비틀림 및 코일형 섬유와 얇은 액츄에이터를 위해서, 몇몇 실시예들에서, 만약 설정 공정이 변형되어 코일 접촉 온도가 높은 값으로 이동하면, 코일은 낮은 온도에서 더 많이 연장될 수 있으며(큰 코일 편향각($\alpha_{코일}$)에서 반사되는 것과 같이) 액츄에이터의 열 응답은 감소될 수 있다. 의복 및 직물의 적용 용도를 위해서는, 큰 열 응답(예컨대, $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$) 및 높은 코일 접촉 온도(예컨대, 20°C, 몇몇 경우들에서, 더 바람직하게는 40°C)를 가지는 것이 바람직할 수 있다.

[0071] 감감을 통해 제공되는 코일링을 위해서, 언트위스팅은 몇몇 실시예들에서 코일 직경(D)을 팽창시키고 코일 공간(260)에 영향을 미치도록 사용될 수 있다. 게다가, 몇몇 실시예들의 코일 부분(240)들 사이의 공간(260)은, 코일 부분(240)들 사이의 몇몇 공간(260)(도 7a 참조)으로 비틀림 활성 섬유(100)를 맨드릴 또는 그 밖의 코어 재료(510) 주위에 감거나 및/또는 희생 섬유(830)가 코일 부분(240)들 사이의 물리적 스페이서로서 작용하도록(도 8a 참조) 활성 섬유(100)를 희생 섬유(830)와 함께 맨드릴 또는 그 밖의 코어 재료(510) 주위에 감음으로써 조절될 수 있다. 희생 재료(830)는 물리적으로 제거될 수 있거나(예컨대, 코일들로부터 언와인딩될 수 있거나), 용해될 수 있거나, 화학적 수단 등으로 제거될 수 있다. 희생 재료는 코일 형태로 구성된 비틀림 섬유(100)의 크기와 호환가능한 크기 또는 직경을 가질 수 있거나, 혹은 희생 재료(830)는 최종 액츄에이터 섬유(100) 내의 코일들 사이의 공간(260)을 조절함으로써 그보다 크거나 작을 수도 있다.

[0072] 몇몇 실시예들에서, 코일 접촉 온도는 액츄에이터의 움직임의 범위를 제한하도록 사용될 수 있다. 몇몇 적용예들에서, 액츄에이터의 최소 길이를 제한하는 것이 바람직할 수 있으며, 코일 접촉 온도를 조절함으로써, 최소 길이는 상기 온도 및 그보다 높은 임의의 온도에서의 길이에 설정될 수 있다. 몇몇 예들에서, 온도가 계속하여 증가됨에 따라 몇몇 변화가 있는데, 이러한 변화는 코일이 자유로이 움직이지 않을 때 훨씬 더 작을 수 있다(이는 호모키랄 코일의 경우처럼 온도가 감소될 때 코일형 액츄에이터가 팽창되며; 코일 방향이 비틀림 방향과 반대인 헤테로키랄 코일은 반대 거동을 가질 수 있고 온도가 감소될 때 최소 크기로 수축될 수 있으며, 코일-코일 접촉은 제작사와 같고, 코일 부분(240)들이 인접한 코일 부분(240)들과 직접 접촉하면(예컨대, 도 3b 참조), 코일 부분(240)들은 코일 접촉 온도보다 작은 온도에서 실질적으로 감소된 열 수축을 가질 수 있다).

[0073] 코일 접촉 온도를 조절하면, 액츄에이터의 강성(예를 들어, 유효 모듈러스)에 걸쳐 다수 타입의 조절을 제공할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 코일 부분(240)들이 접촉하게 되면, 액츄에이터는 훨씬 단단하게 될 수 있으며, 섬유 액츄에이터와 통합되는 디자인으로 사용될 수 있다.

[0074] 몇몇 예들에서, 액츄에이터가 얇은 내에서 보호되는 환경적으로 응답하는 코어가 되도록 섬유를 액츄에이터 주위에 감쌌으로써, 액츄에이터의 연장이 조절될 수 있다. 작동 코어가 길어지면, 외측 섬유들(예컨대, 연속 필라멘트, 스테이플 섬유 등)은 선형으로 증가하는 배열방향으로 끌어당겨 질 수 있으며 외측 섬유들이 충분히 일직선이 되어 인장 연장에 대해 저항하는 지점에 도달할 수 있다. 다양한 예들에서, 이 지점에서, 액츄에이터는 섬유

들을 감쌈으로써 추가적인 연장이 현저하게 방해받을 수 있는 열 응답 영역으로 들어갈 수 있으며 액츄에이터를 위한 최대 길이를 효율적으로 생성할 수 있다. 코일형 액츄에이터를 감싸거나 보호하면 다수의 그 밖의 이점들이 제공될 수 있는데, 몇몇 실시예들에서, 이러한 이점들은 촉감을 개선하고, 외관을 향상하며, 문제로부터 보호하고, 워킹 조절, 수분 처리, 화학 저항, 전체적인 작동 안의 부피를 조절하는 것을 포함한다. 또한, 감쌈은 섬유 액츄에이터의 토크의 균형을 맞추도록 사용될 수 있다. 예를 들어, 액츄에이터는 코일의 비틀림 작용을 온도 변화가 있는 선형 수치 변화로 변환하기 위해 양 단부에서 제한될 수 있다. 이러한 제한 요건은 액츄에이터가 섬유들이 반대 비틀림 방향으로 감싸지거나 배열되면 제거될 수 있다(예컨대, Z 방향으로 비틀린 액츄에이터는 섬유들이 S 방향으로 배열되면 감싸지거나 배열될 수 있다).

[0075] 본 명세서에 기술된 다양한 예들이 코일형 액츄에이터의 열 응답에 관한 것이지만, 이러한 재료들은 수분 및/또는 화학적으로 민감할 수 있으며, 그 외에도 또는 대안으로, 그리고, 온도 또는 환경 응답 또는 적용이 수분, 물, 및/또는 화학적 민감성을 포함하는 것을 의미한다.

[0076] 본 명세서에 기술된 다양한 실시예들은 모노필라멘트 또는 멀티필라멘트 안을 포함할 수 있다. 하지만, 추가적인 예들에서, 코일형 열 액츄에이터를 제작하기 위해 스테이플 안이 사용될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 이러한 안에서 개별 섬유들은 표면-표면 상호작용을 통해 가교결합 될 수 있거나, 혹은 코일이 분리되는 연장된 형태에서, 안은 장시간의 열 응답 안의 무결성을 향상시키기 위해 가교결합 또는 폴리머 제제로 함침될 수 있다 (impregnated). 몇몇 예들에서, 안 자체는 워킹을 통해 액체 폴리머 제제의 분배를 위한 차량(vehicle)으로서 작용할 수 있다. 이와 비슷하게, 재료가 필러 또는 글레이즈로서 작용하도록 스테이플 또는 멀티필라멘트 안 위에 코팅으로서 사용될 수 있다. 이러한 재료는 용액으로서 제공된 사이즈 제제(sizing agent)를 포함하거나 용융 공정을 통해 제공된 폴리머를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 이러한 보호 재료는 섬유 또는 안 액츄에이터의 코일링 및 비틀림 후에 제거될 수 있으며, 액츄에이터의 제작 시에 보조하는 희생 재료로 사용된다.

[0077] 원하는 기하학적 형상(예컨대, 높은 스프링 지수(C), 낮은 코일 편향각($\alpha_{코일}$), 코일 부분(240)들 사이에서 조절된 공간(260) 등)을 가진 코일을 생성하기 위한 한 접근법은 하나 또는 그 이상의 희생 섬유들로 하나 또는 그 이상의 사전-비틀림(하지만, 몇몇 예들에서는 코일형이 아닌) 섬유(100)들을 꼬는 꼬임 방법(braiding)을 포함할 수 있다. 이러한 꼬임 방법은 코어(510)를 사용하거나 사용하지 않고 수행될 수 있다. 꼬임 방법은 열 설정될 수 있으며 희생 섬유 및 코어는 물리적 수단, 용해, 용융, 세척, 화학적 방법 등을 통해 제거될 수 있다.

[0078] 원하는 기하학적 형상(예컨대, 높은 스프링 지수(C), 낮은 코일 편향각($\alpha_{코일}$), 코일 부분(240)들 사이에서 조절된 공간(260) 등)을 가진 코일을 생성하기 위한 또 다른 접근법은 하나 또는 그 이상의 희생 섬유 또는 안 주위에 하나 또는 그 이상의 사전-비틀림(하지만, 몇몇 예들에서는 코일형이 아닌) 섬유(100)들을 감거나 감싸는 방법을 포함할 수 있다. 하나 또는 그 이상의 희생 섬유들은 하나 또는 그 이상의 희생 섬유들 주위에 형성되는 코일의 중앙 공동(220)의 기하학적 형상을 형성할 수 있다. 감싸지거나 덮힌 섬유 또는 안은 열 설정될 수 있으며 희생 섬유 또는 섬유들은 물리적 수단, 용해, 용융, 세척, 화학적 방법 등을 통해 제거될 수 있어서, 감싸진 섬유 코일을 코어로부터 자유롭게 할 수 있다. 액츄에이터 제작에 대한 상기 접근법에서, 희생 코어는 섬유들이 주위에 감겨질 수 있는 구조 또는 템플릿으로서 작용할 수 있다. 코어 주위에 감싸지도록 사용되는 섬유들 또는 안은 모노필라멘트, 연속 필라멘트 안일 수 있거나, 또는 스테이플 섬유 안, 선택적으로는 코일형 구조의 형성을 용이하게 하기 위해 윤활제 및/또는 제거가능한 크기로 준비될 수 있다.

[0079] 높은 스프링 지수를 가질 수 있는 미세 안들을 포함하는 몇몇 예들에서, 유효 모듈러스는 원하는 열 또는 기계적 성능을 구현하기에 너무 낮을 수 있다. 유효 모듈러스를 증가시키기 위하여, 코일은 제작 동안 탄성 또는 비-탄성 코어 주위에 감싸질 수 있으며, 코어는 최종 제품에서 안의 일부분을 남길 수 있다. 또한, 코일은 몇몇 예들에서, 다중-성분 코어 주위에 감싸질 수 있는데, 코어의 일부분은 감쌈/열 설정 후에, 용해를 통해, 화학적 또는 물리적 수단에 의해 제거될 수 있다.

[0080] 희생 코어(510) 주위에 하나 또는 그 이상의 섬유(100)를 감싸는 것은 크로스 안 커버링에 사용될 수 있으며, 하나 또는 그 이상의 섬유(100)들 중 제1 세트는 코어(510) 주위에서 한 방향(S 또는 Z)으로 감싸지며, 그 뒤, 하나 또는 그 이상의 섬유(100)들 중 제2 세트가 코어(510) 주위에서 반대 방향(Z 또는 S)으로 감싸지는 추가적인 커버링 및 하나 또는 그 이상의 섬유(100)들 중 제1 세트를 포함할 수 있는 제1 감쌈 단계가 제공된다. 몇몇 실시예들에서, 섬유(100)들 중 제1 및 제2 세트는 높은 수준으로 비틀릴 수 있으며, Z-비틀림을 가진 외부 호모키탈 코일이 S-비틀림을 가진 내부 호모키탈 코일을 둘러싸거나, 혹은 S-비틀림을 가진 외부 호모키탈 코일이 Z-비틀림을 가진 내부 호모키탈 코일을 둘러싸는 정지된 코일형 액츄에이터를 형성하는 정지된 코일형 액츄에이터를 형성하는데, 이에 따라 균형잡힌 또는 부분적으로 균형잡힌 작동 안을 형성할 수 있다. 몇몇

실시예들에서, 제1 또는 제2 세트의 섬유들 중 오직 하나만 높은 수준으로 비틀리며 섬유들 중 그 밖의 세트는 지지, 저항, 보호, 벌크, 또는 그 밖의 적절한 목적을 위해 존재할 수 있다.

- [0081] 작은 직경을 가진(예컨대, 0.25 mm 미만의) 섬유 또는 얇을 위해서, 상업용 감쌈 또는 커버링 기계는 최소 코일 편향각($\alpha_{\text{코일}}$)을 가진 소형 코일형 액추에이터를 제작하기 위하여 선형 길이마다 적절한 레벨의 코일링 또는 비틀림을 제공할 수 없을 수 있다. 한 비-제한적인 예에서, 일 미터마다 < 5000의 코일을 가능하게 하는 감쌈 기계가 높은 수준으로 비틀린 100 마이크로미터 필라멘트를 가진 중앙 희생 섬유 또는 얇을 감쌀 수 있으며, 각각의 코일 사이에 > 100 마이크로미터의 공간을 남긴다. 이러한 공간은 코일형 재료에 남을 수 있으나, 대안으로, 제2 고-비틀림 필라멘트(또는 제2 및 제3, 또는 제2 및 제3 및 제4 등)가 동시에 중심 코어 재료 주위에 감싸질 수 있으며, 한 코일이 다른 코일 내부에 배열되는 2개의 코일을 형성할 수 있다. 몇몇 예들에서, 정지된 코일의 존재로 인해 환경 응답이 변경되지 않지만, 정지된 코일 또는 코일들은 특성들에 있어 몇몇 차이점을 가질 수 있다. 예를 들어, 수축 범위는 제2 코일의 존재로 인해 감소될 수 있다. 또 다른 예에서, 정지된 코일의 전체 조합 강성은 개별 코일의 강성보다 클 수 있다. 제작 측면에서 보면, 제2 필라멘트를 추가하면, 다양한 예들에서, 코일링 단계에 공정 시간을 추가하지 않을 수 있으며, 2개의(또는 그 이상의) 필라멘트들이 제작 공정 동안 서로에 대해 배열될 수 있으며 서로 효율적으로 제한됨에 따라 안정성이 향상될 수 있다.
- [0082] 몇몇 실시예들에서, 열을 제공하는 것은, 코일을 원하는 기하학적 형상으로 설정하는 데 반드시 필요하지 않을 수 있다. 예를 들어, 소성 변형을 통한 기계적 설정이 사용될 수 있다. 또한, 코일을 원하는 기하학적 형상으로 설정하고 잔여 기계적 응력을 제거하기 위하여 몇몇 예들에서 화학적 방법들이 사용될 수도 있다.
- [0083] 특정한 횡단면을 가진 섬유, 가령, 중공-코어 전구체 섬유 등이 섬유로부터 제작된 몇몇 액추에이터의 중량을 감소시키고 단열 값을 증가시키도록 사용될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 비-원형의 횡단면은 섬유(100)의 표면적을 증가시켜, 워킹, 드라잉, 촉감 등을 개선시킬 수 있다.
- [0084] 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 하나 또는 그 이상의 코일형 섬유(100)를 포함하는 코일형 액추에이터 또는 인공 근육은 어패럴, 베딩, 드레이프, 단열 등에서 다양한 적절한 용도를 가질 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 어패럴, 가령, 코트, 스웨터 등은 복수의 코일형 섬유(100)들을 포함하는 복수의 코일형 액추에이터를 포함하는 적응식 패브릭(adaptive fabric)을 포함할 수 있는데, 적응식 패브릭의 제1 층은 착용자의 신체를 향하고 둘러싸도록 구성되고, 제2 층은 착용자의 외부 환경을 향하도록 구성된다. 이러한 형상은 적응식 패브릭이 배열될 수 있는 외측 면 및/또는 라이너를 포함할 수 있다. 그 밖의 실시예들에서, 의복 또는 그 밖의 제품에서 오로지 단일의 적응 층이 사용될 수 있다.
- [0085] 다양한 실시예들에서, 적응식 패브릭을 포함하는 어패럴은 외부 환경의 온도 및/또는 착용자의 체온에 따라 형상을 변경하도록 구성될 수 있는데, 온도에 따라 증가 또는 감소된 단열을 위해 제공하도록 플래트닝 또는 로프팅을 포함할 수 있다. 예를 들어, 환경 온도가 사용자의 즉각적인 환경(예컨대, 약 27°C)을 위해 원하는 쾌적한 온도보다 낮으면, 적응식 패브릭의 외부 및/또는 내부 층은, 저온에서 단열되고 로프팅 양이 클 때, 사용자를 위해 저온으로부터 개선된 단열을 제공하기 위해 로프팅되도록 구성될 수 있다. 대안으로, 환경 온도가 사용자를 위해 쾌적한 온도보다 높으면, 적응식 패브릭의 외부 및/또는 내부 층은 사용자를 위해 감소된 단열을 제공하기 위해 플래트닝 하도록 구성될 수 있다.
- [0086] 그 외에도, 어패럴의 적응식 패브릭은 착용자의 신체와 관련된 습도에 따라 변경시키고 이러한 습도가 착용자의 신체로부터 빠져나가게끔 안내하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 적응식 패브릭을 포함하는 어패럴을 입는 동안 사용자가 땀을 흘릴 때, 적응식 패브릭은 보다 다공성을 띄게 되거나 및/또는 플래트닝 하게 되어 습도가 어패럴 내부로부터 어패럴 외부로 향해 사용자로부터 빠져나갈 수 있도록 구성될 수 있다.
- [0087] 복수의 코일형 액추에이터를 포함하는 적응식 패브릭 또는 직물은 다양한 적절한 방법들로 생성될 수 있으며 다양한 적절한 특성을 가질 수 있다. 예를 들어, 2개의 재료들 사이의 열팽창계수에 있어서의 차이(ΔCTE)는 바이모르프와 같은 구조물 또는 복수의 코일형 액추에이터를 가진 그 밖의 구조물의 움직임 또는 편향 범위를 나타낼 수 있는 용어이다. 몇몇 재료 예에서, ΔCTE 는 100-200 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{K}$ 일 수 있지만, 이들은 몇몇 실시예들에서는 바람직하지 않을 수도 있다. 그에 따라, 바이모르프의 다양한 실시예들은 본 명세서에서 기술된 것과 같이(예컨대, 도 15a, 15b, 16a, 16b, 17a, 17b 및 18) 고-비틀림 코일 액추에이터를 포함할 수 있으며, 몇몇 실시예들에서 1000 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{K}$ 또는 그 이상의 유효 CTE 값을 가지고 동일한 크기의 ΔCTE 값을 제공할 수 있다. 몇몇 예들에서, 이러한 CTE 값들은 바람직한 편향 또는 굽힘 특성을 가진 이중층 구조물과 바이모르프에서 사용될 수 있다.

- [0088] 다양한 실시예들에서, 코일형 액츄에이터가 열-응답식 인장 액츄에이터(선형 움직임) 및/또는 비틀림 액츄에이터(회전 움직임)로서 기능할 수 있다. 추가적인 실시예들에서, 상호보완적인 재료를 사용함으로써, 본 명세서에 기술된 구조물들은 코일형 액츄에이터의 선형 움직임을 수직 방향에서의 움직임으로 변환시킬 수 있다. 이러한 실시예들은 열 응답 양, 필터, 펠트, 패브릭 등에서 사용하기에 바람직할 수 있으며, 저온에 노출 시에 두꺼워지는 의복 및 그 밖의 물품들을 포함할 수 있다.
- [0089] 다양한 실시예들에서, 2개 쌍의 재료(ΔCTE)의 CTE 값들 사이의 차이가 클 때 재료를 쌍으로 형성하는 것이 바람직할 수 있다. 그에 따라, 큰 CTE 값을 가진 코일형 액츄에이터(1210)들은 바이모르프 및 바이모르프를 포함하는 구조물에 사용하기에 바람직할 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 코일형 액츄에이터는 양의 CTE 특성(예컨대, 온도가 증가되며 헤테로키탈 코일이 비틀리고 코일 방향이 서로 반대일 때 팽창되는 특성)을 가지거나, 혹은 음의 CTE 특성(예컨대, 온도가 증가되며 헤테로키탈 코일이 비틀리고 코일 방향이 동일할 때에는 수축되는 특성)을 가질 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본 명세서에 기술된 것과 같이, 동일한 필라멘트 재료를 포함하며 서로 쌍을 이루고 맞은편에 배열된 코일형 액츄에이터는 큰 ΔCTE 값을 생성할 수 있다.
- [0090] 다양한 실시예들에서, 바이모르프는, 온도 변화로 인한 액츄에이터의 선형 변위가 평면 밖으로 나가거나 또는 바이모르프 에서 수직 편향을 야기하여, 바이모르프의 두께 또는 높이에 있어서 유효 변화로 이어질 수 있는 비틀림 코일형 액츄에이터를 포함할 수 있다.
- [0091] 도 15a 및 15b는 제1 및 제2 단부(1530, 1540)에 결합된 필라멘트(1520)와 코일형 액츄에이터 섬유(100)를 포함하는 바이모르프(1500)의 한 예(1500A)를 예시한다. 코일형 액츄에이터 섬유(100)와 필라멘트(1520)는 제1 및 제2 단부(1530, 1540)에만 결합될 수 있거나 및/또는 그들의 길이의 한 부분을 따라 결합될 수 있다.
- [0092] 다양한 실시예들에서, 코일형 액츄에이터 섬유(100)는 온도 변화에 응답하여 길이 방향으로 팽창하거나 수축될 수 있다. 예를 들어, 코일형 액츄에이터 섬유(100)는 온도가 낮아질 때 수축되거나(헤테로키탈 섬유 액츄에이터, 비틀림 및 코일 방향은 반대임) 또는 온도가 낮아질 때 팽창될 수 있다(호모키탈 섬유 액츄에이터, 비틀림 및 코일 방향은 동일함). 다양한 실시예들에서, 필라멘트(1520)는 팽창하거나, 수축되거나, 또는 길이 방향으로서는 실질적으로 변화하지 않을 수도 있다.
- [0093] 도 15a는 좌측에서 제1 온도에서 평평한 형상에 있으며 우측에서 온도 변화에 의해 야기된 제1 수축 형상에 있는 바이모르프(1500A)를 예시한다. 도 15b는 좌측에서 제1 온도에서 평평한 형상에 있으며 우측에서 도 15a에 예시된 온도 변화로부터 반대인 온도 변화에 의해 야기된 제2 수축 형상에 있는 도 15a의 바이모르프(1500A)를 예시한다. 예를 들어, 도 15a는 음의 온도 변화에 따른 형상에서의 변화를 예시하며 도 15b는 양의 온도 변화에 따른 형상에서의 변화를 예시할 수 있다.
- [0094] 다양한 실시예들에서, 코일형 액츄에이터 섬유(100)와 필라멘트(1520)는 도 15a 및 15b의 실시예에 도시된 것과 같이 둘 다 구부러지도록 구성될 수 있으며, 필라멘트(1520)와 코일형 액츄에이터 섬유(100)의 길이는 굽어진 형상과 직선 형상으로 접하고 있다. 추가적인 실시예들에서, 코일형 액츄에이터 섬유(100)와 필라멘트(1520)는 상이한 방법으로 구부러지도록 구성될 수 있으며, 코일형 액츄에이터 섬유(100)와 필라멘트(1520)는 평평한 형상 및/또는 구부러진 형상으로 접하지 않을 수도 있다.
- [0095] 예를 들어, 도 16a는 필라멘트(1620)와 코일형 액츄에이터 섬유(100)를 가진 바이모르프(1500)의 한 실시예(1500B)를 예시하고 있는데, 코일형 액츄에이터 섬유(100)는 바이모르프(1500)가 평평한 형상에 있을 때(좌측) 그리고 구부러진 형상에 있을 때(우측) 선형 형상을 유지한다. 상기 예에서, 코일형 액츄에이터 섬유(100)는 온도 변화로 인해 수축되어, 필라멘트(1620)가 코일형 액츄에이터 섬유(100)로부터 멀어지는 방향으로 구부러진 상태로 도시된다.
- [0096] 이와 비슷하게, 도 16b는 제1 및 제2 필라멘트(1620A, 1620B)를 포함하는 바이모르프(1500)의 또 다른 예(1500C)를 예시한 도면으로서, 코일형 액츄에이터 섬유(100)는 제1 및 제2 필라멘트(1620A, 1620B) 사이에 배열된다. 상기 예에서, 바이모르프(1500C)는 온도 변화로 인해 수축되어, 필라멘트(1620A, 1620B)들이 코일형 액츄에이터 섬유(100)로부터 멀어지는 방향으로 구부러져서, 선형 형상을 유지하는 상태로 도시된다.
- [0097] 도 17a 및 17b는 제1 및 제2 단부(1530, 1540)에 결합된 제1 및 제2 코일형 액츄에이터 섬유(100A1, 110B1)를 포함하는 바이모르프(1500)의 두 예(1500D, 1500E)를 예시한다. 몇몇 실시예들에서, 코일형 액츄에이터 섬유(100A1, 110B1)들은 그들의 길이의 한 부분을 따라 결합될 수 있다. 도 17a는 코일형 액츄에이터 섬유(100A1, 110B1)들이 반대의 열 응답을 가지며 평평한 형상(좌측) 및 구부러진 형상(우측)으로 결합된 상태로 유지되는 실시예(1500D)를 예시한다. 이에 비해, 도 17b는 코일형 액츄에이터 섬유(100A1, 110B1)들이 평평한 형상(좌

측)으로 결합되고 구부러진 형상(우측)으로 분리될 수 있는 실시예(1500E)를 예시한다.

- [0098] 도 18은 필라멘트(1520)와 코일형 액추에이터 섬유(100)를 가진 바이모르프의 한 실시예(1500F)를 예시하는데, 필라멘트(1520)는 바이모르프(1500)가 평평한 형상(좌측)과 구부러진 형상(우측)에 있을 때 선형 형상을 유지한다. 상기 예(1500F)에서, 코일형 액추에이터 섬유(100)는 온도 변화로 인해 팽창되어, 코일형 액추에이터 섬유(100)가 필라멘트(1520)로부터 멀어지는 방향으로 구부러지게 하는 상태로 도시된다.
- [0099] 다양한 실시예들에서, 하나 또는 그 이상의 비틀림 코일 액추에이터 섬유(100)는 움직이지 않는 구조물로서 기능할 수 있는 하나 또는 그 이상의 강성 카운터 필라멘트(1520)와 결합될 수 있는데, 이러한 움직이지 않는 구조물에 대해 액추에이터 섬유(100)가 수직으로 배열되어, 유효 두께를 변화시키는 최소 선형 팽창을 가진 구조물을 생성할 수 있다. 도 18은 이러한 구조물의 한 예를 예시한다.
- [0100] 바람직한 유효 CTE 값 외에도, 코일형 액추에이터 섬유(100)들은 몇몇 공정 또는 제작 이점들을 제공할 수 있는데, 가령, 기계적 연결 라우트는 슈트 구조물에 유용하지 않으며, 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 동일한 길이의 재료로부터 양과 음의 CTE 코일 둘 모두를 형성하는 이점을 가진다. 코일형 액추에이터 섬유(100)들을 위한 스프링 상수가 클 때 코일형 액추에이터 섬유(100)의 유효 CTE 값들은 최대화될 수 있으며, 개방 공동(220)을 코일의 중앙에 남길 수 있다. 또한, 코일형 액추에이터 섬유(100)들은 다공성, 밀도, 및 통기성 등으로 인해 바람직할 수 있는데, 이들은 상기 구조물에 존재할 수 있다.
- [0101] 다양한 실시예들에서, 하나 또는 그 이상의 코일형 액추에이터 섬유(100)들 및/또는 바이모르프(1500)는 큰 유효 Δ CTE 값 및 그에 상응하는 큰 편향 값을 가진 바이모르프 슈트 구조물을 생성하기 위해 박막 또는 패브릭을 통해 꿰매어지거나 짜여질 수 있다. 추가적인 실시예들에서, 하나 또는 그 이상의 코일형 액추에이터 섬유(100)들은 바이모르프 슈트를 생성하기 위해 슈트에 결합되거나 꿰매어질 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 교대로 배열된 코일 세그먼트를 가지며 서로 반대의 키랄성의 세그먼트가 교대로 팽창하고 수축되는 하나 또는 그 이상의 코일형 액추에이터는 패브릭 또는 슈트의 표면에 결합되거나 꿰매어질 수 있다. 슈트 구조물은 교대로 배열된-키랄성 코일형 액추에이터 섬유(100)들 내에서 양과 음의 열 응답 영역들로 인해 온도가 변화될 때 슈트 또는 리본이 사인파 프로파일 형태로 구성될 때 형성될 수 있다. 교대로 배열된-키랄성 코일형 액추에이터의 실시예들은 다양한 분야에서의 용도를 가질 수 있다. 예를 들어, 다양한 실시예들은 열 적응식 의복을 제작하도록 구성될 수 있는데, 교대로 배열된 키랄성 코일이 패브릭의 표면에 교대로 배열된 양과 음의 CTE 영역들을 생성하고 온도 변화에 따라 패브릭에서 주름(undulation)을 야기하기 위해 전통적인 박음질에 사용될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 박음질에서 제2 양 또는 섬유는 큰 CTE 또는 비틀림 코일 액추에이터 재료일 필요가 없다.
- [0102] 몇몇 실시예들에서, 복수의 코일형 액추에이터 섬유(100)들이 나란하게 배열될 수 있으며 함께 짜이거나 꿰매어질 수 있어서, 단일의 방향으로 원하는 CTE를 가진 슈트 또는 층을 생성할 수 있다. 추가적인 실시예들에서, 상이한 CTE를 가진(예컨대, 하나는 큰 양의 CTE를 가지며 다른 하나는 큰 음의 CTE를 가진) 이러한 슈트는 바람직한 곡률반경과 열팽창에서의 바람직한 차이를 가진 평평한 바이모르프 슈트를 형성하도록 쌍으로 구성될 수 있다.
- [0103] 추가적인 실시예들에서, 코일형 액추에이터 섬유(100)들은 박막, 막, 또는 패브릭에 꿰매어질 수 있으며, 이러한 박막, 막, 또는 패브릭에 열 응답 특성들이 제공될 수 있다. 그에 따라, 다양한 실시예들은 패브릭 또는 단열 재료를 가진 선택된 재료들을 더 많이 통합할 필요성을 제거할 수 있다. 이러한 실시예들에서, 열 응답 재료는 위브의 일부분일 수 있으며, 주 단열체일 수도 있고, 차감될 수 있거나, 또는 접착제 또는 열 접합을 통해 또 다른 재료에 부착될 수 있다.
- [0104] 그 외에도, 코일형 액추에이터 섬유(100)들은 거위 털과 비슷한 브랜치 구조를 생성하도록 사용될 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 코일링 공정 동안 얇은 섬유의 층을 통해 비틀림 섬유(100)를 끌어 당김으로써, 얇은 섬유들은 코일에 포획되거나 잡힐 수 있어서, 가변 단열에 있어, 바람직한 단열성, 촉감, 및 구조적 특성들을 가진 브랜치 구조물을 형성할 수 있다.
- [0105] 코일형 액추에이터 섬유(100)는 선형 또는 비틀림 액추에이터로 제공될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본 명세서에서 논의되는 것과 같이, 2개의 상이한 재료를 쌍으로 형성하면, 평면 밖으로 나가거나 수직 움직임을 생성할 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 상이한 CTE 특성을 가진 비틀림 코일을 반대적으로 쌍으로 형성하는 짜이거나 편직된 구조물은 열 응답 바이모르프(1500)를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 복수의 재료는 온도에 응답하여 변경되는 위브의 총 물리적 구조물을 생성할 수 있도록 다양한 적절한 방법으로 함께 짜일 수 있다. 이러한 짜여진 구조물은 온도에 응답하여 길이 또는 형상을 변화시키는 그 밖의 적절한 재료 또는 구조물, 또는 코

일형 액츄에이터 섬유(100)를 포함할 수 있다.

- [0106] 다양한 실시예들에서, 짜이거나 편직된 구조물은 전체 움직임이 조화되고 임의의 전혀 다른 섬유 그룹들로 특정되지 않도록 섬유를 정렬함으로써 제한으로 제공될 수 있는데, 이는 열 적응식 재료에 바람직하며 유효 두께에서 편향 또는 변화를 최대화한다.
- [0107] 추가적인 실시예들에서, 온도 민감 구조물은 비-적응식 제한, 가령, 섬유, 얇, 또는 활성 재료가 작동되는 패브릭을 포함할 수 있으며, 이때, 비-적응식 재료는 선형, 직선, 또는 평평하게 유지될 수 있고, 활성 재료는 팽창으로 인해 로프팅될 수 있거나, 활성 재료가 선형, 직선 또는 평평한 상태로 유지되고 비-적응식 재료가 활성 재료의 수축으로 인해 로프팅될 수 있다. 위빙, 니팅 또는 접착의 사용을 통한 적절한 제한은 이러한 구조물의 원하는 온도 응답을 생성할 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 재료의 움직임의 범위를 제한하는 제한을 사용하는 것이 바람직할 수 있다.
- [0108] 추가적인 실시예들에서, 하나 또는 그 이상의 코일형 섬유(100)를 포함하는 코일형 액츄에이터 섬유(100) 또는 인공 근육은 다양한 적절한 방법들로 사용될 수 있는데, 이러한 방법에는, 다음 중 하나 이상을 포함한다: (i) 직물 또는 꼬임, (ii) 공기 흐름 또는 광 전달을 조절하기 위해 블라인드 또는 셔터를 개폐하기 위한 기계 메커니즘, (iii) 장난감 또는 의료 장치를 위한 기계 드라이브, (iv) 거대 또는 미세-크기의 펌프, 밸브 드라이브, 또는 유체 믹서, (v) 로크를 개폐하거나 또는 전자 회로를 개폐하기 위한 기계 릴레이, (vi) 매우 민감한 전자 화학적 피분석물 해석에 사용되는 회전 전극을 위한 비틀림 드라이브, (vii) 광학 장치를 위한 기계 드라이브, (viii) 광학 셔터를 개폐하고, 렌즈 혹은 광 디퓨저를 병진운동 시키거나 회전시키고, 순응 렌즈의 초점 길이를 변화시키는 변형을 제공하거나, 디스플레이 상의 변경 이미지를 제공하기 위해 디스플레이 상의 픽셀을 회전하거나 병진운동 시키는 광학 장치를 위한 기계 드라이브, (ix) 촉각 정보를 제공하는 기계 드라이브, (x) 점자 디스플레이 또는 수술용 장갑에서 햅틱 장치를 위한 촉각 정보를 제공하는 기계 드라이브, (xi) 표면 구조를 변경시킬 수 있는 스마트 표면을 위한 기계 드라이브 시스템, (xii) 외골격, 보철 사지, 또는 로봇을 위한 기계 드라이브 시스템, (xiii) 휴머노이드 로봇을 위한 현실적인 얼굴 표정을 제공하기 위한 기계 드라이브 시스템, (xiv) 주변 온도에 응답하여 다공성 변화 또는 벤트를 개폐하는 온도 민감 재료를 위한 스마트 패키징, (xv) 광열 가열로부터 기인된 온도 또는 주변 온도에 응답하여 밸브를 개폐하는 기계 시스템, (xvi) 태양의 방향에 대한 태양전지의 배열방향을 조절하는 전기 가열 또는 광열 가열을 이용하는 기계 드라이브, (xvii) 광열 방식으로 작동되는 마이크로 장치, (xviii) 전기 에너지로서 하베스팅되는 기계 에너지를 생성하기 위해 온도에서의 변동을 사용하는 열 또는 광열 작동식 에너지 하베스터, (xix) 열 작동이 의복을 쉽게 착용하도록 사용되는 클로즈-피팅 의복, (xx) 조절 순응이 전자가열 작동에 의해 제공되는 조절 순응을 제공하기 위한 장치, (xxi) 병진운동 또는 회전 포지셔너 등이다.
- [0109] 앞에서 기술된 실시예들은 다양한 변형 형태 및 대안 형태가 가능하며, 본 명세서에서는 단지 예로서 이들의 특정 예들이 도시되고 상세하게 기술되었다. 하지만, 앞에서 기술된 실시예들은 본 명세서에 기술된 특정 형태 또는 방법에만 제한되는 것이 아니며, 그 반대로, 본 발명은 이 모든 변형예, 균등예, 및 대안예들을 다루는 것으로 이해해야 한다.
- [0110] **제1 및 제2 실시예**
- [0111] 도 13 및 14는 본 명세서에 기술된 방법들에 따라 제작된 2개의 환경적으로 응답하는 코일형 섬유 액츄에이터를 도시한다. 도 13 및 14의 현미경 이미지는 2개의 상이한 방법들로 제작된 기하학적 형상을 가진 코일을 도시한다. 스케일 바의 길이는 0.5 mm이다.
- [0112] 도 13에서, 0.1 mm 폴리아미드 필라멘트로부터, 인장 하에서 코일링 유도 지점까지 비틀고, 감소된 로드 하에서 코일을 반대 방향으로 비틀며(엔트위스팅), 열 설정하여, 고-비틀림 섬유 코일을 형성하였다. 코일 지수를 측정하였더니 약 2.9로 밝혀졌으며, 섬유 액츄에이터의 축방향에서 선형 열팽창계수를 측정하였더니 -4.2 mm/m/K로 밝혀졌다.
- [0113] 도 14에서, 0.1 mm 폴리아미드 필라멘트로부터, 인장 하에서 코일링 유도 지점 전에 비틀고, 희생 섬유 코어 주위로 감싼 뒤, 열 설정하고 코어를 제거하여, 고-비틀림 섬유 코일을 형성하였다. 코일 지수를 측정하였더니 약 2.8로 밝혀졌으며, 섬유 액츄에이터의 축방향에서 선형 열팽창계수를 측정하였더니 -4.6 mm/m/K로 밝혀졌다. 두 코일형 섬유 액츄에이터를 동일한 폴리아미드 필라멘트로부터 형성하였고, 두 코일 모두 호모키랄이며, 음의 열팽창계수를 가지고, 온도를 높일 때보다는 온도를 낮출 때 팽창하였다. 비틀림에 의해 코일 형태로 구성된 코일(도 13)은 서로들 사이에 작은 공간을 보여주며, 코일은 감쌈에 의해 코일 형태로 구성된 재료(도 14)에 접촉

하거나 거의 접촉된다.

[0114] **추가예**

[0115] 위에서 기술된 이러한 기술들을 사용하여, 5 mm/m/K 이상의 CTE 크기를 가진 열 액츄에이터를 제작하였으며(음의 열팽창계수를 가진 코일에 대해서는 K 마다 -0.005 또는 -5 mm/m/K 미만의 값을 의미함), 또한, 2 mm/m/K 이상의 크기를 가진 액츄에이터를 제작하였다. 이 실시예들은 모두 체온 주위에서 작동되며 어패럴 분야에 적절한 응답 직물을 제작할 수 있게 한다.

[0116] 도 19는 다양한 코일 지수 값(C)을 가진 200개의 비틀림 및 코일형 호모키랄 섬유 액츄에이터를 위한 유효 선형 열팽창계수(CTE) 데이터를 나타낸다. 점선은 데이터($R^2 = 0.7$)의 선형 피팅을 나타낸다. 이 데이터 중 그 어느 것도 맨드릴-감김 또는 코어-감쌈 액츄에이터를 위한 것이 아니며; 모든 데이터는 코일링 지점까지 비틀림을 통해 제작된 코일을 나타낸다. 코일 지수 값을 약 1.75 이상으로 구현하기 위하여, 형성된-그대로의 코일을 부분적으로 언트위스팅 하여, 선형 팽창 계의 크기 및 코일 지수 값을 증가시켰다. 일반적으로, 큰 코일 스프링 지수(C)를 가진 코일은 체온 주위에서 팽창하고 수축할 수 있기에 충분히 높은 코일 접촉 온도를 가진다. 또한, 상이한 상태 하에서 상이한 재료로 형성된, 큰 스프링 지수를 가진 이러한 코일들은 코일 편향각과 코일들 사이의 공간에서의 변형을 보여주며, 높은 C 값에서 데이터의 분산이 증가되는 데 대해 설명해준다. 데이터는, 다양한 섬유 또는 안 크기의 범위는 직경에서 0.05 mm 내지 0.3 mm 이상인, 폴리아미드, 폴리에스테르, 및 폴리올레핀 균의 섬유들로부터 형성된 코일을 나타낸다. 또한, 데이터는 이러한 상태 범위 하에서 열 설정된 코일을 나타낸다.

[0117] 표 1은 상이한 온도들에서 열 설정된 일련의 비틀림 및 코일형 폴리에스테르 섬유 액츄에이터들로부터 측정된 열팽창계수 데이터를 요약한 것이다. 총 18개의 섬유 액츄에이터에 대해, 각각의 온도, 140°C, 170°C, 및 200°C에서, 어닐링하기 위해, 6개의 섬유 액츄에이터를 제작하였다. 이 액츄에이터들은 모두 비슷한 상태 하에서 제작되었으며 어닐링 단계 전에 공칭적으로 동일하였다. 각각의 온도에서, 어닐링된 섬유 액츄에이터 중 절반은 S-비틀림 호모키랄 액츄에이터 이었고, 다른 절반은 Z-비틀림 호모키랄 액츄에이터이다. 이 세 열 설정 상태들은 모두 큰-스트로크 열 응답 재료를 제작하기에 적절하였지만, 낮은 온도, 140°C 및 170°C에서 제작된 섬유 액츄에이터들도 유의미한 큰 열 응답 크기를 가진다. 각각의 열 설정 단계들을 2시간 동안 수행하였다.

표 1

[0118] 열 설정 온도(°C)	140°C	170°C	200°C
평균 열팽창계수(mm/m/°C)	-3.9	-3.8	-3.0
상대표준편차(%)	13.8%	6.4%	6.5%

[0119] 표 1: 상이한 온도들에서 열 설정된 비틀림 및 코일형 폴리에스테르 섬유 액츄에이터에 대한 데이터 요약.

[0120] 심지어 높은 용융점을 가진 재료들에도, 낮은 온도 열 설정 상태들도 사용될 수 있다. 예를 들어, 오토클레이브 상태(121°C에서, 15-20분 동안, 포화 및 압축된 증기)도 고-비틀림 폴리아미드에서 몇몇 비틀림 활성화를 릴렉스하기에 충분할 수 있으며, 고-비틀림 및/또는 코일형 재료를 안정적으로 취급하기 위해 필요한 인장을 감소시킬 수 있다. 일반적으로, 재료의 유리 전이 온도 이상의 온도로 열 설정하는 것이 바람직한데, 직물에서 사용되는 공통적인 폴리머, 가령, 폴리에스테르 및 폴리아미드에 대해서는 통상 100°C보다 작다. 폴리올레핀 재료에 대해서는, 유리 전이 온도가 그 보다 훨씬 더 낮은데, 보통 0°C 이하이고, 종종 100°C 미만의 열 설정 온도가 적절하다.

[0121] 본 명세서에 기술된 기술들을 이용하여, 코일링 유도 지점까지 섬유를 비틀림하면, -9 mm/m/K보다 큰 유효 선형 열팽창계수 값을 가진, 호모키랄 코일형 섬유 액츄에이터를 제작할 수 있음을 보여준다. 추가적인 최적화 방법도 가능한데, 이러한 값들은 성능의 상한값이 아니다. 게다가, 비틀림 섬유를 코어 주위로 감싸는 방법도 비슷한 결과를 제공할 수 있으며, 몇몇 예들에서, 제작된 코일의 구조에 대해 훌륭한 조절을 제공할 수 있어, 그에 따라 라우트에 우수한 성능을 제공할 수 있다.

[0122] 본 발명의 실시예들은 다음과 같이 기술될 수 있다:

[0123] 1. 사용자의 신체의 일부분을 적어도 부분적으로 둘러싸며 착용하도록 구성된 열 적응식 의복을 형성하는 방법에 있어서, 열 적응식 의복은:

- [0124] 복수의 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하되, 복수의 코일형 액츄에이터 섬유들은 각각:
- [0125] 섬유를 비틀어서 25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가진 고-비틀림 섬유를 생성하는 단계;
- [0126] 고-비틀림 섬유를 희생 코어 주위로 감싸서 고-비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계;
- [0127] 희생 코어에 배열된 고-비틀림 섬유 코일에 열 또는 화학적 설정 제재를 제공함으로써 고-비틀림 섬유를 설정하는 단계; 및
- [0128] 희생 코어를 용매에 용해시킴으로써 희생 코어를 제거하여 다음 특성들을 가진 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 단계에 의해 생성되는데, 이 특성들은:
 - [0129] 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C),
 - [0130] 20°C와 똑같거나 그보다 큰 코일 부분 접촉 온도,
 - [0131] $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답, 및
 - [0132] 25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 포함하고;
- [0133] 이렇게 생성된 복수의 코일형 액츄에이터 섬유들을 포함하는 열 적응식 패브릭을 생성하며;
- [0134] 열 적응식 패브릭에 의해 형성된 의복 몸체를 생성하되, 상기 열 적응식 패브릭은:
 - [0135] 착용하는 사용자의 신체를 향하도록 구성된 내측면을 가진 내측 부분, 및
 - [0136] 착용하는 사용자의 외부에 있는 환경을 향하도록 구성된 외측면을 가진 외측 부분을 포함하되,
 - [0137] 열 적응식 패브릭은 제1 환경 온도 범위에 응답하여 기저 형상을 가지도록 구성되고, 및
 - [0138] 열 적응식 패브릭은 제1 환경 온도 범위로 상이한 제2 환경 온도 범위에 응답하여 로프팅된 형상을 가지도록 구성된 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.
- [0139] 2. 제1항에 있어서, 섬유는: 하나 또는 그 이상의 섬유를 포함하는 안, 또는 단일의 기다란 요소를 포함하는 섬유 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.
- [0140] 3. 제1항 또는 제2항에 있어서, 희생 코어는 물에 용해됨으로써 제거되는 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.
- [0141] 4. 제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 희생 코어는 수용성 폴리머 모노필라멘트, 필라멘트 안, 또는 스테이플 안을 포함하는 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.
- [0142] 5. 제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 희생 코어는 코일형 액츄에이터 섬유들이 패브릭 내에 통합되고 난 뒤 제거되는 것을 특징으로 하는 열 적응식 의복 형성 방법.
- [0143] 6. 복수의 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 방법에 있어서, 각각의 복수의 코일형 액츄에이터 섬유는:
 - [0144] 섬유를 비틀어서 25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가진 비틀림 섬유를 생성하는 단계;
 - [0145] 비틀림 섬유를 희생 코어 주위로 감싸서 비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계;
 - [0146] 희생 코어에 배열된 비틀림 섬유 코일에 열 또는 화학적 설정 제재를 제공함으로써 고-비틀림 섬유를 설정하는 단계; 및
 - [0147] 희생 코어를 용매에 용해시킴으로써 희생 코어를 제거하여 다음 특성들 중 2개 이상의 특성을 가진 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 단계에 의해 생성되는데, 이 특성들은:
 - [0148] 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C),
 - [0149] 20°C와 똑같거나 그보다 큰 코일 부분 접촉 온도,
 - [0150] $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답, 및
 - [0151] 25° 내지 50° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 포함하는 것을 특징으로 하는 복수의 코일형 액츄에이터 섬유 생성 방법.

- [0152] 7. 제6항에 있어서, 섬유는: 하나 또는 그 이상의 섬유 또는 그 밖의 요소를 포함하는 안, 또는 단일의 기다란 요소를 포함하는 섬유 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 복수의 코일형 액츄에이터 섬유 생성 방법.
- [0153] 8. 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 방법에 있어서, 상기 방법은:
- [0154] 섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계;
- [0155] 비틀림 섬유를 코어 주위로 감싸서 코일을 비틀림 섬유에 생성하는 단계; 및
- [0156] 코어의 적어도 한 부분을 제거하여 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0157] 9. 제8항에 있어서, 섬유는: 하나 또는 그 이상의 섬유를 포함하는 안, 또는 단일의 기다란 요소를 포함하는 섬유 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0158] 10. 제8항 또는 제9항에 있어서, 열 또는 화학적 처리에 의해 코일형 액츄에이터 섬유를 설정하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0159] 11. 제10항에 있어서, 비틀림 섬유 코일을 설정하는 단계는 코어를 부분적으로 또는 전체적으로 제거하기 전에 수행되는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0160] 12. 제10항에 있어서, 비틀림 섬유 코일을 설정하는 단계는 코일형 액츄에이터 섬유의 스폴에 수행되는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0161] 13. 제8항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C)를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0162] 14. 제8항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 10°C와 똑같거나 그보다 큰 코일 부분 접촉 온도를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0163] 15. 제8항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0164] 16. 제8항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 방법은 2개 이상의 비틀림 섬유를 코어 주위로 감싸서 비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0165] 17. 제8항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 코어는
- [0166] a. 용해;
- [0167] b. 화학적 반응;
- [0168] c. 또는 이들의 조합을 통해 제거되는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0169] 18. 제17항에 있어서, 코어는 제거가능한 부분과 동일한 상태 하에서 화학적으로 반응하거나 용해되지 않아서 코어의 한 부분을 남기는 제거 가능하지 않은 부분을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0170] 19. 제8항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계는 25° 보다 큰 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가지도록 섬유를 비트는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0171] 20. 제8항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계는 30° 내지 40° 사이의 섬유 편향각($\alpha_{\text{섬유}}$)을 가지도록 섬유를 비트는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 액츄에이터 섬유 생성 단계.
- [0172] 21.
- [0173] a. 코일형 섬유가 체온에 있을 때, 및
- [0174] b. 언로딩될 때,
- [0175] 코일들 사이에 물리적 공간을 코일형 섬유 액츄에이터를 형성하는 방법에 있어서,

- [0176] 설정 공정 동안, 코일형 섬유 액츄에이터가 팽창되거나 수축되는 것을 방지하는 물리적 제한 하에서,
- [0177] 코일형 섬유 액츄에이터는
- [0178] a. 열 또는
- [0179] b. 화학적 처리 중 하나 이상에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0180] 22. 제21항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C)를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0181] 23. 제21항 또는 제22항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0182] 24. 제21항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서, 설정 단계 동안 제공되는 물리적 제한은 코일형 섬유 액츄에이터의 스풀에 제공되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0183] 25. 제21항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 설정 단계 동안 제공되는 물리적 제한은
- [0184] a. 설정 공정 동안 코일형 섬유 액츄에이터가 팽창하거나 수축하는 것을 방지하고, 및
- [0185] b. 코일 사이에 물리적 공간이 있을 때의 한 위치에 코일형 섬유 액츄에이터를 고정시키는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0186] 26. 제21항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 121°C 와 똑같거나 그보다 큰 온도에서 열 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0187] 27. 제21항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는
- [0188] a. 코일형 섬유가 실온에 있을 때 및
- [0189] b. 언로딩될 때
- [0190] 코일 사이에 물리적 공간을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0191] 28.
- [0192] a. 코일형 섬유가 체온에 있을 때 및
- [0193] b. 언로딩될 때,
- [0194] 코일 사이에 물리적 공간을 가진 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법에 있어서,
- [0195] 코일들이 초기에 형성되고 난 뒤, 코일형 섬유 액츄에이터는
- [0196] a. 코일을 형성하기 위해 사용되는 비틀림 방향과 반대 방향으로 비틀리고,
- [0197] b. 초기 코일 형성 동안 섬유에 제공되는 인장보다 작은 인장 하에서 비틀리며,
- [0198] c. 초기에 형성된 코일의 대부분이 변형되지 않은 상태로 유지되는 정도로만 비틀리고,
- [0199] 부분적으로 언트위스팅된 코일형 섬유 액츄에이터는
- [0200] a. 열 또는
- [0201] b. 화학적 처리에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0202] 29. 제28항에 있어서, 코일형 액츄에이터 섬유는 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 스프링 지수(C)를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0203] 30. 제28항 또는 제29항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0204] 31. 제28항 내지 제30항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 121°C 와 똑같거나 그보다 큰 온도에서 열 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0205] 32. 제28항 내지 제31항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는

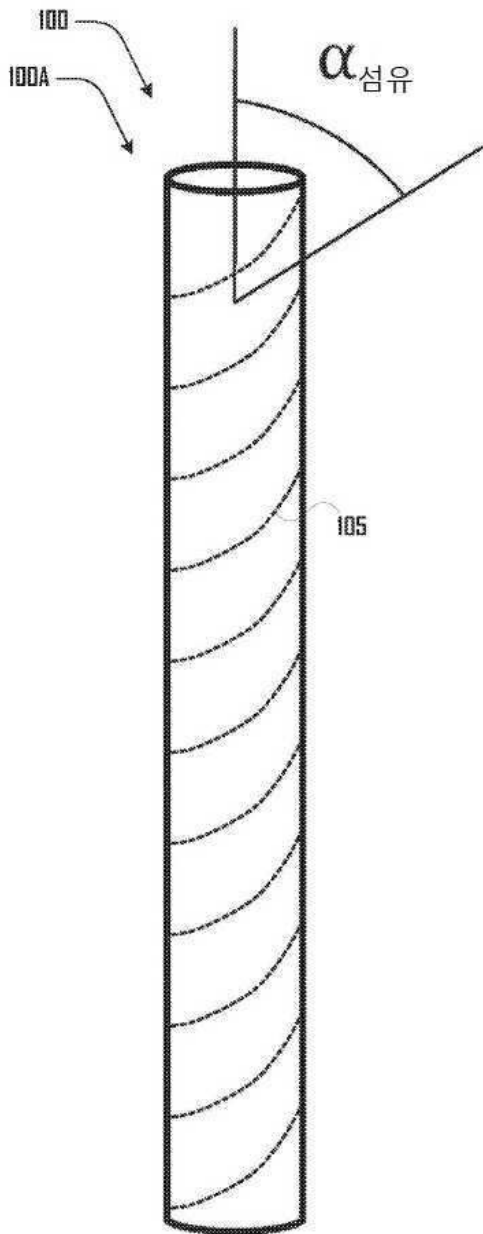
- [0206] c. 코일형 섬유가 실온에 있을 때 및
- [0207] d. 언로딩될 때
- [0208] 코일 사이에 물리적 공간을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0209] 33.
- [0210] e. 코일형 섬유가 체온에 있을 때 및
- [0211] f. 언로딩될 때,
- [0212] 코일 사이에 물리적 공간을 가진 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법에 있어서,
- [0213] 코일형 섬유 액츄에이터는
- [0214] a. 섬유를 비틀어서 비틀림 섬유를 생성하는 단계,
- [0215] b. 비틀림 섬유를 희생 코어 주위로 감싸서 비틀림 섬유에 코일을 생성하는 단계, 및
- [0216] c. 희생 코어의 적어도 한 부분을 제거하여 코일형 액츄에이터 섬유를 생성하는 단계에 의해 생성되며,
- [0217] 코일형 섬유 액츄에이터는
- [0218] a. 열 또는
- [0219] b. 화학적 처리에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0220] 34. 제33항에 있어서, 코어는 용해를 통해 제거되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0221] 35. 제33항 또는 제34항에 있어서, 코어는 완전히 제거되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0222] 36. 제33항 내지 제35항 중 어느 한 항에 있어서, 비틀림 섬유는 코어 주위로 감싸져서 코일을 생성하기 전에 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0223] 37. 제33항 내지 제36항 중 어느 한 항에 있어서, 비틀림 섬유는 20° 와 똑같거나 그보다 큰 섬유 편향각을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0224] 38. 제33항 내지 제37항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 $|CTE| \geq 2 \text{ mm/m/K}$ 의 열 응답을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0225] 39. 제33항 내지 제38항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는 코어를 제거하기 전에 열 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0226] 40. 제33항 내지 제39항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 섬유 액츄에이터는
- [0227] g. 코일형 섬유가 실온에 있을 때 및
- [0228] h. 언로딩될 때
- [0229] 코일 사이에 물리적 공간을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 액츄에이터 형성 방법.
- [0230] 41. 희생 코어 주위에 감기거나 감싸진 고-비틀림 섬유 또는 안으로 제작된 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터에 있어서, 희생 코어는 부분적으로 또는 전체적으로 제거된 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.
- [0231] 42. 제41항에 있어서, 섬유 편향각은 25° 내지 45° 사이에 있는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.
- [0232] 43. 제41항 또는 제42항에 있어서, 희생 코어는 용해를 통해 제거된 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.
- [0233] 44. 제41항 내지 제43항 중 어느 한 항에 있어서, 희생 코어는 물에서 용해를 통해 제거된 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.
- [0234] 45. 제41항 내지 제44항 중 어느 한 항에 있어서, 희생 코어는 수용성 폴리머 모노필라멘트, 필라멘트 안, 또는 스테이플 안인 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.

- [0235] 46. 제41항 내지 제45항 중 어느 한 항에 있어서, 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터는 희생 코어를 제거하기 전에 열 또는 화학적 수단에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.
- [0236] 47. 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 형성 방법에 있어서, 상기 방법은
- [0237] a. 섬유 또는 안을 비트는 단계,
- [0238] b. 비틀림 섬유 또는 안을 희생 코어 재료 주위로 감싸거나 코일링하는 단계, 및
- [0239] c. 희생 코어 재료를 부분적으로 또는 전체적으로 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 형성 방법.
- [0240] 48. 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터에서 코일의 기하학적 형상을 변경하는 방법에 있어서, 상기 방법은
- [0241] a. 코일 형성 단계 동안 제공되는 인장과 똑같거나 그보다 작은 인장을 제공하는 단계 및
- [0242] b. 코일을 언트위스팅시켜 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터의 코일 지수를 증가시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일의 기하학적 형상 변경 방법.
- [0243] 49. 제48항에 있어서, 언트위스팅 동안 제공되는 인장은 코일의 형성 동안 제공되는 인장의 50%보다 작은 것을 특징으로 하는 코일의 기하학적 형상 변경 방법.
- [0244] 50. 제48항 또는 제49항에 있어서, 코일의 직경은 언트위스팅 동안 모니터링되며 직경 데이터는 다음의 공정 변수 중
- [0245] a. 인장,
- [0246] b. 업테이크 속도, 또는
- [0247] c. 비틀림 속도 중 하나 이상을 조절하는 데 사용되는 것을 특징으로 하는 코일의 기하학적 형상 변경 방법.
- [0248] 51. 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터의 코일 지수를 변경하기 위하여, 제1 인장 하에서는 비틀림 삽입을 통해, 그리고, 제2 인장 하에서는 언트위스팅을 통해 감겨진 고-비틀림 섬유 또는 안으로 형성된 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.
- [0249] 52. 제51항에 있어서, 동일한 비틀림, 코일링, 및 설정 상태 하에서 형성되지만 언트위스팅 단계 없이 형성된 제2 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터는 언트위스팅 단계를 포함하는 공정으로 형성된 코일보다 낮은 코일 접촉 온도를 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.
- [0250] 53. 제51항 또는 제52항에 있어서,
- [0251] a. 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 지수, 또는
- [0252] b. 실온 이상의 코일 접촉 온도를 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터.
- [0253] 54. 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 제작 방법에 있어서, 상기 방법은
- [0254] a. 제1 인장 하에서 섬유 또는 안을 비트는 단계,
- [0255] b. 다음과 같이,
- [0256] i. 코일링 지점으로 비틀림 삽입하거나, 또는
- [0257] ii. 비틀림 섬유 또는 안을 희생 코어 또는 맨드릴 주위로 감싸서 비틀림 섬유 또는 안을 코일링하는 단계, 및
- [0258] c. 제2 인장 하에서 코일을 언트위스팅하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 제작 방법.
- [0259] 55. 제54항에 있어서, 제2 인장은 제1 인장보다 작은 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 제작 방법.
- [0260] 56. 제54항 또는 제55항에 있어서, 제2 인장은 제1 인장의 10% 또는 그보다 작은 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 안 액츄에이터 제작 방법.
- [0261] 57.

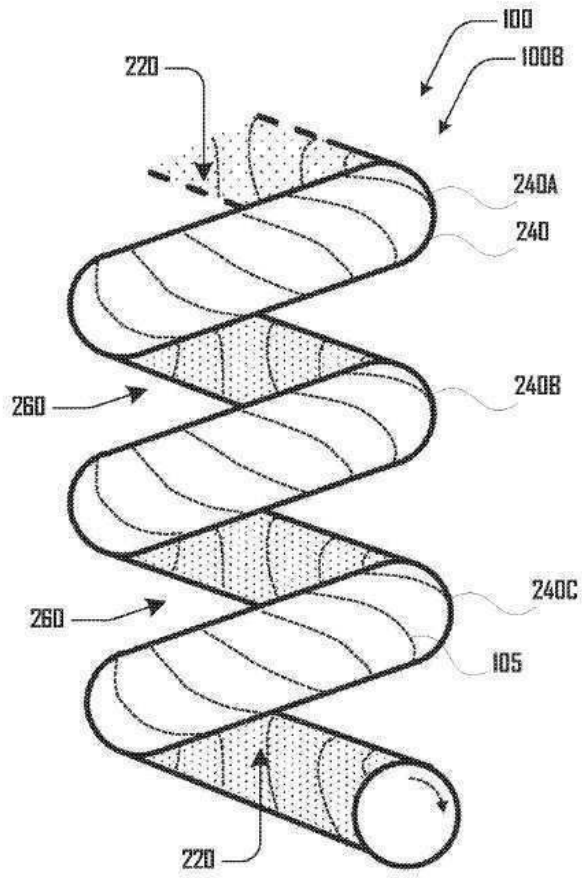
- [0262] a. 코일형 액츄에이터가 실온 이상에 있을 때 및
- [0263] b. 언로딩될 때의 상태 하에서,
- [0264] 코일 사이에 물리적 공간을 가진 코일형 섬유 또는 얇은 액츄에이터에 있어서,
- [0265] 설정 공정 동안, 팽창되거나 수축되는 것을 방지하는 물리적 제한 하에서, 코일형 섬유 또는 얇은 액츄에이터는
- [0266] a. 열 또는
- [0267] b. 화학적 처리에 의해 설정되는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇은 액츄에이터.
- [0268] 58. 제57항에 있어서, 코일형 섬유 또는 얇은 액츄에이터는, 설정 전에, 실온에서 인접 코일과 접촉하는 코일을 가지는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇은.
- [0269] 59. 제57항 또는 제58항에 있어서, 코일형 섬유 또는 얇은 액츄에이터는, 설정 전에, 최소 인장 하에 있는 것을 특징으로 하는 코일형 섬유 또는 얇은.
- [0270] 60. 이미지 해석과 카메라를 포함하는 센서로서,
- [0271] a. 섬유 또는 얇은의 상대 또는 절대 직경,
- [0272] b. 섬유 또는 얇은 속도, 및
- [0273] c. 섬유 또는 얇은 영킴의 위치로부터 하나 이상을 결정하고,
- [0274] 섬유 또는 얇은의 처리 또는 제작에 이용되는
- [0275] a. 인장,
- [0276] b. 업테이크 속도, 및
- [0277] c. 비틀림 속도로부터 변경될 수 있는 하나 이상의 공정에 대한 제작 조절 정보를 제공하는 센서.
- [0278] 61. 제60항에 따른 센서를 사용하는 공정에서 제작된 섬유 액츄에이터.
- [0279] 62. 2.0과 똑같거나 그보다 큰 코일 지수 값을 가진 섬유 액츄에이터로서, 코일은 원통형 영킴의 유도 지점까지의 비틀림 삽입을 통해 제작되는 섬유 액츄에이터.
- [0280] 63. 20°C보다 큰 코일 접촉 온도를 가지며 제62항에 따른 섬유 액츄에이터.

도면

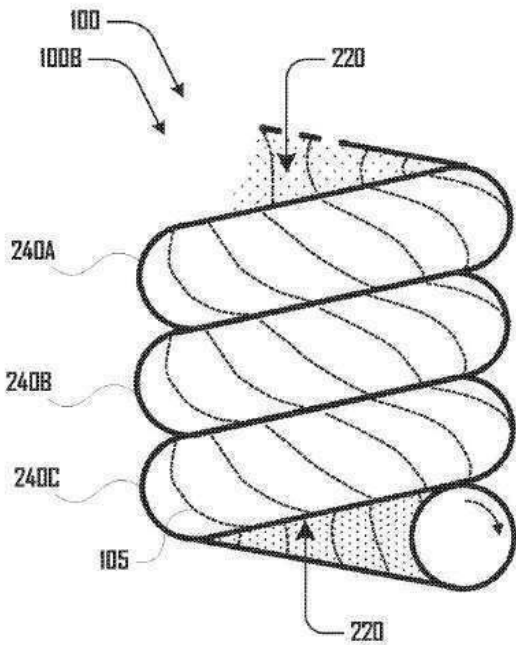
도면1



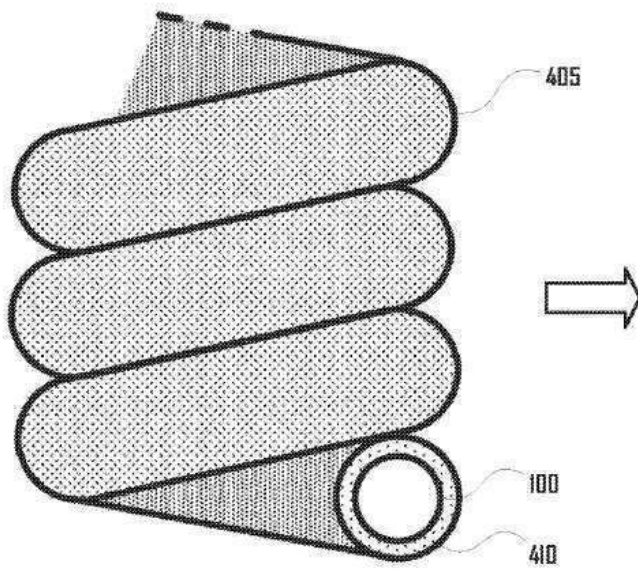
도면3a



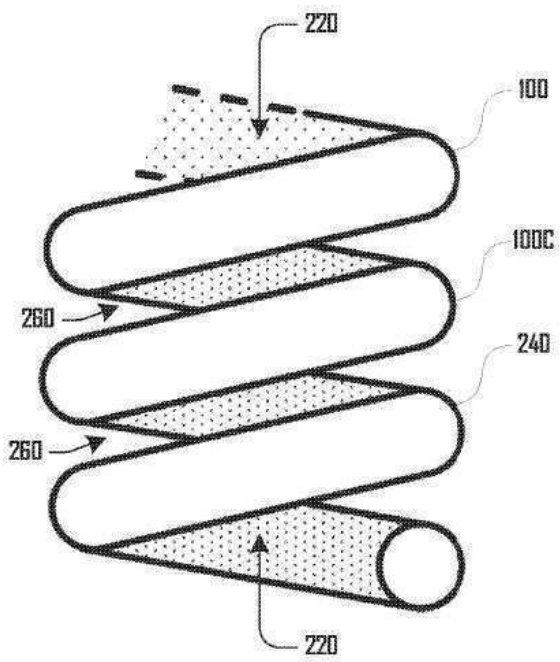
도면3b



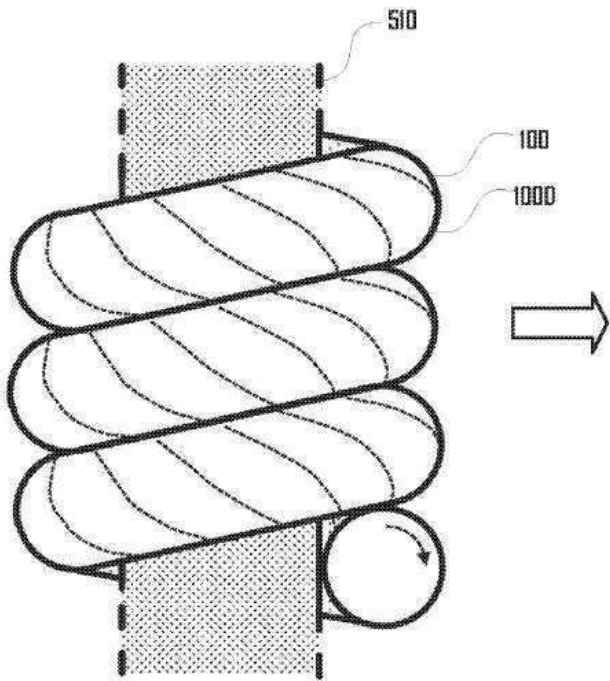
도면4a



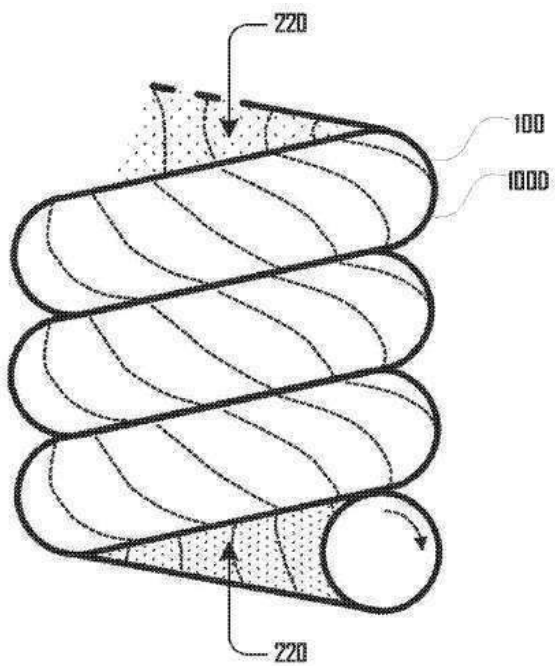
도면4b



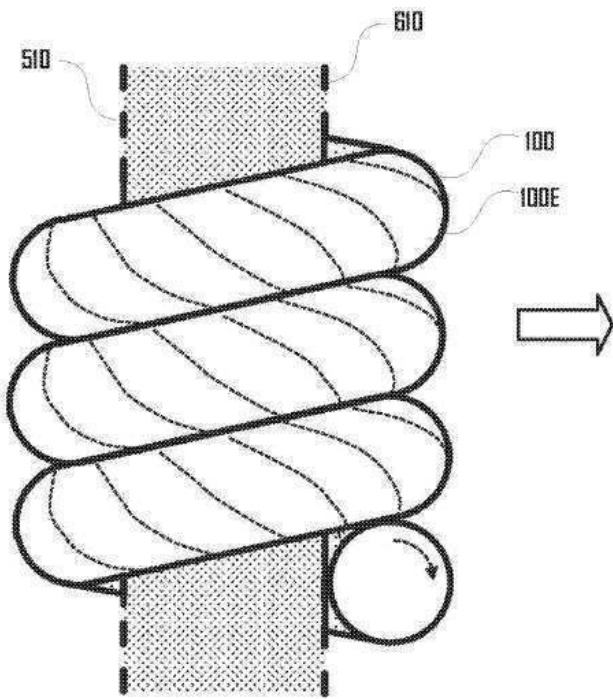
도면5a



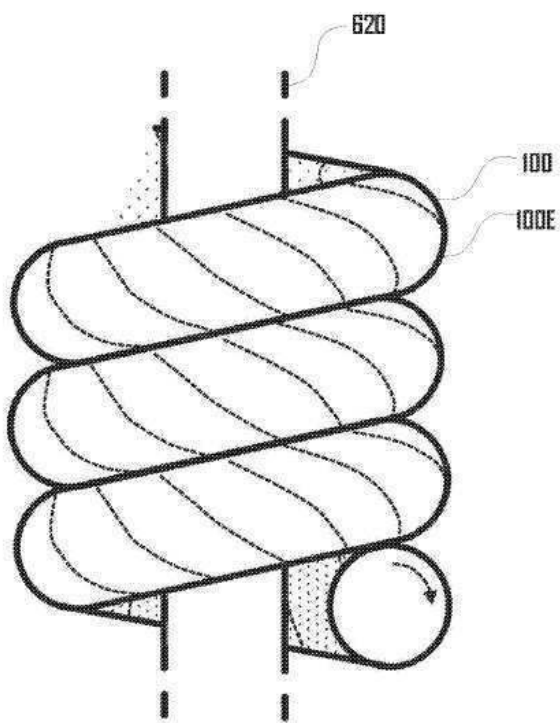
도면5b



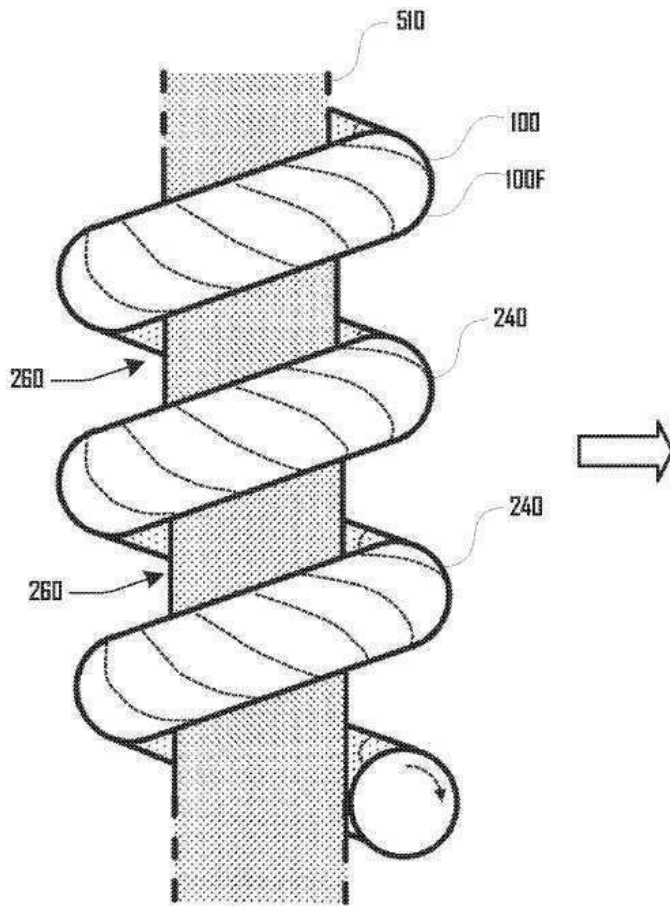
도면6a



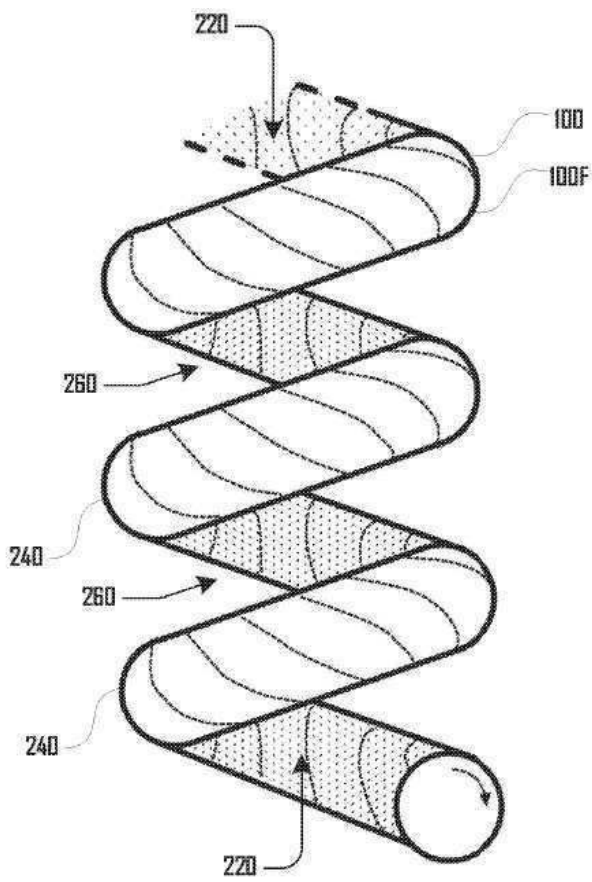
도면6b



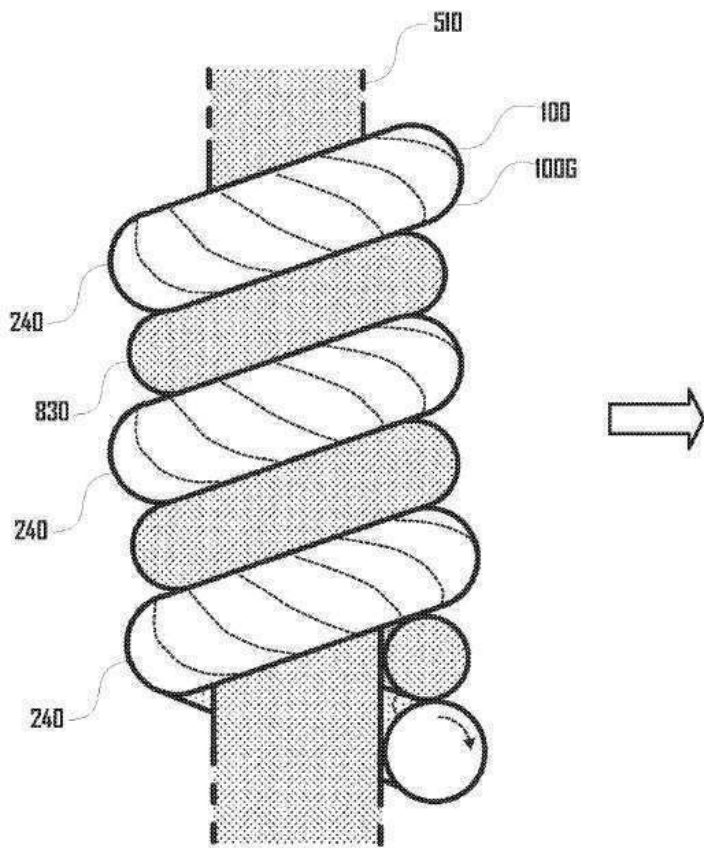
도면7a



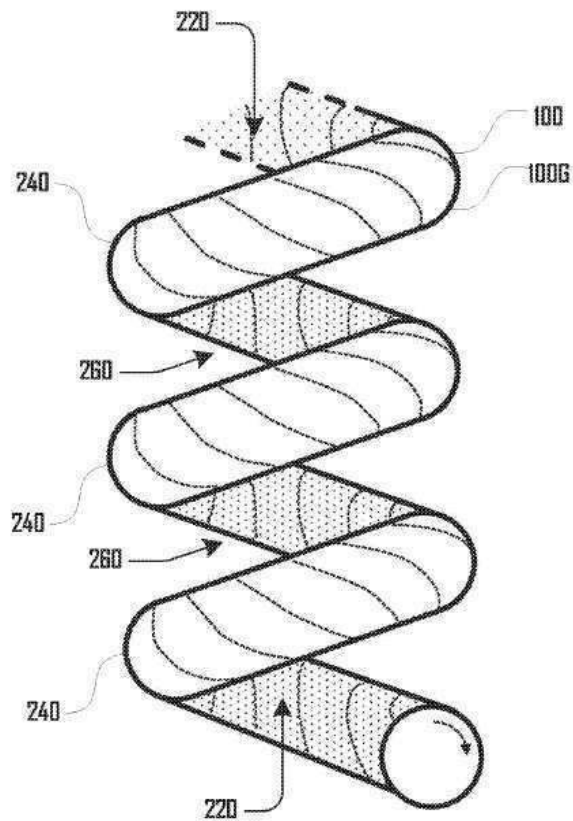
도면7b



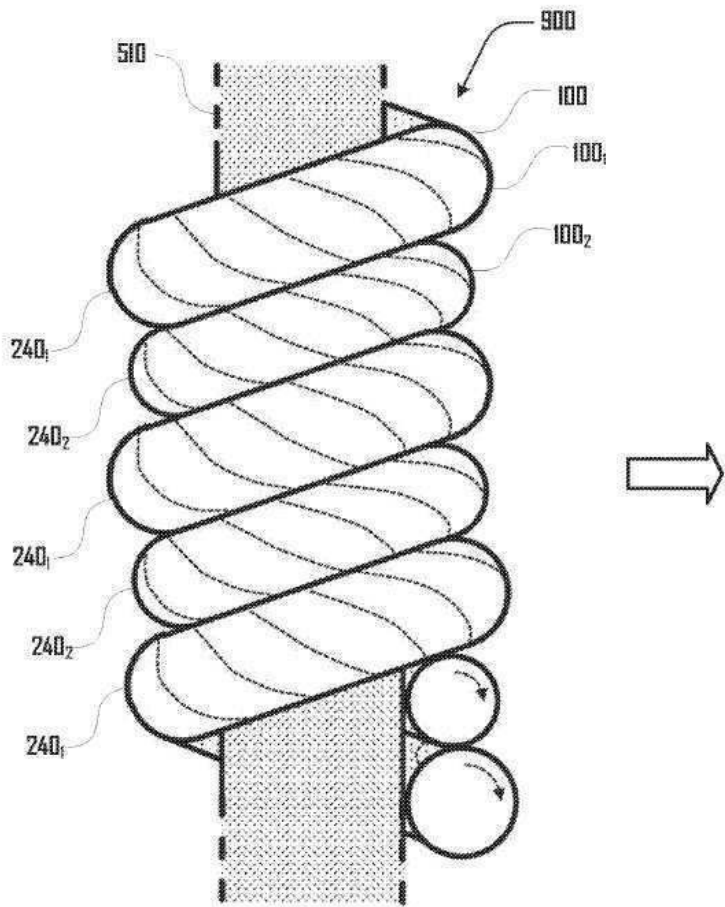
도면8a



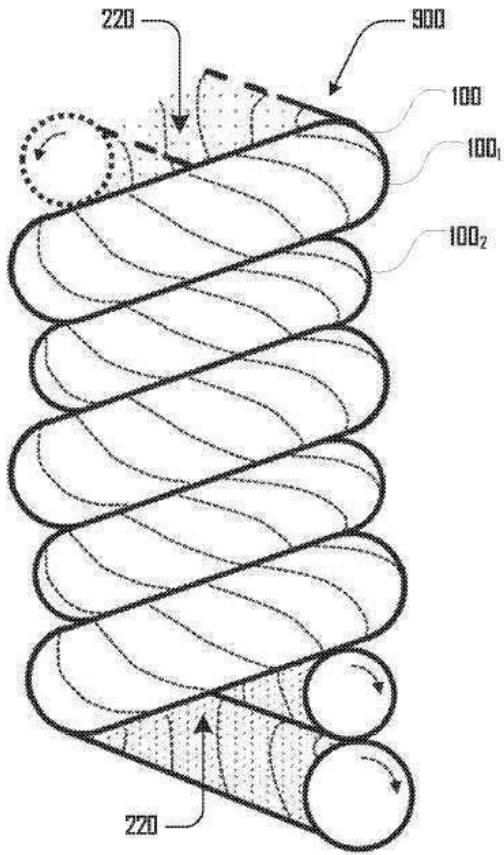
도면8b



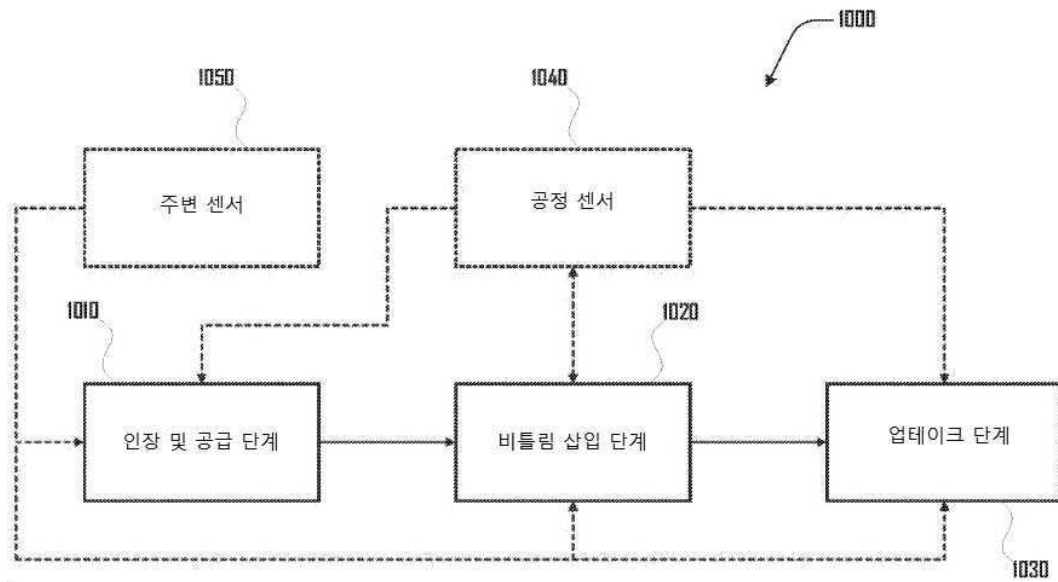
도면9a



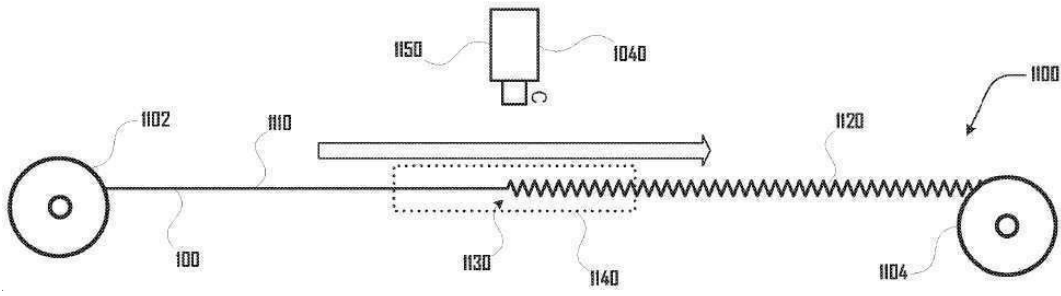
도면9b



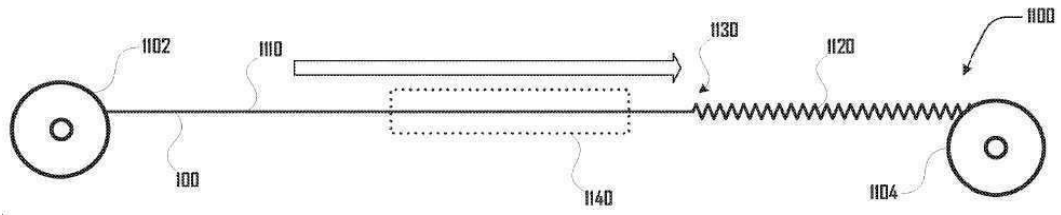
도면10



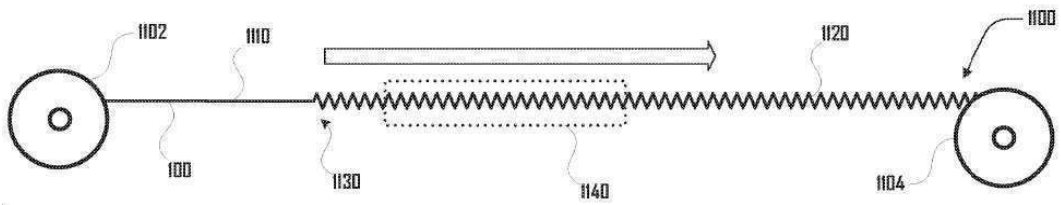
도면11a



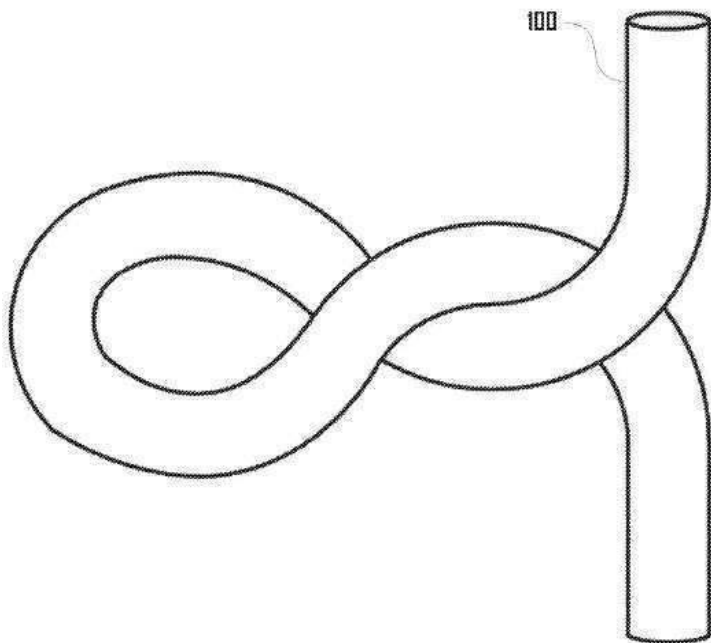
도면11b



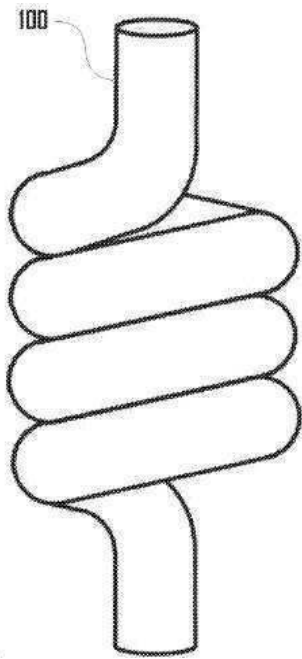
도면11c



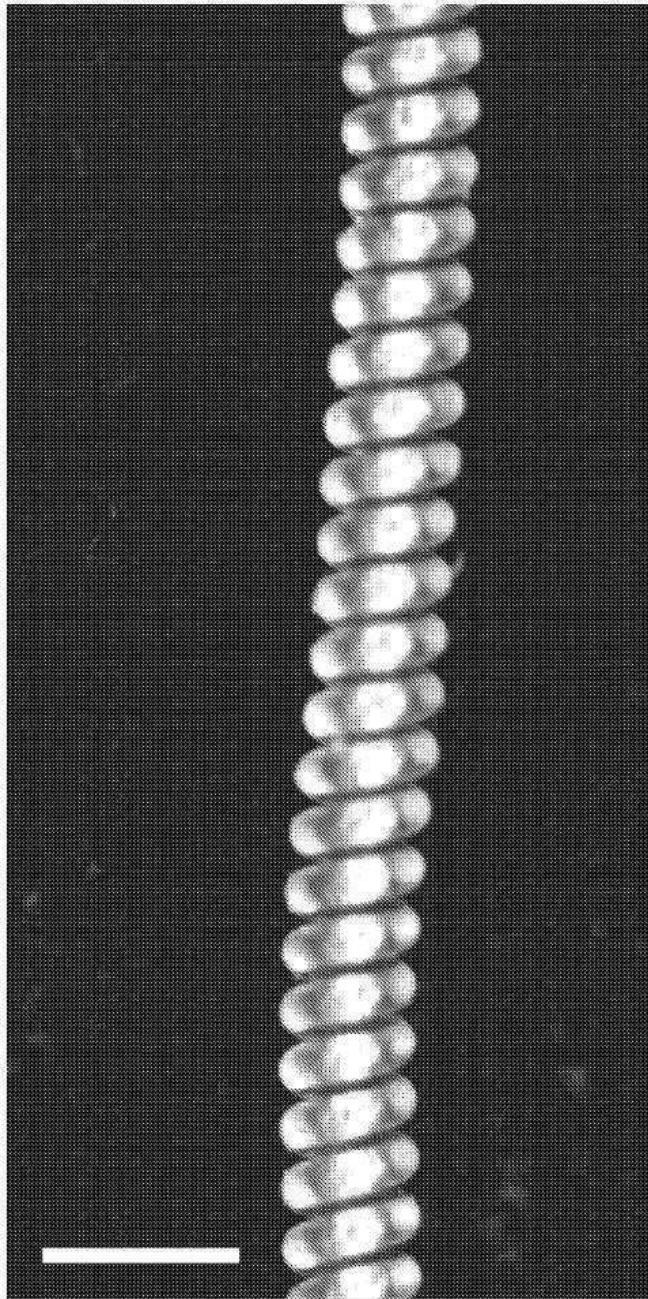
도면12a



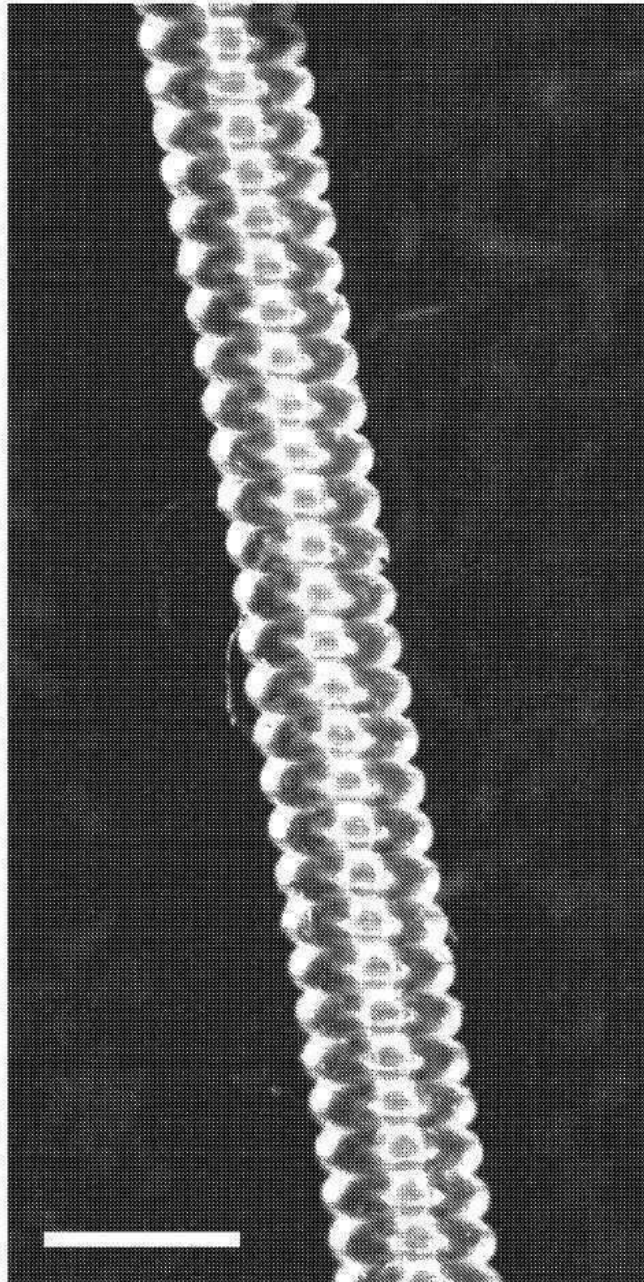
도면12b



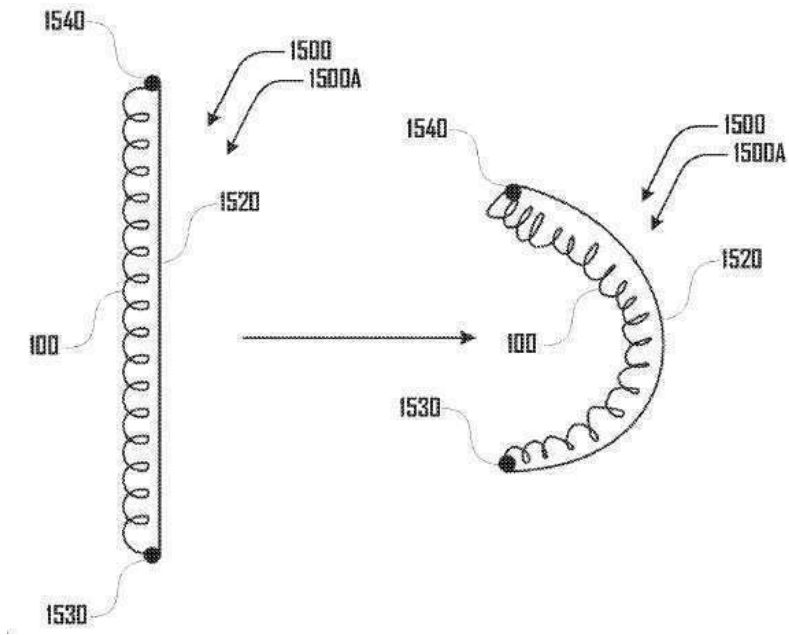
도면13



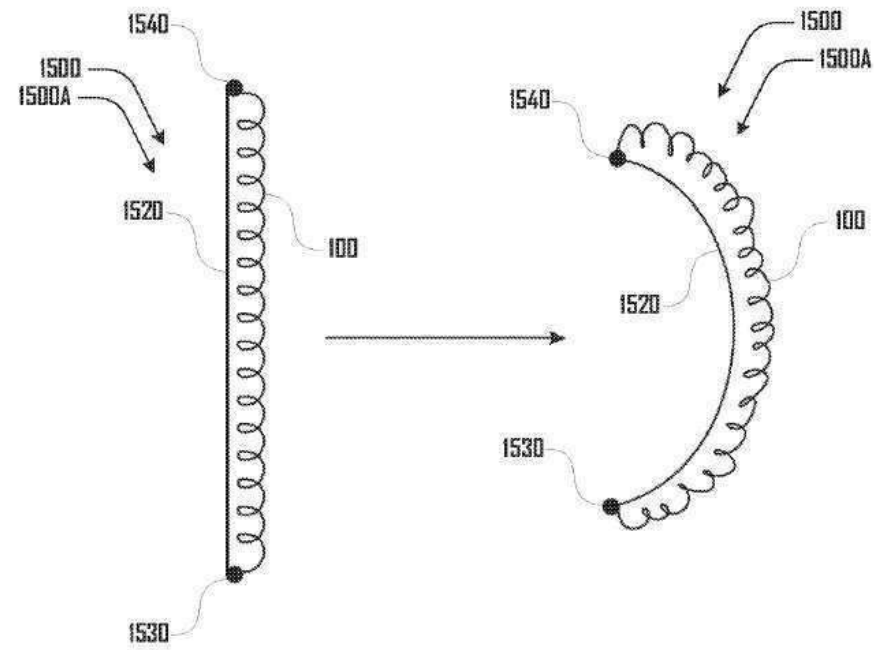
도면14



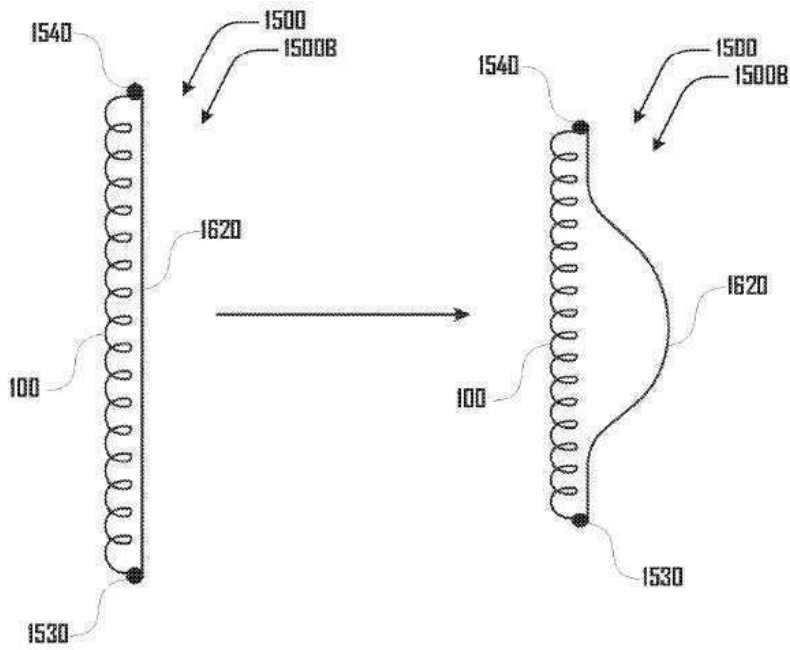
도면15a



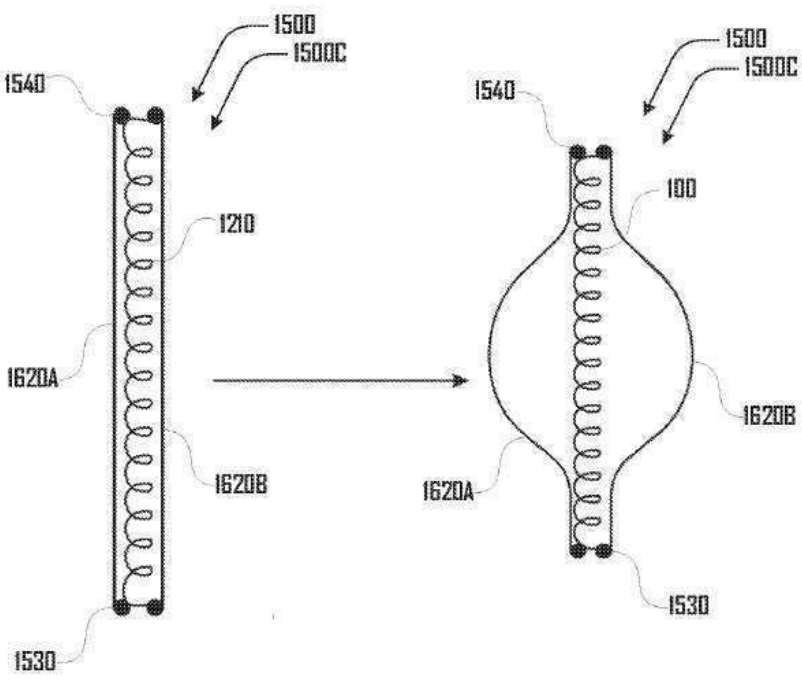
도면15b



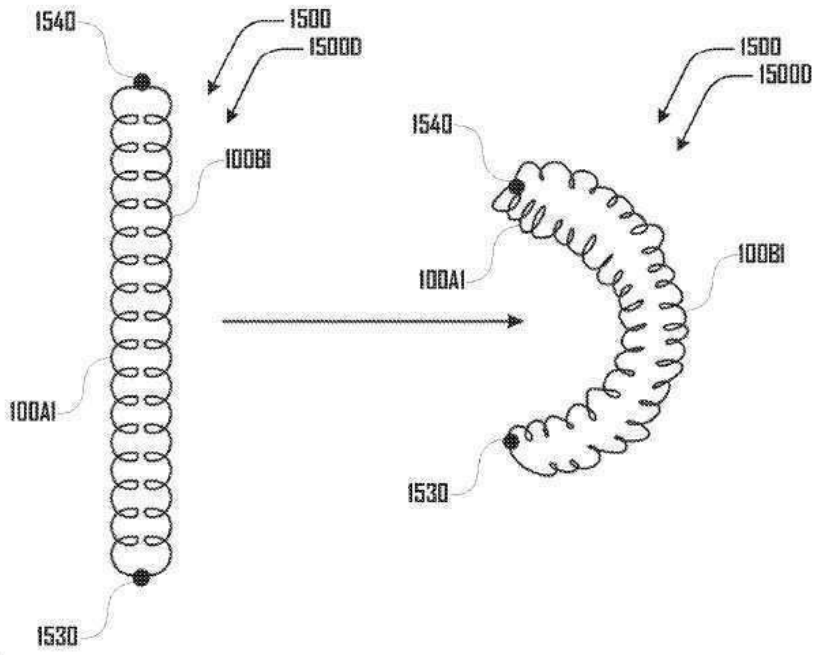
도면16a



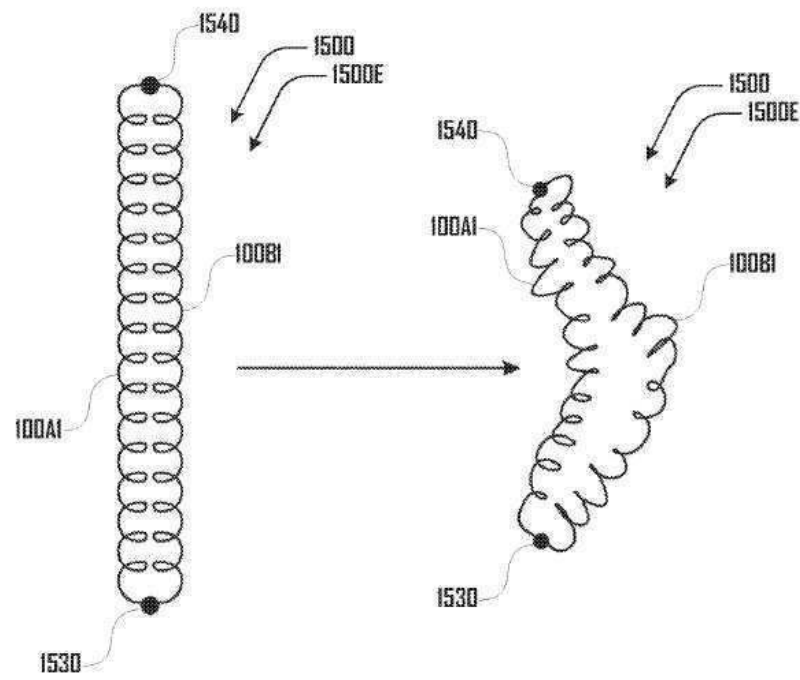
도면16b



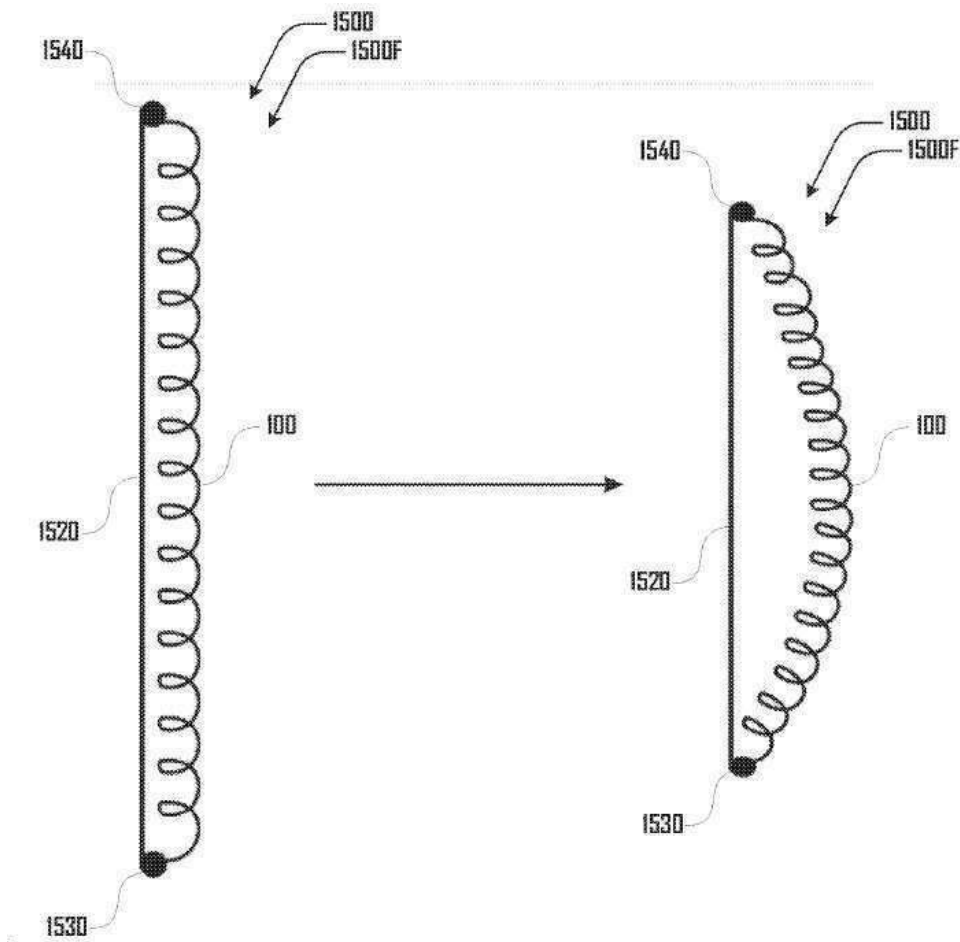
도면17a



도면17b



도면18



도면19

