(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0070014
(43) 공개일자 2017년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C03B 37/012 (2006.01) *C03B 23/047* (2006.01)
G01N 11/00 (2006.01) *G01N 3/18* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C03B 37/01242 (2013.01)
C03B 23/047 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7007872
(22) 출원일자(국제) 2014년10월14일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2017년03월22일
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/060403
(87) 국제공개번호 WO 2016/060646
국제공개일자 2016년04월21일

(71) 출원인
헤래우스 테네보 엘엘씨
미국, 조지아 30518, 뷰퍼드, 헤래우스 불러바드 100
(72) 발명자
파탈 조지스 레본
미국 30024 조지아주 스와니 레드 락 코트 853
비버즈 제임스 이 주니어
미국 30542 조지아주 플라워리 브랜치 그린 메도우즈 서클 5866
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태홍, 김진희

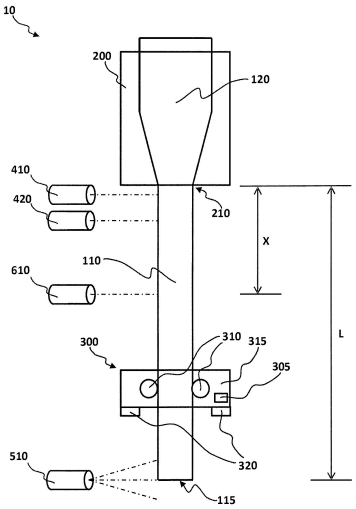
전체 청구항 수 : 총 23 항

(54) 발명의 명칭 **모재 또는 튜브의 점성에 기초한 그것의 인발을 위한 장치 및 방법**

(57) 요 약

성형대에서의 유리 구성재에 의해 아래로 인발되는 스트랜드 상에 가해지는 고정력을 계산함으로써 결정되는 성형대 점성을 제어하는 것에 기초한 모재 및 튜브 인발을 위한 방법들. 고정력은 스트랜드에 인가되는 중력 및 견인 디바이스가 스트랜드에 인가하는 견인력을 결정함으로써 계산될 수 있고, 여기서 고정력은 중력 및 견인력의 대수합의 반대와 동일하다. 또한 고정력은 성형대 및 견인 디바이스 사이 지점에서 스트랜드의 응력-유도 복굴절을 측정하고, 복굴절에 대응하는 지점에서 스트랜드에 인가되는 힘의 양을 결정하며, 성형대 및 지점 사이 스트랜드의 중량의 중력 효과에 대해 힘의 양을 보정함으로써 고정력을 계산함으로써 계산될 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 11/00 (2013.01)
G01N 3/18 (2013.01)
G01N 2011/0093 (2013.01)
Y02P 40/57 (2015.11)
(72) 발명자
장 카이
미국 30030 조지아주 디케이터 시카모어 드라이브 507
그린 에반 피
미국 30043 조지아주 로렌스빌 아놀드 드라이브 1487
마 퀼린
미국 30097 조지아주 덜루스 유니온 파크 드라이브 3728

명 세 서

청구범위

청구항 1

유리 모재 또는 튜브 제조 프로세스의 성형 영역의 점성을 측정하는 방법으로서, 상기 제조 프로세스는 가열 영역에서 벌크 유리 구성재를 가열하는 단계, 상기 벌크 유리 구성재의 상기 성형 영역으로부터 스트랜드를 인발하는 단계, 및 견인 디바이스를 사용하여 상기 스트랜드의 인발률을 제어하는 단계를 포함하고, 상기 방법은:

상기 성형 영역이 상기 스트랜드에 인가하는 고정력을 계산하는 단계, 및

상기 고정력을 상기 성형 영역의 점성과 상관시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 고정력은 상기 고정력에 기초하여 상기 벌크 유리 구성재의 상기 가열을 조절함으로써 상기 유리 모재 또는 튜브 제조 프로세스를 제어하기 위해 사용되는, 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 고정력을 계산하는 단계는:

상기 스트랜드에 인가되는 중력을 결정하는 단계; 및

상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 견인력을 결정하는 단계를 포함하되,

상기 고정력, 상기 중력, 및 상기 견인력의 합은 제로와 동일한, 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 중력을 결정하는 단계는 상기 스트랜드의 길이를 결정하는 단계 및 상기 스트랜드의 질량을 계산하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 5

청구항 3에 있어서, 상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 상기 견인력을 결정하는 단계는:

상기 견인 디바이스에 인가되는 전압을 측정하는 단계;

상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 토크를 측정하는 단계; 및

상기 전압 및 상기 토크로부터 상기 견인력을 계산하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 6

청구항 3에 있어서, 상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 상기 견인력을 결정하는 단계는 상기 견인 디바이스에 인가되는 로드 셀들의 출력을 측정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서, 상기 견인 디바이스는 상기 스트랜드 위를 끼워서 수직으로 이동시키는 파지 디바이스를 포함하는, 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서, 상기 고정력을 계산하는 단계는:

상기 가열 영역에의 또는 그 아래의 지점에서 상기 스트랜드의 응력-유도 복굴절을 측정하는 단계;

측정된 상기 응력-유도 복굴절에 대응하는 상기 지점에서 상기 스트랜드에 인가되는 힘의 양을 결정하는 단계; 및

상기 가열 영역 및 상기 지점 사이 상기 스트랜드의 중량의 중력 효과에 대해 상기 힘의 양을 보정함으로써 상기 고정력을 계산하는 단계로서, 상기 보정은 상기 지점이 성형대에 있는 경우 제로인, 방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서, 상기 스트랜드의 상기 응력-유도 복굴절을 측정하는 단계는:

상기 스트랜드를 센서 및 편광 광원 사이에 위치시키는 단계;

상기 편광 광원으로부터의 편광된 광을 상기 스트랜드 위로 방사하는 단계; 및

상기 센서에 의해 상기 스트랜드를 통과하는 상기 편광된 광의 투과도를 측정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 10

청구항 8에 있어서, 상기 스트랜드는 상기 지점에서 대략 상기 유리 스트랜드의 어닐링 온도에 있는, 방법.

청구항 11

가늘고 긴 유리 구성재를 제조하는 방법으로서,

가열 영역에서 벌크 유리 구성재를 일정 온도로 가열하는 단계,

상기 벌크 유리 구성재의 성형 영역에서 상기 벌크 유리 구성재로부터 스트랜드를 인발하는 단계;

견인 디바이스를 사용하여 상기 벌크 유리 구성재로부터의 상기 스트랜드의 인발률을 제어하는 단계;

상기 성형 영역이 상기 스트랜드에 인가하는 고정력을 계산하는 단계;

상기 고정력이 상기 성형 영역의 원하는 점성에 기초한 원하는 고정력과 동일한지 여부를 결정하는 단계; 및

상기 고정력이 상기 원하는 고정력과 동일하지 않은 경우 상기 가열 영역의 상기 온도를 조절하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서, 상기 고정력을 계산하는 단계는:

상기 스트랜드의 길이를 결정하고 상기 스트랜드의 질량을 계산함으로써 상기 스트랜드에 인가되는 중력을 결정하는 단계; 및

상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 견인력을 결정하는 단계를 포함하되,

상기 고정력, 상기 중력, 및 상기 견인력의 합은 제로와 동일한, 방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서, 상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 상기 견인력을 결정하는 단계는:

상기 견인 디바이스에 인가되는 전압을 측정하는 단계;

상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 토크를 측정하는 단계;

상기 전압 및 상기 토크로부터 상기 견인력을 계산하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 14

청구항 12에 있어서, 상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 상기 견인력을 결정하는 단계는 상기 견인 디바이스에 인가되는 로드 셀들의 출력을 측정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 15

청구항 11에 있어서, 상기 견인 디바이스는 상기 스트랜드 위를 끼워서 수직으로 이동시키는 파지 디바이스를 포함하는, 방법.

청구항 16

청구항 11에 있어서, 상기 고정력을 계산하는 단계는:

상기 가열 영역에의 또는 그 아래의 지점에서 상기 스트랜드의 응력-유도 복굴절을 측정하는 단계;

측정된 상기 응력-유도 복굴절에 대응하는 상기 지점에서 상기 스트랜드에 인가되는 힘의 양을 결정하는 단계; 및

상기 가열 영역 및 상기 지점 사이 상기 스트랜드의 중량의 중력 효과에 대해 상기 힘의 양을 보정함으로써 상기 고정력을 계산하는 단계로서, 상기 보정은 상기 지점이 성형대에 있는 경우 제로인, 방법.

청구항 17

청구항 16에 있어서, 상기 스트랜드의 상기 응력-유도 복굴절을 측정하는 단계는:

상기 스트랜드를 센서 및 편광 광원 사이에 위치시키는 단계;

상기 편광 광원으로부터의 편광된 광을 상기 스트랜드 위로 방사하는 단계; 및

상기 센서에 의해 상기 스트랜드를 통과하는 상기 편광된 광의 투과도를 측정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 18

유리 모재 또는 튜브 제조 프로세스의 성형 영역의 점성을 측정하기 위한 장치로서, 상기 제조 프로세스는 벌크 유리 구성재를 가열하는 단계, 상기 벌크 유리 구성재로부터 스트랜드를 인발하는 단계, 및 견인 디바이스를 사용하여 상기 스트랜드의 인발률을 제어하는 단계를 포함하고, 시스템은:

상기 벌크 유리 구성재를 가열하기 위한 가열대로서, 상기 성형 영역이 상기 가열대에 또는 그 바로 아래에 있는, 상기 가열대;

상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 힘을 결정하기 위한 시스템; 및

상기 스트랜드의 중량 및 길이에 기초하여 상기 스트랜드의 중량을 결정하기 위한 시스템를 포함하는, 장치.

청구항 19

청구항 18에 있어서, 상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 힘을 결정하기 위한 시스템은 상기 견인 디바이스의 모터에 인가되는 전압을 측정하기 위한 전압계를 포함하되, 상기 전압은 상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 힘과 상관 관계가 있을 수 있는, 장치.

청구항 20

청구항 18에 있어서, 상기 견인 디바이스가 상기 스트랜드에 인가하는 힘을 결정하기 위한 시스템은 상기 견인 디바이스에 장착되는 하나 이상의 로드 셀을 포함하는, 장치.

청구항 21

청구항 18에 있어서, 상기 견인 디바이스는 상기 스트랜드 위를 끼워서 수직으로 이동시키는 파지 디바이스를 포함하는, 장치.

청구항 22

청구항 18에 있어서, 상기 상기 스트랜드의 중량을 결정하기 위한 시스템은 상기 스트랜드의 종단의 수직 위치를 결정하기 위해 카메라 시각 시스템, 레이저 시스템, 또는 기계적 디바이스를 포함하는, 장치.

청구항 23

청구항 18에 있어서, 상기 상기 스트랜드의 중량을 결정하기 위한 시스템은 상기 스트랜드의 속도를 측정하고 상기 스트랜드의 속도에 기초하여 상기 스트랜드의 길이를 결정하기 위한 시스템을 포함하는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 일반적으로 유리 모재들 또는 튜브들을 제조하는 것, 그리고 특히 모재 또는 튜브들에 인가되는 고정력(holding force)을 측정 및 계산함으로써 그것이 인발되는 동안 모재 또는 튜브들의 점성을 제어하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 광 모재들, 석영 유리 튜브들, 또는 로드들은 석영 유리 구성재(예를 들어, 실린더, 잉곳(ingot), 또는 코어 로드들이 실린더 내부에 삽입된 비접철식(uncollapsed) 로드-인-실린더(RIC; rod-in-cylinder) 어셈블리)를 하단이 연화되어 스트랜드를 성형하도록 수직 배향으로 가열대로 주입함으로써 제조된다. 그 다음 스트랜드는 견인 디바이스, 예를 들어 견인 휠들의 하나 이상의 세트를 포함하는 디바이스에 배치된다. 스트랜드의 인발률은 성형대 온도 또는 점성에 따른 하력 또는 상력 및 휠들이 지지하는 스트랜드의 중량 중 어느 하나를 인가할 수 있는, 견인 휠들의 속도에 의해 제어된다.

[0003] 반복가능한 제조 프로세스를 실현하기 위해, 성형대(즉, 가열대에의 또는 가열대 바로 아래의)에서의 석영 유리 구성재의 점성이 소정의 모재 또는 튜브 치수, 스루풋, 및 구성재의 기하학적 구조에 대해 제어되어야 한다. 이는 특히 비접철식 RIC 어셈블리로부터의 모재 인발과 관련이 있는데, 이는 용해로 온도가 너무 높거나 너무 낮을 때(즉, 유리 점성이 너무 낮거나 너무 높을 때), 코어 로드 유리가 광 섬유 적용 시 기형의 부적격한 도파로가 되는 오버클래드 유리의 속도와 상이한 속도로 흐를 것이기 때문이다. 예를 들어, 유리가 2000 ℃로 가열될 때 +/- 10 ℃의 변화는 점성에 상당한 영향을 미친다. 모재 또는 튜브 인발을 제어하는 현재 기술들은 가열대 위의 유리 온도, 가열대 아래의 유리 온도 및/또는 발열체의 외측면의 온도를 측정하기 위해 광 고온계들의 사용을 수반한다. 그러나, 모재 또는 튜브 인발을 제어하는 온도-기반 방법들은, 측정된 고온계 온도가 변동량 이를테면 고온계를 보는 것에 있어서의 차이, 고온계 튜브 상의 이물질들, 고온계 렌즈의 청결도, 또는 센서 자체의 캘리브레이션 및 편차로 인해 크게 달라질 수 있기 때문에, 신뢰할 수 없다. 점성은 온도와 지수적인 관계를 갖기 때문에(예를 들어, 몇몇 경우 30 ℃ 온도 변화는 200% 점성 변화를 야기할 수 있다), 측정된 온도의 아주 작은 오차가 큰 점성 차이 그리고 그에 따라 큰 성형 거동 차이로 이어진다. 따라서, 유효 점성 그리고 그에 따라 보다 정확한 절대 인발 온도를 결정하고 그 다음 모재 또는 튜브 인발을 제어하기 위해 그것을 사용하는 신규한 방법이 바람직하다.

발명의 내용

[0004] 본 발명은 유리 모재 또는 튜브 제조 프로세스의 성형 영역의 유효 점성을 결정하기 위한 방법들을 제공한다. 제조 프로세스 동안, 벌크 유리 구성재가 가열되고 스트랜드가 벌크 유리 구성재로부터 인발된다. 견인 디바이스는 스트랜드에 상력 또는 하력 중 어느 하나를 인가함으로써 스트랜드의 인발률을 제어하기 위해 사용된다. 본 발명은 다음을 포함하는 가늘고 긴 유리 구성재를 제조하는 방법들을 더 제공한다: 성형 영역에서 벌크 유리 구성재를 일정 온도로 가열하는 단계, 성형 영역에서 벌크 유리 구성재로부터 스트랜드를 인발하는 단계, 견인 디바이스를 사용하여 벌크 유리 구성재로부터의 스트랜드의 인발률을 제어하는 단계, 연화된 영역에 의해 인가되는 고정력을 계산하는 단계, 고정력이 성형 영역의 원하는 점성에 기초한 원하는 고정력과 동일한지 여부를 결정하는 단계, 및 고정력이 원하는 고정력과 동일하지 않은 경우 성형 영역의 온도를 조절하는 단계. 방법들에서, 점성은 벌크 유리 구성재가 스트랜드에 인가하는 고정력을 계산하고 고정력을 성형 영역의 점성과 상관시킴으로써 측정된다.

[0005] 몇몇 실시예에서, 고정력은 스트랜드에 인가되는 중력 및 견인 디바이스가 스트랜드에 인가하는 견인력을 결정하고, 중력 및 견인력에 기초하여 벌크 유리 구성재가 스트랜드에 인가하는 고정력을 계산함으로써 계산된다. 고정력, 견인력, 및 중력의 합은 제로와 동일하다 (이는 일정한 인발 속도로 가속되지 않고 그에 따라 스트랜드 상의 알짜힘이 제로이기 때문이다).

[0006] 몇몇 다른 실시예에서, 고정력은 가열 영역 및 견인 디바이스 사이 지점에서 스트랜드의 응력-유도 복굴절을 측정하고, 측정된 응력-유도 복굴절에 대응하는 지점에서 스트랜드에 인가되는 힘의 양을 결정하며, 가열 영역 및 지점 사이 스트랜드의 중량의 중력 효과에 대해 힘의 양을 보정함으로써 고정력을 계산함으로써 계산된다.

[0007] 성형 영역의 점성에 기초하여 모재 또는 튜브 인발을 제어하기 위한 장치는 성형대 바로 위 벌크 유리 구성재를 가열하기 위한 가열대, 견인 디바이스가 스트랜드에 인가하는 힘을 결정하기 위한 시스템, 및 스트랜드의 중량을 결정하기 위한 시스템를 포함한다. 일 실시예에서, 견인 디바이스가 스트랜드에 인가하는 힘을 결정하기 위

한 시스템은 견인 디바이스의 모터에 인가되는 전압을 측정하기 위한 전압계이되, 전압은 견인 디바이스에 의해 스트랜드에 인가되는 힘과 상관 관계가 있을 수 있다. 다른 실시예에서, 견인 디바이스가 스트랜드에 인가하는 힘을 결정하기 위한 시스템은 견인 디바이스에 장착되는 하나 이상의 로드 셀을 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0008] 본 발명은 첨부 도면과 관련하여 읽을 때 다음 상세한 설명으로부터 가장 잘 이해된다. 보통 사례에 따라, 도면의 다양한 피처는 일정한 비율로 도시되지 않음이 강조된다. 그와는 반대로, 다양한 피처의 치수가 명확성을 위해 임의로 확대 또는 축소된다. 다음 도면들이 도면에 포함된다:

도 1은 본 발명의 실시예에 따라, 유리 모재 또는 튜브를 형성하기 위한 장치의 개략도이다;

도 2는 본 발명의 실시예에 따라, 도 1의 장치에 의해 성형되는 유리 스트랜드에 인가되는 다양한 힘을 도시하는 다이어그램이다; 그리고

도 3a 내지 도 3e는 고정력(도 3a), 견인력(도 3b), 스트랜드 길이(도 3c), 유리 온도(도 3d) 및 인발 속도(도 3e)가 본 발명의 실시예에 따라, 대표적인 모재 또는 튜브 인발 프로세스 동안 시간 함수에 따라 어떻게 변하는지를 도시하는 일련의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 도 1을 참조하면, 장치(10)는 벌크 유리 구성재(120)(예를 들어, 유리 실린더 또는 잉곳)로 유리 스트랜드(110)를 성형하기 위해 사용될 수 있다. 가열대(200)에서 유리 구성재(120)를 가열함으로써, 유리 구성재(120)의 하단이 연화되고 스트랜드(110)를 성형할 것이다. 스트랜드(110)는 복수의 견인 휠(310)을 구동하는 모터(305)를 포함하는 견인 디바이스(300)에 진입할 수 있으며, 여기서 견인 휠들(310)은 유리 구성재(120)로부터의 인발률을 제어하기 위해 스트랜드(110)에 하력 또는 상력 중 어느 하나를 인가한다. 하력은 인발률을 증가시키는 반면, 상력은 인발률을 감소시킬 것이다.

[0010] 도 2를 참조하면, 실시예들은 성형 영역(210)에 의해 유리 스트랜드(110) 상에 가해지는 고정력(F_h)을 계산함으로써 성형 영역(210)의 점성을 결정하기 위해 장치(10)를 채용한다. 성형 영역(210)의 고정력(F_h)은 대개 용융 유리의 표면 장력의 결과인 작고 비교적 일정한 유리의 점성에 기인한다. 온도에 대한 점성의 지수적인 의존성으로 인해, 성형 영역에서의 아주 작은 절대 온도 변화는 큰 점성 변화 그리고 그 후 큰 고정력(F_h) 변화 또한 야기할 수 있다. 따라서, 모재 또는 튜브 인발에 대해, 특히 클래드-대-코어 비 왜곡의 최소화를 필요로 하는 도파로 또는 광 섬유 적용예들에 대해, 종래 고온계-기반 온도 측정을 사용하기 보다는 성형 영역의 고정력(F_h) 또는 유효 점성을 제어하는 것이 고품질 및 생산 수율을 실현하기 위한 보다 정확하고 세심한 방법이고 그것의 많은 부정확성을 제어한다. 고정력(F_h)이 성형 영역(210)의 원하는 점성에 기초하여 원하는 고정력에서 벗어나는 경우, 가열대로 공급되는 열이 성형 영역(210)의 원하는 점성을 실현하도록 보정될 수 있다.

[0011] 고정력(F_h)을 결정하기 위해, 유리 스트랜드(110) 상에 가해지는 모든 다른 힘은 다음이 고려되어야 한다: 즉, 견인 디바이스(300)에 의해 인가되는 견인력(F_p) 및 중력(F_g)(즉, 성형 영역(210) 아래 스트랜드(110)의 중량). 견인력(F_p)은 도 2에서 고정력(F_h)과 동일한 방향의 상력으로 도시되지만, 위에서 논의한 바와 같이 견인 디바이스(300)는 스트랜드(110)에 하력 또는 상력 중 어느 하나를 인가할 수 있다. 따라서, 식에서 사용된 바와 같이, F_p는 견인 디바이스(300)가 스트랜드(110)에 중력(F_g) 반대 방향의 상력을 인가할 때 양이고, 견인 디바이스(300)가 스트랜드(110)에 중력(F_g)과 동일한 방향의 하력을 인가할 때 음이다(이는 본 출원에서 정의상 음수이다). 유리 스트랜드가 가속도가 제로(식 1)인 일정한 속도로 인발되기 때문에 스트랜드(110)에 인가되는 알짜힘이 제로일 때, 고정력은 스트랜드(110) 상에 작용하는 다른 힘들의 대수합의 반대로서 계산될 수 있다(식 2).

[0012] (1) $F_h + F_p + F_g = 0$

[0013] (2) $F_h = -(F_g + F_p)$

[0014] 따라서, 고정력(F_h)은 중력(F_g) 및 스트랜드(110)에 인가되는 견인력(F_p)의 대수 합을 결정함으로써 계산될 수 있다. 고정력(F_h)을 계산함으로써, 그 다음 성형 영역(210)의 유효 점성이 결정될 수 있다.

[0015] 중력(F_g)은 스트랜드(110)의 질량(m)에 중력 상수(g)(예를 들어, 대략 -9. 81 m/s^2(여기서 마이너스 부호는 중력 가속도 또는 중력의 하향을 나타낸다))를 곱한 값을 결정함으로써 계산될 수 있다(식 4). 스트랜드(110)의 질량(m)은 스트랜드(110)의 길이(L) 곱하기 그것의 단면적(A) 곱하기 스트랜드(110)의 밀도(r)와 동일하다(식 3).

[0016] (3) $m = L * A * r$

[0017] (4) $F_g = m * g = L * A * r * g$

[0018] 스트랜드(110)의 단면적(A) 및 밀도(r)는 상수이고 특정 프로세스 및 유리 재료에 대해 미리 결정된다. 몇몇 실시예에서, 단면적(A)은 게이지들(410, 420)에 의해 결정 또는 확인된다. 대표적인 실시예에서, 단면적(A)은 범위가 대략 1 cm^2 에서 대략 400 cm^2에 이를 수 있다. 실리카 유리 스트랜드에 대한 밀도(r)는 통상적으로 대략 2.2 g/cm^3이다. 그러나, 예를 들어 실리카가 아닌 재료들로 만들어진 유리 스트랜드들에 대해 보다 크고 보다 작은 단면적 및 밀도가 분명하게 고려된다. 튜브에 대해, 단면적(A)은 튜브 내부의 중공(예를 들어, 외측 직경(d_1) 및 내측 직경(d_2)을 갖는 튜브에 대해, $A = \pi [(d_1/2)^2-(d_2/2)^2]$)을 포함하지 않는다. 스트랜드의 길이(L)는 스트랜드(110)가 성형되는 속도를 측정하거나, 또는 추적 시스템(510)(도 1)을 사용하여 스트랜드(110)의 종단(115)의 위치를 결정함으로 결정된다. 추적 시스템(510)은 스트랜드(110)의 종단(115)의 수직 위치를 결정하기 위해 카메라 시각 시스템, 레이저 시스템, 또는 기계적 디바이스를 포함할 수 있다. 도 2는 추적 시스템(510)이 단지 하나의 구성요소를 포함하는 것으로 도시하지만, 추적 시스템(510)은 다수의 구성요소, 예를 들어 스트랜드(110)를 따라 수직으로 배열되는 일련의 카메라를 포함할 수 있다.

[0019] 여기서 통상적인 모재 또는 튜브 인발 프로세스에서, 유리 스트랜드의 길이(L) 및 그것의 중량(F_g) 양자가 증가되면, 일정한 인발 속도(및 유리 스트랜드 상에 제로 알짜힘)를 유지하기 위해 견인력(F_p)이 또한 증가되어야 함(즉, 온도 또는 속도 종속적 고정력(F_h)은 일정하게 유지되면서 보다 큰 상력을 인가해야 함)이 주의된다. 스트랜드(110)는 주기적으로 절단될 수 있으며, 이 경우 견인력(F_p)에 대한 보다 큰 조절이 요구된다. 도3a 내지 도 3e는 고정력(F_h), 견인력(F_p), 스트랜드 길이(L), 유리 온도 및 인발 속도가 모재 또는 튜브 인발 프로세스 동안 시간 함수에 따라 어떻게 변할 수 있는지에 대한 예를 도시한다. 견인력(F_p) 및 스트랜드 길이(L)에 대한 톱니와 같은 거동은 다음에 기인한다: (a) 인발 동안 풀러들에 의해 고정되는 스트랜드의 길이 및 중량 증가, (b) 그것을 지지하고 일정한 인발 속도를 유지하는 데 필요한 견인력 증가, 및 (c) 스트랜드(110)의 주기적 절단 및 제거.

[0020] 일 실시예에서, 견인력(F_p)은 견인 디바이스(300)에 인가되는 전압 및 견인 휠들(310)의 토크에 의해 결정된다. 소정의 모터에 대해, 모터에 의해 인가되는 토크는 모터에 인가되는 전압에 기초하여 결정될 수 있다. 토크로부터, 견인력(F_p)은 견인 휠들(310)의 직경에 기초하여 계산될 수 있는데, 이는 토크의 크기가 토크가 측정되는 지점 및 힘이 인가되는 지점 간 힘 및 거리 양자에 종속적이기 때문이다. 견인 디바이스(300)에 인가되는 전압은 견인 디바이스에 부착된 전압계에 의해 측정될 수 있다.

[0021] 다른 실시예에서, 견인력(F_p)은 견인 디바이스(300)의 프레임(315)에 직접 장착되는 로드 셀들(320)의 출력을 측정함으로써 결정된다. 로드 셀들(320)은 견인 휠들(310)에 의해 각 로드 셀(320)의 스트레인 게이지(미도시)에 인가되는 힘을 전기 신호로 변환하는 트랜스듀서들이다. 그 다음 전기 신호가 측정되고 스트레인 게이지에 인가되는 힘과 상관될 수 있다. 대표적인 로드 셀들은 유압 로드 셀들, 공압 로드 셀들, 및 스트레인 게이지 로드 셀들을 포함한다. 다른 실시예에서, 견인 디바이스(300)는 스트랜드 위를 끼워서 가열대(200) 아래에 위치하는 타워로 수직으로 이동시키는 파지 디바이스 이를테면 척 또는 클램프(미도시)를 포함할 수 있다. 그러한 실시예들에서, 견인력(F_p)은 로드 셀들(320)을 파지 디바이스의 아암 또는 캐리지에 장착함으로써 측정될 수 있다.

[0022] 다른 실시예에서, 고정력(F_h)은 스트랜드(110) 내 응력-유도 복굴절을 측정함으로써 결정될 수 있다. 응력-유도 복굴절은 기계적 응력으로 인해 변형될 때 재료 이를테면 유리의 굴절률의 변화를 나타낸다. 기계적 응력의 정도가 클수록, 굴절률의 변화가 커진다. 응력-유도 복굴절의 크기를 결정하기 위해, 센서(610)가 성형대(210)에

또는 그 아래에, 예를 들어 성형대(210) 및 견인 디바이스(300) 간 거리(x)에 위치될 수 있다. 편광 광원(미도시)는 스트랜드(110) 위로 편광된 광을 방사하고 스트랜드(110)를 통과하는 투과도는 센서(610)에 의해 측정될 수 있다.

[0023] 거리(x)는 바람직하게는 기계적 인장의 응력-유도 복굴절이 측정될 때 스트랜드(110)가 대략 어닐링 온도에 있도록 충분히 작게 유지된다. 거리(x)가 너무 큰 경우, 스트랜드(110)는 성형대(210)에서 어닐링 온도로부터 냉각하기 시작할 것이고, 냉각의 정도에 의해 야기되는 열 및 잔류 응력이 스트랜드(110)로 도입될 것이며 그 열 및 잔류 응력이 고려되어야 해서, 힘들(F_h, F_p, 및 F_g)로부터의 순수한 기계 유도 응력의 결정을 매우 복잡하게 만든다.

[0024] 이전에 논의한 바와 같이, 스트랜드(110) 상의 알짜힘은, 스트랜드가 가속되지 않고 일정한 속도로 인발되기 때문에, 제로이다. 따라서, 스트랜드를 따르는 각각의 지점에서, 크기가 동일하나 방향은 반대인 상력 및 하력이 존재한다. 반대인 상력 및 하력은 두 가지 상황으로 귀결될 수 있다: (1) 스트랜드가 로프에서와 같이 두 종단에서 당겨져 양의 응력이 되는 경우, 긴장 상황; 및 (2) 스트랜드가 두 종단에서 밀어져 음의 응력이 되는 경우, 압축 상황. 긴장이든 압축이든 간에, 스트랜드(110)가 여전히 대략 어닐링 온도에 있는 경우 스트랜드(110)를 따르는 임의의 지점에서, 측정된 기계-유도 응력(S)에 스트랜드의 단면적(A)을 곱한 값은 그 지점에서 스트랜드에 인가되는 상력 또는 하력 중 어느 하나의 크기와 동일하다.

[0025] (5) $|S * A|$ = |상력| = |하력|

[0026] 성형대(210) 및 성형대(210) 아래 거리(x)의 견인 디바이스(300) 사이 지점에 대해, 상력은 식 (6)에 따라, 고정력(F_h) 마이너스 그 지점 위 스트랜드의 중량과 동일하다.

[0027] (6) (상력) = F_h - (해당 지점 위 스트랜드 중량) = $F_h - |x * A * r * g|$

[0028] g가 음인 경우 위에서 설명한 부호 관계들에 따라,

[0029] (7) (상력) = $F_h + (x * A * r * g)$.

[0030] 스트랜드 상의 알짜힘이 제로이기 때문에, 상력의 크기는 하력의 크기와 동일하고, 식 (7)은 상력에 대해 식 (5)로 대체될 수 있어, 식 (8)로 귀결된다. 식 (8)을 이용하면, F_h는 식 (9)에 따라 풀이될 수 있다.

[0031] (8) $S * A = F_h + (x * A * r * g)$

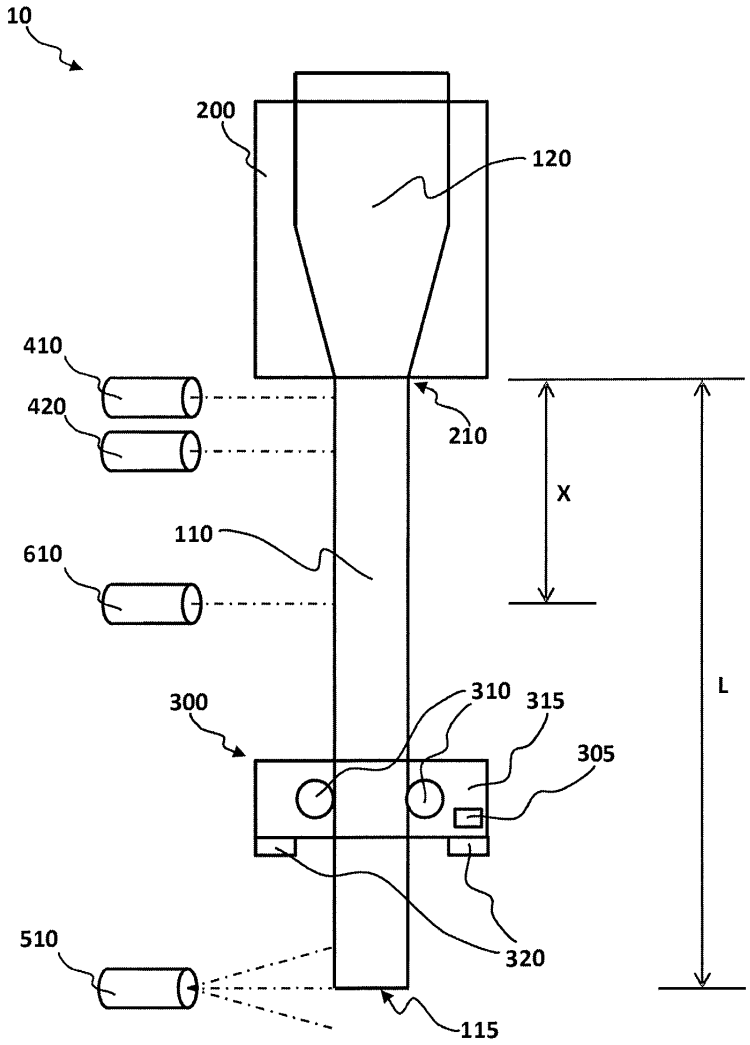
[0032] (9) $F_h = (S * A) - (x * A * r * g)$

[0033] 식 (8)에 제시된 바와 같이, x 가 제로에 이를 때, 고정력(F_h)은 간단히 $S * A$가 되고; 그렇지 않으면, 고정력(F_h)은 $S * A$ 플러스 지점(x) 위 스트랜드의 중량(즉 $|x * A * r * g|$)이 될 것이다.

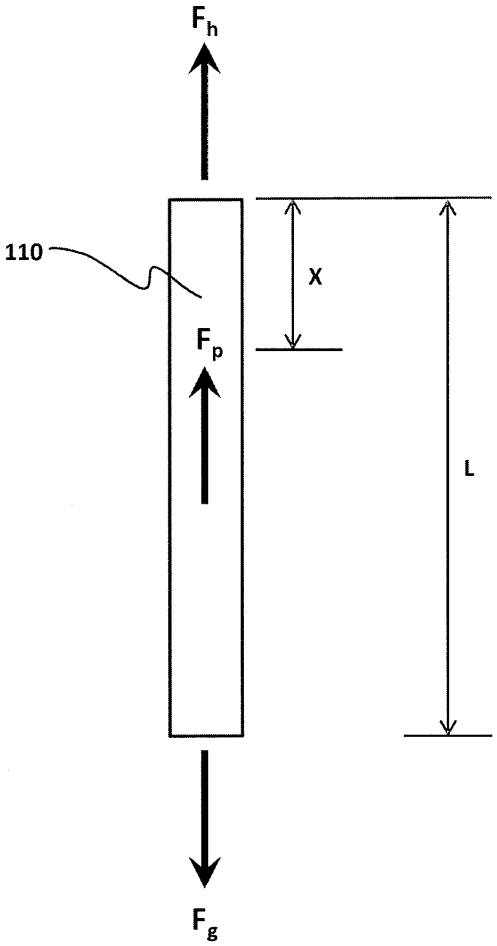
[0034] 특정한 사항에서 기인하는 응력-유도 복굴정의 양이 스트랜드(110)의 재료의 알려진 속성이고, 중력 효과 또는 보정(즉, $|x * A * r * g|$)이 모든 알려진 기본적으로 상수인 값들(즉, x, A, r, 및 g)로부터 용이하게 결정되기 때문에, 고정력(F_h)은 측정된 응력-유도 복굴절(즉, $S * A$)이 되는 힘의 양을 결정함으로써 추정될 수 있다. 다시 말해서, 본 실시예에서, 고정력(F_h)은 지속적으로 변하는 유리 스트랜드 길이(L) 또는 견인력(F_p)을 직접 측정할 필요 없이 알려진 거리(x)에서의 유리 스트랜드 내 응력으로부터 결정될 수 있다.

도면

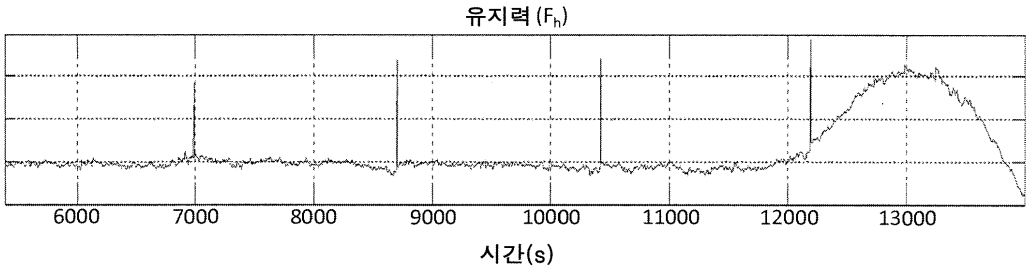
도면1



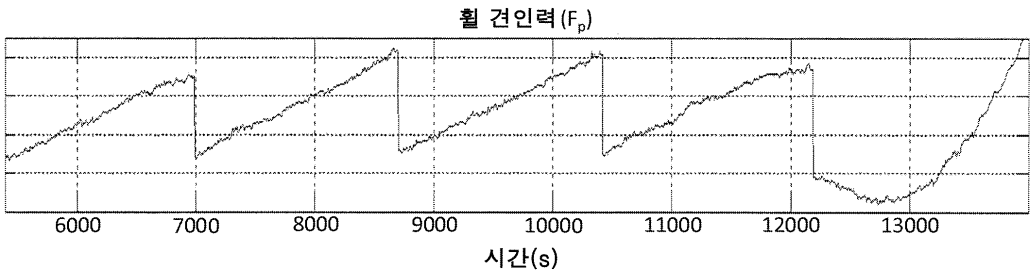
도면2



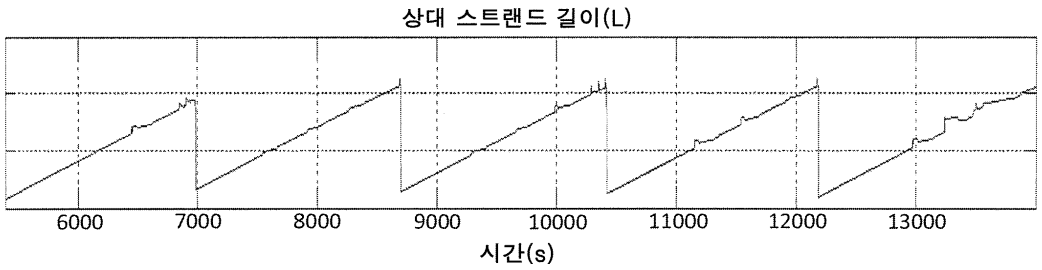
도면3a



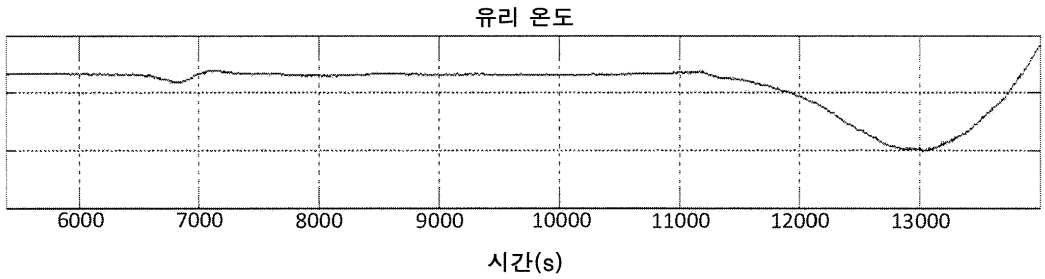
도면3b



도면3c



도면3d



도면3e

