

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2017-0132047 (43) 공개일자 2017년12월01일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C03B 17/06 (2006.01) G01B 11/24 (2006.01) G01B 21/20 (2006.01)	(71) 출원인 코닝정밀소재 주식회사 충청남도 아산시 탕정면 만전당길 30	
(52) CPC특허분류 C03B 17/06 (2013.01) C03B 18/02 (2013.01)	(72) 발명자 오명환 충청남도 아산시 탕정면 만전당길 30 코닝정밀소재(주)	
(21) 출원번호 10-2016-0063048	임상호 충청남도 아산시 탕정면 만전당길 30 코닝정밀소재(주)	
(22) 출원일자 2016년05월23일 심사청구일자 없음	(74) 대리인 김선민	

전체 청구항 수 : 총 8 항

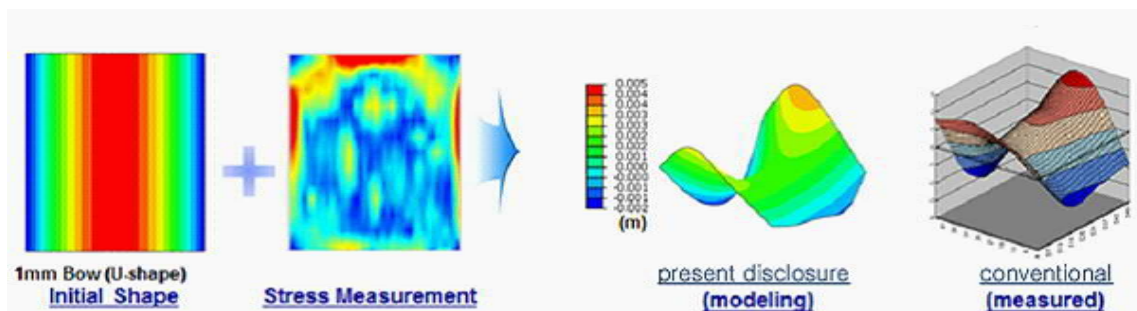
(54) 발명의 명칭 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법 및 무중력 형상 기반 글라스 시트 품질 관리 방법

(57) 요약

글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법은, a) 글라스 시트의 성형 중에 상기 글라스 시트가 갖는 1차원 형상을 포함하는 상기 글라스 시트의 초기 형상을 얻는 단계; b) 상기 글라스 시트가 평탄화될 때 상기 글라스 시트가 받는 스트레스의 값들을 각 위치별로 얻는 단계; c) 상기 초기 형상을 갖고 상기 스트레스를 받는 글라스 시트 모

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



텔을 모델링하는 단계, 및 d) 상기 스트레스가 제거될 때 상기 글라스 시트 모델이 나타낼 형상을 상기 글라스 시트의 무중력 형상으로 예측하는 단계를 포함한다. 또한, 무중력 형상 기반 글라스 시트 품질 관리 방법은, 글라스 시트들을 생산하는 단계; 상기 글라스 시트들의 무중력 형상들을 데이터베이스화하는 단계; 상기 글라스 시트들을 구매회사들에 공급하는 단계; 각 구매회사 별로 불량 발생된 글라스 시트 불량품들에 대한 정보를 수집하고 불량 원인을 분석하는 단계; 및 특정 구매회사에 공급된 글라스 시트 불량품의 불량 원인이 특정 무중력 형상에 있는 것으로 분석되는 경우, 그 특정 구매회사에 그 특정 무중력 형상의 글라스 시트가 공급되지 않도록 관리하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G01B 11/24 (2013.01)

G01B 21/20 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

- a) 글라스 시트의 성형 중에 상기 글라스 시트가 갖는 1차원 형상을 포함하는 상기 글라스 시트의 초기 형상을 얻는 단계;
- b) 상기 글라스 시트가 평탄화될 때 상기 글라스 시트가 받는 스트레스의 값들을 각 위치별로 얻는 단계;
- c) 상기 초기 형상을 갖고 상기 스트레스를 받는 글라스 시트 모델을 모델링하는 단계: 및
- d) 상기 스트레스가 제거될 때 상기 글라스 시트 모델이 나타낼 형상을 상기 글라스 시트의 무중력 형상으로 예측하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 단계 b)에서는, 상기 평탄화된 글라스 시트에 편광을 조사하고, 상기 평탄화된 글라스 시트를 투과한 편광의 지연 값들과 광축 변화 값들을 측정하고, 측정된 상기 지연 값들과 상기 광축 변화 값들로부터 상기 스트레스의 값들을 환산하는 것을 특징으로 하는 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 글라스 시트는 드로우 공정 또는 플로트 공정을 통하여 생산된 것이고,

상기 1차원 형상은 상기 드로우 공정 또는 플로트 공정에서 글라스 리본의 형상을 측정하여 얻고,

상기 글라스 시트는 상기 글라스 리본을 절단하여 얻는 것을 특징으로 하는 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 1차원 형상은 드로우 방향과 직교하는 폭 방향을 따라 상기 글라스 리본의 복수의 위치를 측정하여 얻는 것을 특징으로 하는 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 초기 형상은, 중력이 가해진 상기 글라스 시트의 위프를 측정하여 얻어지는 코너 리프트 국부 형상 및/또는 에지 리프트 국부 형상을 추가적으로 포함하는 것을 특징으로 하는 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 단계 d)는 FEM 비선형 예측 알고리즘을 이용하여 수행하는 것을 특징으로 하는 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 단계 d)에서는 상기 글라스 시트의 물성 정보에 기초하여 상기 글라스 시트의 무중력 형상을 예측하는 것을 특징으로 하는 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법.

청구항 8

글라스 시트들을 생산하는 단계;

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 상기 글라스 시트들의 무중력 형상들을 데이터베이스화하는 단계;

상기 글라스 시트들을 구매회사들에 공급하는 단계;

각 구매회사 별로 불량률이 발생된 글라스 시트 불량품들에 대한 정보를 수집하고 불량 원인을 분석하는 단계; 및
특정 구매회사에 공급된 글라스 시트 불량품의 불량률의 원인이 특정 무중력 형상에 있는 것으로 분석되는 경우, 그 특정 구매회사에 그 특정 무중력 형상의 글라스 시트가 공급되지 않도록 관리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무중력 형상 기반 글라스 시트 품질 관리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 글라스 시트의 무중력 형상을 예측하는 방법 및 무중력 형상을 기반으로 글라스 시트의 품질을 관리하는 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 글라스 시트의 스트레스를 이용하여 글라스 시트의 무중력 형상을 예측하고, 예측된 무중력 형상을 이용하여 글라스 시트의 품질을 관리하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 글라스 시트의 형상(shape)은 중요한 품질 지표로서 현재까지는 중력이 가미된 워프 데이터(warp data)를 주요 지표로 활용하여 품질을 평가하여 왔다. 워프는 마찰이 없는 면에 글라스 시트를 놓혀 놓았을 때의 형상이다. 즉, 중력이 글라스 시트에 작용하고 있을 때 글라스 시트의 형상이다. 그러나, 고해상도의 프리미엄 LCD 장치의 생산이 증가함에 따라, 글라스 시트 본래의 형상인 무중력 형상의 평가 필요성이 증가하고 있다.

[0004] 도 1은 종래의 무중력 형상 측정 방법을 개략적으로 보여주는 도면이다.

[0005] 무중력 형상(Gravity free shape)은 글라스 시트의 본래의 형상을 나타내는 지표로서, 글라스 시트 생산 공정과 LCD 장치의 제조 공정에 영향을 주는 요소로 인식되어 왔다. 그러나, 무중력 형상은 측정 방법이 어렵고 제약 사항으로 인하여 쉽게 모니터링하고 평가하기가 어려웠다. 실제로 글라스 시트의 무중력 형상을 측정하는 종래의 설비는 소정 크기 이상의 글라스 시트에 대해서는 측정이 불가하여, 소정 크기 이상의 글라스 시트는 분판하여 측정하고 측정치를 다시 붙이는 방법을 적용하고 있다. 또한, 측정 시간과 정확도를 검증하기 어려워 참고로만 활용하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기한 종래의 무중력 형상 측정 방법의 한계를 극복하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 구성에 따르면, 본 발명은, a) 글라스 시트의 성형 중에 상기 글라스 시트가 갖는 1차원 형상을 포함하는 상기 글라스 시트의 초기 형상을 얻는 단계; b) 상기 글라스 시트를 평탄화할 때 상기 글라스 시트가 받는 스트레스의 값들을 각 위치별로 얻는 단계; c) 상기 초기 형상을 갖고 상기 스트레스를 받는 글라스 시트 모델을 모델링하고, 상기 스트레스가 제거될 때 상기 글라스 시트 모델이 나타낼 형상을 상기 글라스 시트의 무중력 형상으로 예측하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 글라스 시트의 무중력 형상 예측 방법을 제공한다.

[0010] 또한, 본 발명은, 글라스 시트들을 생산하는 단계; 상기 글라스 시트들의 무중력 형상들을 데이터베이스화하는 단계; 상기 글라스 시트들을 구매회사들에 공급하는 단계; 각 구매회사 별로 불량 발생된 글라스 시트 불량품들에 대한 정보를 수집하고 불량 원인을 분석하는 단계; 및 특정 구매회사에 공급된 글라스 시트 불량품의 불량 원인이 특정 무중력 형상에 있는 것으로 분석되는 경우, 그 특정 구매회사에 그 특정 무중력 형상의 글라스 시트가 공급되지 않도록 관리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무중력 형상 기반 글라스 시트 품질 관리 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0012] 상기한 구성에 따르면, 본 발명에서 개발된 무중력 형상 예측 기술은 종래의 설비에서 측정하기 어려운 대형 글라스 시트와 박형 글라스 시트의 형상 예측을 가능하게 한다. 또한 빠른 예측 시간으로 전체 글라스 시트의 무중력 형상의 예측이 가능하여 관정의 기준으로 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 종래의 무중력 형상 측정 방법을 개략적으로 보여주는 도면이다.
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 무중력 형상 예측 방법을 개략적으로 보여주는 도면이다.
 도 3은 글라스 시트를 평탄화할 때, 스트레스로 표현되는 형상의 개념을 설명하기 위한 도면이다.
 도 4는 글라스 시트를 평탄화할지라도, 스트레스로 표현되지 못하는 형상의 개념을 설명하기 위한 도면이다.
 도 5 및 도 6은 글라스 시트의 초기 형상을 측정하는 방법을 개략적으로 보여주는 도면이다.
 도 7는 도 5 및 도 6의 측정 방법을 이용하여 측정된 글라스 시트의 초기 형상의 다양한 예들을 보여주는 도면이다.
 도 8은 유리기관을 투과하는 빛의 지연 값 및 광축 변화 값을 측정하는 장비를 개략적으로 보여주는 도면이다.
 도 9 및 도 10은 FEM 비선형 예측 알고리즘을 이용하여 도 2의 무중력 형상 예측 방법을 수행하는 프로세스를 개략적으로 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 첨부 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.

[0016] 본 발명에서는 글라스 시트의 2D 스트레스를 글라스 시트를 평탄화 하여 측정한다는 점에 착안하여 2D 스트레스 데이터를 활용하여, 빠르고 쉽고 편리하게 모든 글라스 시트의 무중력 형상을 확인하고 검증할 수 있는 방법을 제시하였다. 글라스 시트의 2D 스트레스는 글라스 시트를 평탄화될 때 글라스 시트가 받는 스트레스를 측정하여 얻을 수 있는데, 이는 글라스 시트의 무중력 형상을 평탄화하기 위하여 가해진 외부의 힘이 반영된 값이다. 따라서, 2D 스트레스의 값들을 역으로 환산하면 무중력 형상을 예측할 수 있다.

[0017] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 무중력 형상 예측 방법을 개략적으로 보여주는 도면이다.

[0018] 초기 형상에 스트레스에 기인한 변형을 합치면 간단히 무중력 형상을 구할 수 있다. 식 1은 위에서 설명한 무중

력 형상의 구성을 표현한 식이다.

수학식 1

무중력 형상 = 초기 형상 (Initial shape) + 스트레스에 기인한 변형

(Stress-induced shape)

식 1에 기반하여 무중력 형상을 예측하는 프로세스는 도 2에 표현되어 있다.

구체적으로 살펴보면, 먼저, 글라스 시트의 성형 중에 글라스 시트가 갖는 1차원 형상을 포함하는 글라스 시트의 초기 형상을 얻는다. 다음으로, 글라스 시트를 평탄화할 때 글라스 시트가 받는 스트레스의 값들을 각 위치별로 얻는다. 다음으로, 상기 초기 형상을 갖고 상기 스트레스를 받는 글라스 시트 모델을 모델링하고, 상기 스트레스가 제거될 때 상기 글라스 시트 모델이 나타낼 형상을 상기 글라스 시트의 무중력 형상으로 예측한다.

도 3은 글라스 시트를 평탄화할 때, 스트레스로 표현되는 형상의 개념을 설명하기 위한 도면이다.

글라스 시트의 스트레스 측정은 글라스 시트를 평탄화 한 뒤에 측정하므로 형상은 모두 평탄(flat)하게 되고, 이때 발생하는 스트레스가 모두 스트레스 측정 데이터에 포함되게 된다. 글라스 시트를 평탄화한 뒤 글라스 시트가 받는 스트레스의 값들을 각 위치별로 얻는다. 측정된 스트레스 데이터를 활용하여 스트레스가 사라지게 되는 형상을 구할 수 있다면, 이 때의 형상은 무중력 형상과 거의 유사할 것이다. 무중력 형상은 중력이 없을 때의 형상이고, 강제로 힘을 가해서 평탄하게 만들면 평탄하게 만드는 힘이 시트에 가해진다. 그 힘이 결국 시트에 스트레스로 나타나게 된다. 즉, 스트레스로 인해서 변형된 형상을 평탄하게 만들어야 다시 스트레스로 나타나게 되므로, 스트레스 측정 시에는 시트를 평탄하게 만든다. 이를 위하여, 예컨대 시트를 에어 테이블 위에 올려 놓고 석션을 하여 시트를 평탄화시킬 수 있다.

도 4는 글라스 시트를 평탄화할지라도, 스트레스로 표현되지 못하는 형상의 개념을 설명하기 위한 도면이다.

1차원 형상은 스트레스로 표현되지 않는다. 예컨대, 실린더 형상의 경우 평탄하게 만들면 윗면과 아랫면에서의 스트레스가 반대로 나타나서, 빛의 투과방식으로 스트레스를 측정하는 글라스에서는 위/아래 면의 값이 더해져서 스트레스가 0으로 나타난다. 현실에서 1차원 형상은 나타나기 힘들고, 처음 초기 조건에서 발생할 수 있으므로, 초기 형상을 선정하고 stress에 기인한 변형을 합함으로써 최종 무중력 shape을 예측할 수 있다. 따라서 스트레스로 표현되지 않는 형상을 초기 형상으로 규정하고, 이 초기 형상에 스트레스에 기인한 변형을 합치면 간단히 무중력 형상을 구할 수 있다. 무중력 형상은 거시적(macroscopic) 형상이 중요하므로 미세한 미시(microscopic) 형상은 초기 형상을 선정할 때 무시할 수 있다. 도 2에서 초기 형상으로 정의된 U-타입의 원통형 형상은 스트레스로 표현되지 않는 무중력 형상의 콤포넌트이다.

스트레스로 표현되지 않는 형상은 에지 리프트(edge lift) 국부 형상 또는 코너 리프트 국부 형상(corner lift)와 같은 단순한 벤딩이 대부분이고 예측하기 어려운 복잡한 형상은 거의 발생하지 않는다. 단순 벤딩은 스트레스로 표현이 안되고 또한 작은 형상 변화도 측정 해상도 한계로 인하여 스트레스로 표현이 안되므로, 필요 시에 워프 측정 시에 나온 코너와 에지의 단순 bending도 초기 형상에 반영할 수 있다. 그러나, 미세 형상으로 무중력 형상을 판단하는 데 큰 영향이 없어서 포함하지 않을 수도 있다. 1차원 형상은 생산하는 글라스 시트 생산 장비(예컨대, 도 5 및 도 6의 퓨전 드로우 머신(140))의 상황에 따라서 바뀔 수 있고, 주로 글라스 시트 생산 장비의 형상 측정 시스템 (예컨대, 도 6의 포지션 센서) 등에 의하여 측정된 형상 데이터를 활용할 수 있다.

도 5 및 도 6는 글라스 시트의 초기 형상을 측정하는 방법을 개략적으로 보여주는 도면이다.

장치는 연속적인 공정으로 유리리본을 유리시트로 생산하기 위해 제공될 수 있다. 도 5 및 도 6는 퓨전 드로우 장치(101)를 개략적으로 나타낸다. 그러나, 본 발명의 글라스 시트가 퓨전 드로우 공정으로 생산된 것에 한정되지는 않는다. 예컨대, 본 발명의 글라스 시트는 다운드로우 공정, 업드로우 공정, float 공정 등 다양한 공정을 통하여 생산될 수 있다.

퓨전 드로우 장치(101)는 퓨전 드로우 머신(140)을 포함한다. 퓨전 드로우 머신(140)은 성형 용기(143)을 포함한다. 성형 용기(143)는 또한 내화성 재료로부터 만들어지고 유리리본(103)을 형성하도록 설계된다.

- [0030] 도시한 바와 같이, 성형 용기(143)는 성형 웨지(201)를 포함한다. 성형 웨지(201)은 한 쌍의 아래로 기울어진 성형 표면부(203, 205)를 포함한다. 한 쌍의 성형 표면부(203, 205)는 드로우 방향(207)을 따라 수렴하여, 루트(209)를 형성한다. 드로우 평면(211)은 루트(209)를 통하여 연장된다. 유리리본(103)은 드로우 평면(211)을 따라 드로우 방향(207)으로 드로우될 수 있다. 도시한 바와 같이, 드로우 평면(211)은 루트(209)를 이분할 수 있다. 그러나, 드로우 평면(211)은 루트(209)에 대하여 다른 방향으로 연장될 수도 있다.
- [0031] 일단 유리 리본(103)의 에지(103a, 103b)가 형성되면, 유리리본(103)의 너비 "W"는 드로우 방향(207)과 실질적으로 수직인 방향으로 에지(103a, 103b)들 사이에 구성된다.
- [0032] 퓨전 드로우 장치(101)는 유리리본(103)이 별개의 유리시트(305)로 절단되도록 절단 장치(303)를 포함할 수 있다. 유리시트(305)는 액정 디스플레이(LCD)와 같은 다양한 디스플레이 장치에 설치되기 위하여, 개별적인 유리 시트로 세분될 수 있다.
- [0033] 용융유리는 성형 용기(143)의 트로프(215) 내로 흐를 수 있다. 용융유리(121)는 그 후 상응하는 독(217a, 217b)을 넘쳐 동시에 흐를 수 있고 상응하는 독(217a, 217b)의 외면(219a, 219b)를 지나 아래로 흐를 수 있다. 개별적인 용융유리의 스트림은 그후 성형 용기(143)의 아래로 기울어진 성형 표면부(203, 205)를 따라 루트(209) 쪽으로 흐르며, 이 흐름은 유리리본(103)으로 수렴하고 융합된다. 유리리본(103)은 그후 드로우 평면(211)을 따라 드로우 방향(207)으로 루트(209)로부터 드로우된다.
- [0034] 유리리본(103)은 점성 영역(307)로부터 셋팅 영역(309)까지 드로우 평면(211)을 따라 드로우 방향(207)으로 루트(209)로부터 드로우된다. 셋팅 영역(309)에서, 유리리본(103)은 원하는 단면 프로파일로 점성 상태에서부터 탄성 상태로 셋팅된다. 유리리본은 그 후 셋팅 영역(309)으로부터 탄성 영역(311)까지 드로우된다. 탄성 영역(311)에서, 유리리본의 프로파일은 유리리본의 특성으로 프로즌(frozen) 된다. 셋팅된 리본이 이 형상으로부터 벗어나 휘 때, 내부 스트레스는 유리리본이 원래의 셋팅된 프로파일로 돌아가는 경향을 갖도록 야기할 수 있다.
- [0035] 초기 형상은, 형상 측정부(410)를 이용하여 드로우 공정에서 드로우 방향(207)과 직교하는 폭(W) 방향을 따라 글라스 리본의 복수의 위치를 측정하여 얻는다. 형상 측정부(410)은 폭(W) 방향을 따라 배열되는 복수의 레이저 포지션 센서 또는 복수의 초음파 포지션 센서(411)를 포함할 수 있다. 각각의 포지션 센서(411)는 등간격으로 배치될 수도 있고, 서로 다른 간격으로 배치될 수도 있을 것이다. 셋팅 영역(309) 또는 탄성 영역(311)에서의 형상이 실제 유리 시트의 형상에 남게 되므로, 형상 측정부(410)는 셋팅 영역(309) 또는 탄성 영역에 설치될 수 있다. 탄성 영역에서는 노이즈성 외력이 유리리본의 형상에 영향을 미칠 수 있고, 탄성 영역에서 측정된 형상은 셋팅 영역에서 측정된 형상과 다를 수 있다. 그러나, 이러한 일시적인 형상은 최종적인 형상으로 남지 않고 다시 복원되므로, 형상 측정부(410)은 셋팅 영역(309)에서 설치되는 것이 바람직할 수 있으나, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0036] 도 7는 도 5 및 도 6의 측정 방법을 이용하여 측정된 글라스 시트의 초기 형상의 다양한 예들을 보여주는 도면이다.
- [0037] 도 7는 초기 형상의 예시로 글라스 시트 생산 장비(예컨대, Fusion Draw Machine) 내부의 수평 보우(bow)를 측정한 결과로 도 7와 같이 다양한 형상이 발생할 수 있다. 주로 U-타입, S-타입, 그리고 W-타입의 형상이 발생할 수 있다.
- [0038] 도 8은 글라스 시트를 투과하는 빛의 지연 값 및 광축 변화 값을 측정하는 장비를 개략적으로 보여주는 도면이다.
- [0039] 그러나, 본 발명의 빛의 지연 값 및 광축 변화 값이 도 8의 장비에만 의존하여 측정되어야 하는 것이 아님은 당업자라면 이해할 것이다. 즉, 도 8은 글라스 시트의 빛의 지연 값 및 광축 변화 값을 측정하는 방법의 일 예를 설명하기 위한 도면에 불과하고, 그 외에 빛의 지연 값 및 광축 변화 값은 공지의 다른 방법으로 측정될 수 있다.
- [0040] 평탄화된 글라스 시트에 편광을 조사하고, 평탄화된 글라스 시트를 투과한 편광의 지연 값(retardation)들과 광축 변화 값(azimuth angle)들을 측정한다. 측정된 지연 값들과 광축 변화 값들로부터 스트레스 값들을 환산할 수 있다.
- [0041] 구체적으로 살펴보면, 먼저, 글라스 시트의 복굴절 데이터 (즉, 빛의 지연 정도와 광축 변화 값(azimuth angle) 값: Θ)을 얻는다. 예컨대, 도 8의 실시예에서는, 광원(11)으로부터 출사된 빛이 45도 선형 편광판(12)을 통과한 뒤에 0도 광탄성 변조기(Photo elasticity Modulator)(13)를 통과하면서 빛의 진동 수에 따라서 위상이 변화

한다. 위상이 변화된 빛이 glass 샘플(14)을 통과하면서 글라스 샘플(14)의 내부 응력에 따라서 편광상태가 바뀌게 된다. 편광상태가 변화된 빛의 일부는 거울(15) 및 -45도 선형 편광판(16)을 통과한 뒤 제1 조도 센서(photodiode)(17)에 의하여 조도가 측정되고, 나머지 일부는 거울(15)에 반사되고 0도 선형 편광판(18)을 통과한 뒤 조도 센서 2(19)에 의하여 빛의 조도가 측정된다. 측정 값들로부터 Mueller Matrix를 이용하여 빛의 지연 값(Retardation)과 광축 변화 값(Azimuth angle)을 계산하게 된다.

[0042] 아래 식 2는 빛의 지연 값과 주응력간의 관계를 보여주는 식이다. 아래 식 2를 이용하여 주응력 차이를 계산한다.

수학식 2

$$\sigma_1 - \sigma_2 (\text{psi}) = \frac{\text{Retardance}(\text{nm})}{[K * \text{thickness}(\text{cm}) * \text{SOC}(\text{nm/cm/psi})]}$$

[0043]

[0044] 다음으로 아래 식 3으로부터 τ_{xy} 를 계산한다.

수학식 3

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)\sin(2\theta)$$

[0045]

[0046] τ_{xy} 를 활용하여 아래 식 4의 편미분 방정식으로부터 σ_{xx} 및 σ_{yy} 를 계산한다.

수학식 4

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0$$

[0047]

[0048] 도 9 및 도 10은 FEM 비선형 예측 알고리즘을 이용하여 도 2의 무중력 형상 예측 방법을 수행하는 프로세스를 개략적으로 보여주는 도면이다.

[0049] 도 2의 예측 프로세스를 조금 더 기술적으로 자세히 표현하면 도 9 및 도 10과 같이 글라스 시트의 기본 물성 정보, 초기 형상 정보 및 스트레스 정보를 FEM의 비선형 변형 해석 알고리즘에 적용하여 최종적으로 무중력 형상의 예측 값을 얻을 수 있다.

[0050] 무중력 형상을 예측 할 때, FEM 비선형 예측 알고리즘의 경우 조건에 따라서 수렴하지 못하고 발산하는 경우가 발생하므로, 예측 알고리즘에 다양한 수렴 증가 알고리즘을 추가함으로써 예측력을 강화시킬 수 있다.

[0051] 이와 같이, 초기 형상을 선정하고 측정된 스트레스 데이터를 기반으로 비선형 구조(nonlinear structure)에 기반한 FEM 해석을 통하여 무중력 형상을 예측할 수 있다.

[0052] 무중력 형상의 예측은 상용 S/W 인 Abaqus를 활용하였다. 도 10에 도시한 바와 같이, FEM 해석에 있어, 예컨대, 셸 타입 엘리먼트(Element type: Shell)를 사용할 수 있다. 메시를 구성하고, 물성 정보(예컨대, 탄성 계수, 포아송레이쇼, 열팽창계수, density 등), 초기 형상 정보 및 스트레스 정보를 FEM 비선형 변형 해석 알고리즘(Calculation type: Nonlinear)에 입력하여 변형량을 계산한다. 경계 조건(boundary condition)으로, 회전 방지를 위하여 3점을 고정할 수 있다. 변형량 계산에 있어서, 방정식 Stress = K*Strain이 사용된다. 여기서, K는 강성 팩터이고, 형상에 따라 다르다. 해석 결과가 수렴 조건에 도달할 때까지 반복적으로 수행된다. 각 셸들은 상호 평형 관계를 만족할 때 수렴하게 되고 뉴튼-랩슨법(Calculation method: Newton-Raphson

iteration)이 사용될 수 있다.

[0053] 개발된 시스템을 통하여 많은 글라스 시트를 분석한 결과 다양한 무중력 형상을 분류하고 정의를 할 수 있다.

[0054] 예측된 무중력 형상을 이용하여 글라스 시트 품질을 관리할 수 있다.

[0055] 이를 위해서, 먼저 생산된 글라스 시트들의 구매회사들에 공급하기에 앞서, 무중력 형상들을 예측하여 데이터베이스화하여 둔다. 그리고 나서, 각 구매회사로부터 제품 불량 정보를 수집한다. 그리고 나서, 각 구매회사 별로 불량 원인을 분석한다. 특정 구매회사에 공급된 글라스 시트 불량품의 불량의 원인이 특정 무중력 형상에 있는 것으로 분석되는 경우, 그 특정 구매회사에 그 특정 무중력 형상의 글라스 시트가 공급되지 않도록 관리한다.

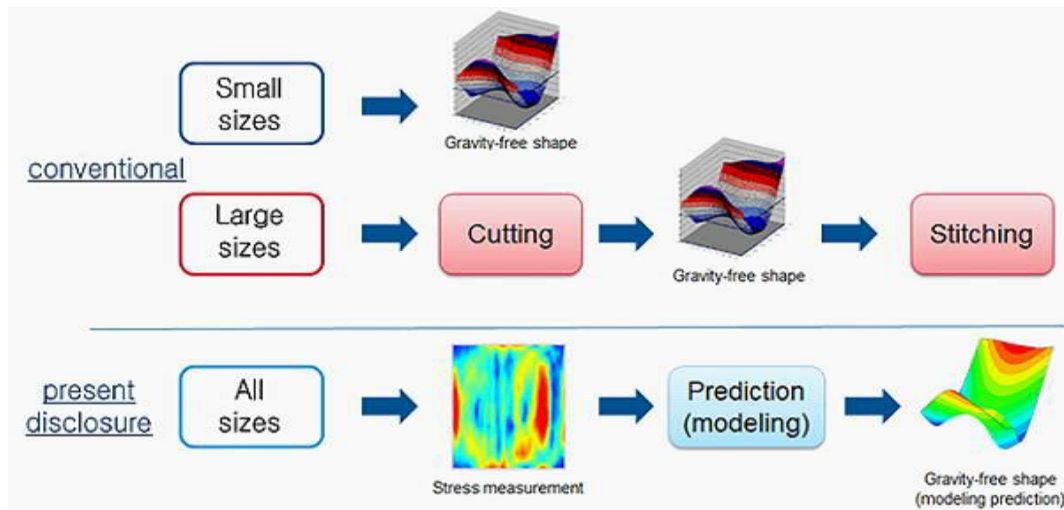
[0056] 예컨대, 특정 구매회사에 납품된 글라스 시트의 불량 원인을 분석한 결과, 무중력 형상이 원통형 형상일 때 발생하는 것으로 확인되면, 전체 공급 라인에서 무중력 형상을 측정하고 판단하여, 불량을 유발할 수 있는 원통형 형상의 글라스 시트가 그 특정 구매회사에 납품되지 않도록 하는 것이다.

[0057] 예컨대, LCD 장치의 제조 공정에서 주요 이슈를 분석하는데 활용되고, 그 원인이 무중력 형상에 있는 경우에는 검사 단계에서 전수 검사하여 판정 기준으로 활용할 수 있을 것이다.

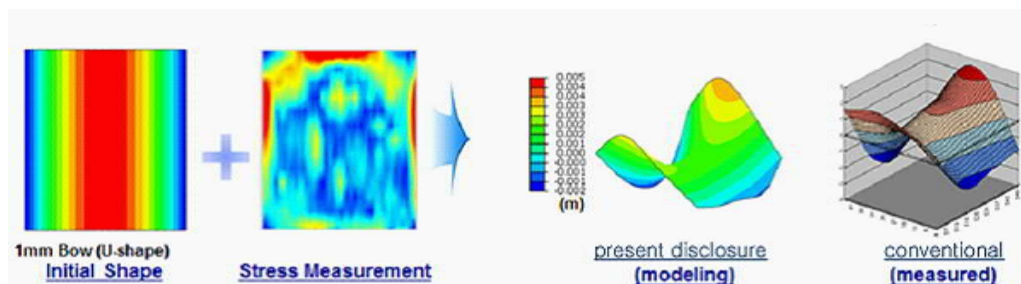
[0058] 또한 무중력 형상의 자동 예측 및 판단 기술을 개발하여, 실제 공정에서 빠르게 판단하고 적용하는데 큰 도움을 줄 수 있다.

도면

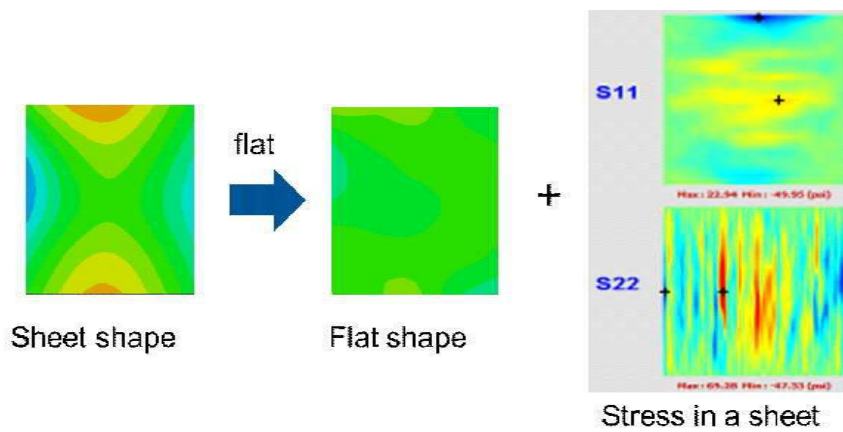
도면1



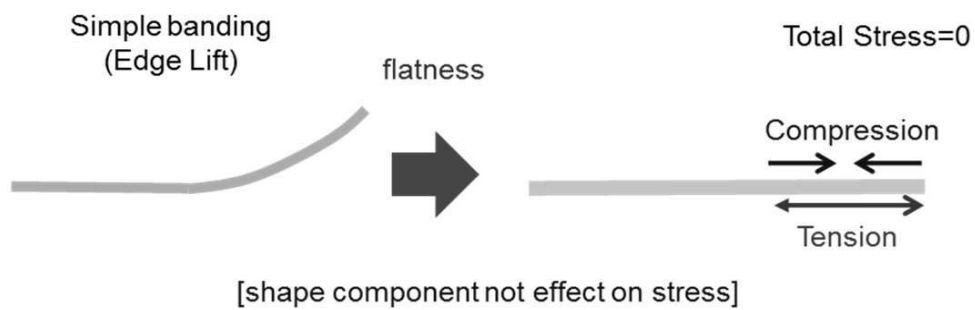
도면2



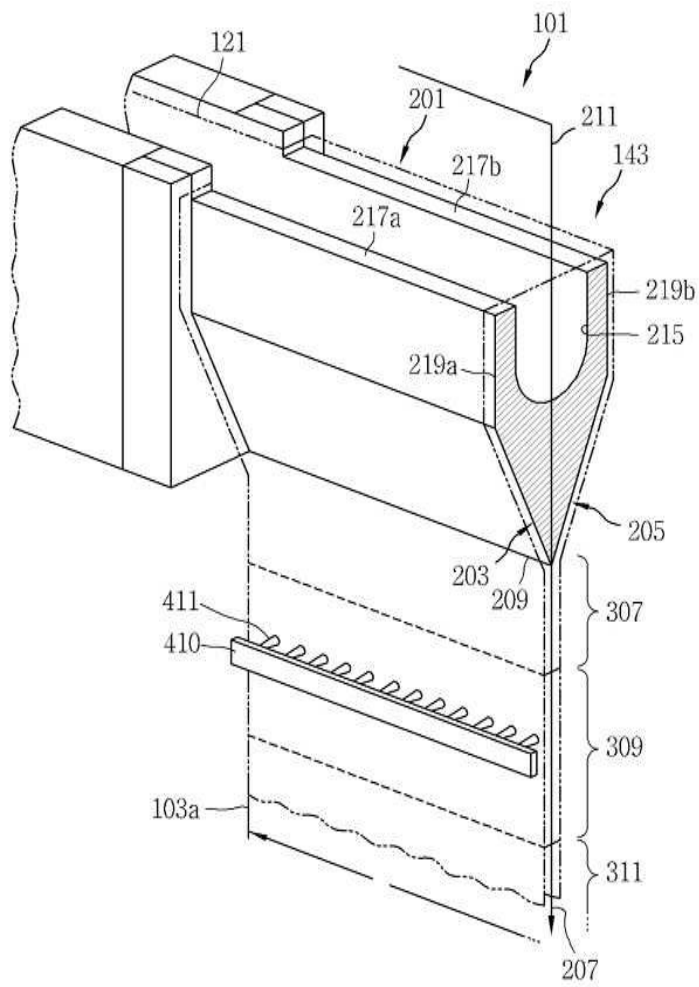
도면3



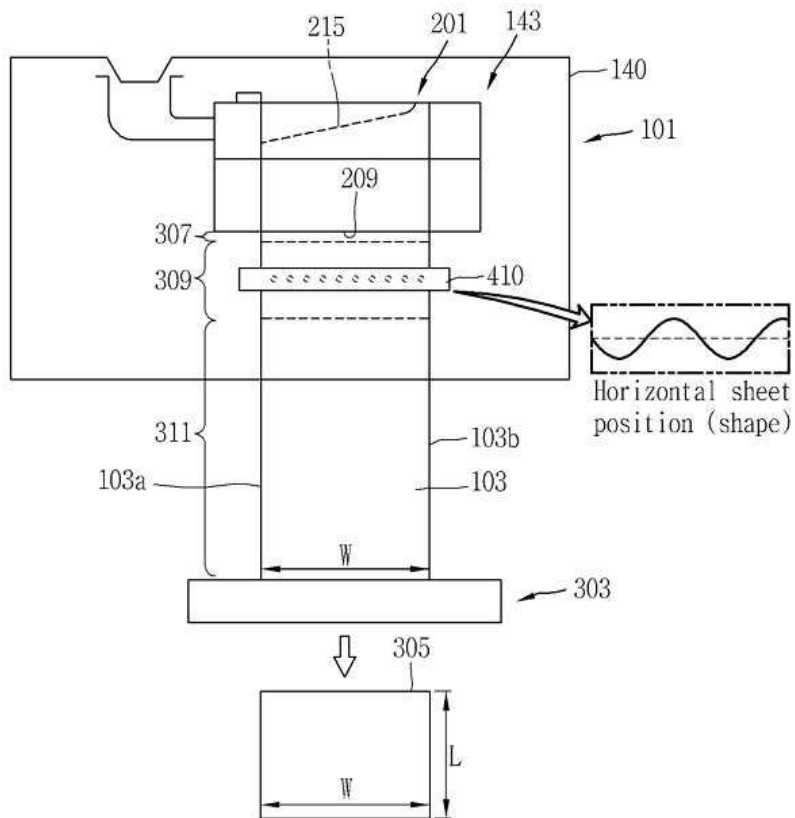
도면4



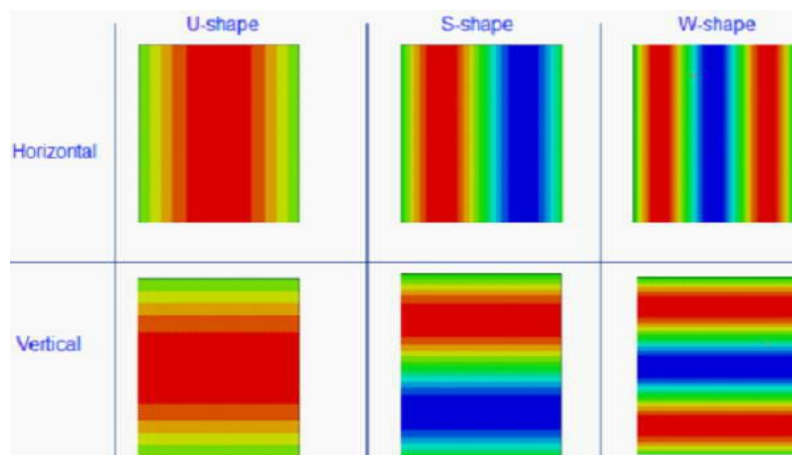
도면5



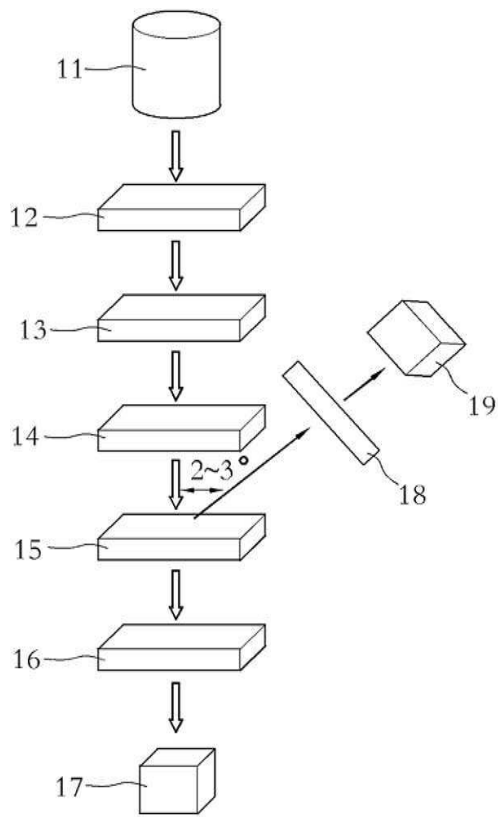
도면6



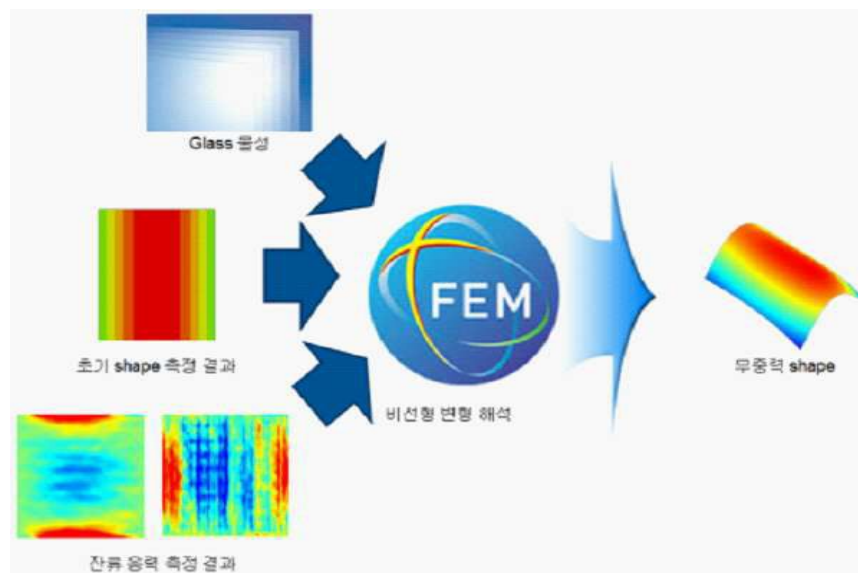
도면7



도면8



도면9



도면10

