



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0101251  
(43) 공개일자 2015년09월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B21D 7/12 (2006.01) B21D 7/14 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2014-0022732  
(22) 출원일자 2014년02월26일  
심사청구일자 2014년02월26일

(71) 출원인  
경상대학교산학협력단  
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)  
(72) 발명자  
전만수  
경상남도 사천시 정동면 여옥길 36 송보파인빌  
107동 1202호  
남찬희  
울산광역시 울주군 언양읍 니리미3길 5 삼흥빌라  
A동 202호  
김봉수  
경상남도 창원군 길곡면 신촌1길 10  
(74) 대리인  
특허법인 태웅

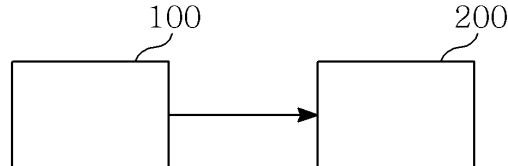
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **시물레이션 장치**

**(57) 요약**

본 발명의 시물레이션 장치는 가공물이 구부러지는 굽힘 공정의 시물레이션에 필요한 해석 모델을 생성하는 생성부를 포함하고, 상기 해석 모델에는 상기 가공물에서 상기 굽힘 공정으로 구부러지는 굽힘 구간을 가이드하는 굽힘 암(arm)이 마련될 수 있다.

**대표도** - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013-0237

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 지역혁신인력양성사업

연구과제명 (3차년도) 롤피어싱과 중공반경단조 공법을 이용한 친환경·고효율·저비용 스펀들 요소 부품의 개발

기 여 율 50/100

주관기관 한국연구재단

연구기간 2013.04.01 ~ 2014.03.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013-0485

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 산학협력단 선도대학 육성사업(LINC)

연구과제명 기술개발과제] 냉간 밴딩 공정 시뮬레이션 기술개발 및 이를 이용한 원형 H-빔 개발

기 여 율 50/100

주관기관 한국연구재단

연구기간 2013.06.01 ~ 2013.12.31

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

가공물이 구부러지는 굽힘 공정의 시뮬레이션에 필요한 해석 모델을 생성하는 생성부;를 포함하고,  
상기 해석 모델에는 상기 가공물에서 상기 굽힘 공정으로 구부러지는 굽힘 구간을 가이드하는 굽힘 암(arm)이 마련되는 시뮬레이션 장치.

### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 굽힘 구간 중 적어도 일부는 상기 가공물의 외부에 마련된 회전축을 중심으로 하는 원호를 따라 구부러지고,  
상기 굽힘 암은 상기 원호를 따라 연장되는 시뮬레이션 장치.

### 청구항 3

제2항에 있어서,  
상기 가공물은 상기 굽힘 암에 상대 운동하고,  
상기 상대 운동에 의해 이루어진 상기 굽힘 공정에 대한 분석이 완료되면 상기 굽힘 암은 상기 상대 운동한 만큼 상기 굽힘 암을 따라 운동하는 시뮬레이션 장치.

### 청구항 4

제1항에 있어서,  
상기 굽힘 암에는 상기 가공물이 통과하는 중공이 마련되고,  
상기 중공은 상기 가공물의 외부에 마련된 회전축을 중심으로 하는 원호를 따라 연장되며,  
상기 중공은 상기 가공물의 단면과 동일하게 형성되는 시뮬레이션 장치.

### 청구항 5

제1항에 있어서,  
상기 굽힘 구간 중 적어도 일부는 상기 가공물의 외부에 마련된 회전축을 중심으로 하는 원호를 따라 구부러지고,  
상기 굽힘 암에는 상기 회전축으로부터 방사상으로 연장되는 암부 및 상기 굽힘 구간을 감싸고 상기 원호를 따라 연장되는 그래프가 마련되며,  
상기 굽힘 암은 상기 회전축을 중심으로 회전 가능한 시뮬레이션 장치.

### 청구항 6

제1항에 있어서,  
상기 해석 모델에는 상기 가공물을 제1 방향으로 가압하는 가압 모듈, 상기 가공물이 상기 제1 방향으로 이동하

도록 가이드하는 가이드 모듈, 상기 가공물을 가열하는 가열 모듈이 마련되고,

상기 제1 방향을 따라 상기 가압 모듈, 상기 가이드 모듈, 상기 가열 모듈 및 상기 굽힘 압이 순서대로 배열되는 시뮬레이션 장치.

## 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 굽힘 공정에서 상기 가공물을 구부리는 모멘트를 적용하는 모멘트부;를 포함하고,

상기 모멘트는 상기 굽힘 압의 형상 또는 위치에 상관없이 상기 가공물과 상기 굽힘 압 간의 마찰력만으로 결정되는 시뮬레이션 장치.

## 청구항 8

가공물이 구부러지는 굽힘 공정의 시뮬레이션에 필요한 해석 모델을 생성하는 생성부;를 포함하고,

상기 해석 모델에는 상기 가공물이 통과하는 중공이 형성된 굽힘 압이 마련되며,

상기 굽힘 압의 기하학적 경계 조건과 역학적 경계 조건이 분리되도록 상기 굽힘 압은 상기 가공물이 구부러진 곡률과 동일한 곡률로 형성되는 시뮬레이션 장치.

## 청구항 9

가공물이 구부러지는 굽힘 공정의 시뮬레이션에 필요한 해석 모델을 생성하는 생성부; 및

상기 굽힘 공정에서 상기 가공물을 구부리는 모멘트를 적용하는 모멘트부;를 포함하고,

상기 해석 모델에는 상기 가공물이 통과하는 중공이 형성된 굽힘 압이 마련되며,

상기 굽힘 압과 상기 가공물의 굽힘 구간이 동일한 가상의 원호를 따라 연장됨으로써 상기 모멘트는 상기 가공물과 상기 굽힘 압 간의 마찰력만으로 결정되는 시뮬레이션 장치.

## 명세서

### 기술분야

[0001] 본 발명은 가공물이 구부러지는 굽힘 공정을 모의하는 시뮬레이션 장치에 관한 것이다.

### 배경기술

[0002] 소성 가공은 물체의 소성을 이용해서 변형시켜 갖가지 모양을 만드는 가공법이다.

[0003] 소성 가공은 열 또는 압력 등의 외부 에너지를 물체에 가해 물체의 응력 상태를 항복 규준에 적절하게 도달시키는 것을 전제로 한다. 소성 가공을 통해 물체를 초기 설계치로 가공하기 위해서는 적절한 금형을 선택하고, 가공에 필요한 에너지를 책정하는 등 정확한 가공 환경을 도출할 필요가 있다.

[0004] 이러한 가공 환경의 도출을 위해 다양한 금형을 마련하고 다양한 크기의 에너지를 다양한 방향으로 물체에 인가하는 경험적 방법이 사용될 수 있다. 그러나, 이러한 방식에 따르면 소성 가공된 물체를 재이용하기 곤란하므로 자원의 낭비가 심한 문제가 있다. 또한, 적절한 가공 환경의 도출까지 많은 시간이 소요된다.

[0005] 이러한 문제는 물체를 구부리는 공정에 대해서도 똑같이 발생한다.

[0006] 한국공개특허공보 제2006-0066642호에는 두꺼운 시트면을 내주에 설치할 수 있는 캡 형상 부재의 성형 방법이 개시되고 있으나, 물체를 구부리는 공정을 모의하거나 유동 상태를 확인하는 방안은 개시되지 않고 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제2006-0066642호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 가공물이 구부러지는 굽힘 공정을 모의하는 시뮬레이션 장치를 제공하기 위한 것이다.

[0009] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 시뮬레이션 장치는 가공물이 구부러지는 굽힘 공정의 시뮬레이션에 필요한 해석 모델을 생성하는 생성부를 포함하고, 상기 해석 모델에는 상기 가공물에서 상기 굽힘 공정으로 구부러지는 굽힘 구간을 가이드하는 굽힘 암(arm)이 마련될 수 있다.

[0011] 본 발명의 시뮬레이션 장치는 가공물이 구부러지는 굽힘 공정의 시뮬레이션에 필요한 해석 모델을 생성하는 생성부를 포함하고, 상기 해석 모델에는 상기 가공물이 통과하는 중공이 형성된 굽힘 암이 마련되며, 상기 굽힘 암의 기하학적 경계 조건과 역학적 경계 조건이 분리되도록 상기 굽힘 암은 상기 가공물이 구부러진 곡률과 동일한 곡률로 형성될 수 있다.

[0012] 본 발명의 시뮬레이션 장치는 가공물이 구부러지는 굽힘 공정의 시뮬레이션에 필요한 해석 모델을 생성하는 생성부 및 상기 굽힘 공정에서 상기 가공물을 구부리는 모멘트를 적용하는 모멘트부를 포함하고, 상기 해석 모델에는 상기 가공물이 통과하는 중공이 형성된 굽힘 암이 마련되며, 상기 굽힘 암과 상기 가공물의 굽힘 구간이 동일한 가상의 원호를 따라 연장됨으로써 상기 모멘트는 상기 가공물과 상기 굽힘 암 간의 마찰력만으로 결정될 수 있다.

### 발명의 효과

[0013] 본 발명의 시뮬레이션 장치에 따르면 가공물의 굽힘 공정을 용이하게 모의할 수 있으며, 정밀도를 높일 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 시뮬레이션 장치를 나타낸 블록도이다.

도 2는 본 발명의 시뮬레이션 장치에서 제공되는 굽힘 암을 나타낸 개략도이다.

도 3은 본 발명의 시뮬레이션 장치를 구성하는 생성부에서 생성한 해석 모델을 나타낸 개략도이다.

도 4와 도 5는 본 발명의 시뮬레이션 장치에서 생성된 굽힘 암 및 그 동작을 나타낸 개략도이다.

도 6은 가공물의 역학적 경계 조건을 나타낸 개략도이다.

도 7은 본 발명의 시뮬레이션 장치에서 형성된 요소망을 나타낸 개략도이다.

도 8은 실제의 굽힘 공정에 사용되는 작업 암을 나타낸 개략도이다.

도 9는 굽힘 공정에 사용되는 작업 암과 가공물의 경계 조건을 나타낸 개략도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 실시예를 상세히 설명한다. 이 과정에서 도면에 도시된 구성요소의 크기나 형상 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시될 수 있다. 또한, 본 발명의 구성 및 작용을 고려하여 특별히 정의된 용어들은 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 한다.
- [0016] 도 1은 본 발명의 시뮬레이션 장치를 나타낸 블록도이다.
- [0017] 도 1에 도시된 시뮬레이션 장치는 생성부(100), 모멘트부(200)를 포함할 수 있다.
- [0018] 생성부(100)는 가공물(10)이 구부러지는 굽힘 공정의 시뮬레이션(모의, simulation)에 필요한 해석 모델을 생성할 수 있다.
- [0019] 굽힘 공정은 일방향으로 연장되는 파이프(pipe), 빔(beam) 등의 가공물(10)을 구부리는 공정일 수 있다.
- [0020] 가공물(10)의 길이 방향을 따라 가공물(10)을 가압하면서 국부(가공물의 일부)를 유도 가열하고, 소성 가공을 통해 가열된 부분을 구부리는 굽힘 공정은 시뮬레이션하기가 매우 어렵다. 왜냐하면 이러한 작업 공정을 구현하는 모델링의 방안이 제시되지 않고 있기 때문이다.
- [0021] 굽힘 공정의 모의 및 분석에 필요한 해석 모델을 생성하기 위해 생성부(100)는 가상의 굽힘 암(arm)을 이용할 수 있다. 다시 말해 생성부(100)에서 생성된 해석 모델에는 가상의 굽힘 암(170)이 마련될 수 있다.
- [0022] 굽힘 암(170)은 가공물(10)에서 굽힘 공정으로 구부러지는 굽힘 구간을 가이드할 수 있다.
- [0023] 굽힘 암(170)은 실제의 굽힘 공정에서 사용되는 작업 암과 일부 유사할 수 있다.
- [0024] 도 8은 실제의 굽힘 공정에 사용되는 작업 암을 나타낸 개략도이다.
- [0025] 살펴보면, 작업 암에는 고정축(79)을 기준으로 회전하는 회전부(71), 회전부(71)의 단부에 마련되고 가공물(10)이 관통하여 슬라이딩되는 슬라이딩부(73)가 마련된다.
- [0026] 가공물(10)이 길이 방향을 따라 가압되면 길이 방향을 따라 이동하게 되는데, 이때 슬라이딩부(73)도 가공물(10)과 함께 이동한다. 그런데 슬라이딩부(73)는 회전부(71)와 일체로 형성되므로 가공물(10)의 길이 방향으로 이동하는 대신 고정축(79)을 기준으로 하여 소정 각도로 회전하게 된다. 이렇게 소정 각도로 회전한 슬라이딩부(73)를 통과할 수 밖에 없는 가공물(10)은 결국 구부러지게 된다.
- [0027] 작업 암의 슬라이딩부(73)는 도 8과 같이 가공물(10)의 길이 방향을 따라 직선으로 형성되고 있다. 슬라이딩부(73)를 그대로 모델링하면 도 9와 같은 문제가 발생한다.
- [0028] 도 9는 굽힘 공정에 사용되는 작업 암과 가공물(10)의 경계 조건을 나타낸 개략도이다. 도 9에는 작업 암을 관통하는 가공물(10)의 단면적이 작업 암의 슬라이딩부(73)보다 작은 것으로 묘사하였다. 실제로는 슬라이딩부(73)와 가공물(10)의 단면적은 거의 유사할 수 있다. 그렇다 하더라도 가공물(10)의 단면적이 슬라이딩부(73)보다 작은 경우와 유사한 경계 조건이 형성될 것이다.
- [0029] 살펴보면, 슬라이딩부(73)에서 서로 다른 부위 h1, h2, h3에 따라 가공물(10)에 가해지는 힘이 다를 것이 자명하다. 그리고 이러한 힘들은 슬라이딩부(73)의 역학적 경계 조건에 해당하는 것으로 고정축(79)을 중심으로 회전하는 슬라이딩부(73)의 위치에 따라서 변할 것이다.
- [0030] 기하학적 경계 조건에 해당하는 슬라이딩부(73)의 위치에 따라 슬라이딩부(73)에서 h1, h2, h3 부위에 가해지는 힘이 유기적으로 변하므로, 작업 암의 기하학적 경계 조건과 역학적 경계 조건을 분리하는 것이 불가능하다. 다시 말해 작업 암을 그대로 모델화할 경우 가공물(10)에서 구부러지는 구간에 가해지는 힘을 산정하는 것이 매우 어렵다. 이러한 이유로 굽힘 공정의 모의에 필요한 해석 모델을 작업 암으로 구성할 수 없다.
- [0031] 정리하면, 시뮬레이션 과정에 작업 암을 적용시킬 경우 가공물(10)에서 작업 암에 끼워진 부분에 대한 모의가 불가능하다.
- [0032] 이에 대한 방안으로 가공물(10)에서 작업 암에 끼워진 부분에 대한 모의는 포기하고 나머지 부위에 대한 모의를

진행할 수 있다.

- [0033] 일예로 도 8과 같이 작업 암을 가공물(10)에 일체화시켜 작업 암까지 유한 요소 해석의 대상으로 삼고 있다. 가공물(10)의 구부러짐을 포함하는 소성 변형의 모의는 가공물(10)의 유동 선도를 생성 및 추적하는 것으로 이루어질 수 있다. 그런데 작업 암까지 유한 요소 해석의 대상으로 삼는 경우 가공물(10)뿐만 아니라 작업 암에 대해서도 유동 선도를 생성하고 추적해야 하는 문제가 있다. 이에 따르면 모의 시간이 길어지는 문제가 있다. 그리고, 실제의 공정과 달리 슬라이딩부(73)가 가공물(10)의 일부분에 고정된 상태에서 모의가 이루어져야 한다. 즉, 가공물의 변화를 모의하고자 하는 환경에서 가공물 외의 다른 요소의 변화도 반영되므로 모의 결과의 신뢰성이 낮아지는 문제가 있다.
- [0034] 이러한 문제를 해소하기 위해 생성부(100)는 작업 암과 다른 굽힘 암(170)을 제공할 수 있다.
- [0035] 도 2는 본 발명의 시뮬레이션 장치에서 제공되는 굽힘 암(170)을 나타낸 개략도이다.
- [0036] 굽힘 공정에 의해 가공물(10)에서 구부러지는 구간을 굽힘 구간이라 할 때, 굽힘 구간의 미소한 부분을 생각하면 원호로 간주할 수 있다. 다시 말해 굽힘 구간 중 적어도 일부는 가공물(10)의 외부에 마련된 회전축(179)을 중심으로 하는 원호를 따라 구부러질 수 있다. 이때, 굽힘 암(170)은 원호를 따라 연장될 수 있다.
- [0037] 일예로, 굽힘 암(170)에는 가공물(10)이 통과하는 중공(174)이 마련될 수 있다. 이때 중공(174)은 가공물(10)의 외부에 마련된 회전축(179)을 중심 0로 하는 원호를 따라 연장되며, 가공물(10)의 단면과 동일하게 형성될 수 있다. 가공물(10)의 단면과 동일하게 형성된다는 것은 가공물(10)의 단면 형상 및 단면적이 동일한 것일 수 있다.
- [0038] 이러한 구성의 굽힘 암(170)에 따르면 굽힘 암(170)과 회전축(179)을 포함하는 가상의 평면이 이루는 교선은 굽힘 암(170)의 부위와 상관없이 동일할 수 있다. 도 2에는 가상의 평면으로  $\theta$  각도만큼 차이나는 ①과 ②가 개시되고 있다. 평면 ①, ②로 절단된 각 굽힘 암(170)의 각 단면(중공 174', 174'')은 원형으로 서로 동일하다.
- [0039] 이와 같이 형성된 굽힘 암(170)은 가공물(10)이 굽힘 암(170)을 따라 회전 운동을 하되 그 이외의 기하학적 경계 조건을 부여할 수 없도록 할 수 있다.
- [0040] 도 3은 본 발명의 시뮬레이션 장치를 구성하는 생성부(100)에서 생성한 해석 모델을 나타낸 개략도이다.
- [0041] 해당 해석 모델에는 가공물(10)을 제1 방향으로 가압하는 가압 모듈(110), 가공물(10)이 제1 방향으로 이동하도록 가이드하는 가이드 모듈(130), 가공물(10)을 가열하는 가열 모듈(150)이 마련될 수 있다. 이때, 제1 방향을 따라 가압 모듈(110), 가이드 모듈(130), 가열 모듈(150) 및 굽힘 암(170)이 순서대로 배열될 수 있다.
- [0042] 도 3에서 제1 방향은 아래로부터 위를 향하는 방향일 수 있다.
- [0043] 가이드 모듈(130)은 측면 형상이 모래 시계 형상일 수 있으며 제1 방향에 수직한 방향으로 2개의 가이드 모듈(130)이 마련되고 두 가이드 모듈(130) 사이로 가공물(10)이 지나갈 수 있다.
- [0044] 가이드 모듈(130)은 제1 방향을 따라 다른 위치에 복수로 마련될 수 있다. 이를 통해 가이드 모듈(130)은 가압 모듈(110)에서 인가된 압력에 의해 가공물(10)이 제1 방향으로 이동하도록 유도할 수 있다.
- [0045] 가열 모듈(150)은 가공물(10)에서 굽힘 구간을 국부 유도 가열시킴으로써 굽힘 구간의 온도 상승을 강제적으로 유도하여 가공물(10)에서 다른 부위에 비하여 굽힘 구간이 보다 용이하게 구부러질 수 있는 환경을 제공할 수 있다.
- [0046] 도 4와 도 5는 본 발명의 시뮬레이션 장치에서 생성된 굽힘 암(170) 및 그 동작을 나타낸 개략도이다.
- [0047] 굽힘 암(170)은 회전축(179)을 중심으로 회전할 수 있다. 이를 위해 굽힘 암(170)에는 회전축(179)으로부터 방사 방향으로 연장되는 암부(171) 및 굽힘 구간을 감싸고 원호를 따라 연장되는 그래프부(173)가 마련될 수 있다.
- [0048] 가공물(10)은 굽힘 암(170)에 상대 운동할 수 있다. 이는 가공물(10)이 굽힘 암(170)에 마련된 중공(174)을 통해 슬라이딩될 수 있음을 의미할 수 있다.
- [0049] 상대 운동에 의해 이루어진 굽힘 공정에 대한 분석이 완료되면 굽힘 암(170)은 가공물(10)이 상대 운동한 만큼 굽힘 암(170)을 따라 운동할 수 있다. 그 과정이 도 4 및 도 5에 개시되고 있다.
- [0050] 먼저 도 4에는 가공물(10)에서 굽힘 구간 ④ 중 일부가 그래프부(173)에 의해 감싸여지고 있다. 이때 굽힘 공정에 대한 분석은 가공물(10)에서 p 지점을 포함하여 그래프부(173)에 의해 둘러싸인 부분에 대해 수행될 수 있다. 이

상태에서 가압 모듈(110)의 구동에 의해 가공물(10)이 화살표 방향으로 움직인다면 소정 시간 경과 후 가공물(10)의 p 지점은 도 5와 같이  $\Delta\theta$ 만큼 회전 이동된 상태가 된다. 그런데 이 상태에서 그랩부(173)가 도 4의 위치를 고수한다면 그랩부(173)에서 도 5의 p 지점과 접촉하는 부위는 도 4와 달라질 것이다. 시뮬레이션상 가공물(10)의 p 지점의 변화를 신뢰성 있게 추적하기 위해 p 지점에 접촉하는 그랩부(173)의 부위는 동일한 것이 좋다. 거시적으로 보면 그랩부(173)가 가공물(10)의 굽힘 구간에 고정된 채로 가공물(10)과 함께 이동하는 것으로 보일 수 있으나, 미시적으로 가공물(10)이 그랩부(173)에 대해 상대 이동한 후에 위치가 변경된 가공물(10)의 분석을 위해 그랩부(173)가 따라서 이동한 것이다. 이러한 과정을 통하여 가공물(10) 중심의 요소망으로 고정밀도의 결과를 짧은 시간에 얻을 수 있다. 예를 들어 가공물(10)에서 p 지점에 대한 분석만 수행하고 p 지점에 대한 분석 결과를 가공물(10)의 굽힘 구간 전체에 적용할 수 있다.

[0051] 가공물(10)을 구부리는데 필요한 모멘트는 모멘트부(200)에서 처리될 수 있다.

[0052] 모멘트부(200)는 굽힘 공정에서 가공물(10)을 구부리는 모멘트를 적용할 수 있다. 해석 모델에 위에서 살펴본 굽힘 압(170)이 마련됨으로써 모멘트는 굽힘 압(170)의 형상 또는 위치에 상관없이 가공물(10)과 굽힘 압(170) 간의 마찰력만으로 결정될 수 있다.

[0053] 굽힘 압(170)의 형상 또는 위치는 기하학적 경계 조건에 해당하는 것이고, 마찰력은 역학적 경계 조건에 해당하는 것이므로 본 발명의 생성부(100) 및 모멘트부(200)에 의하면 기하학적 경계 조건과 역학적 경계 조건을 명확하게 분리시킬 수 있다. 이는 가공물(10)이 구부러진 곡률과 동일한 곡률로 형성된 굽힘 압(170)에 의한 것으로 앞에서는 특히 굽힘 압(170)이 원호를 추종하도록 형성된 경우를 설명하였다.

[0054] 기하학적 경계 조건과 역학적 경계 조건이 분리되면 굽힘 공정의 모델링 및 시뮬레이션이 매우 단순해질 수 있다.

[0055] 다시 말해, 굽힘 압(170)과 가공물(10)의 굽힘 구간이 동일한 가상의 원호를 따라 연장됨으로써 모멘트는 가공물(10)과 굽힘 압(170) 간의 마찰력만으로 결정될 수 있다.

[0056] 도 6은 가공물(10)의 역학적 경계 조건을 나타낸 개략도이다. 도 6에는 가공물(10)에서 그랩부(173)를 통과하는 굽힘 구간이 개시된다.

[0057] 설명의 편의상 굽힘 공정의 기하학적 조건이 대칭이라고 가정하였고, 그 대칭면에서의 경계 조건을 나타내었다. 굽힘 압(170)과 가공물(10)의 접촉면에서 법선 속도(수직 항력 F2와 관련)가 구속되며, 그 법선 벡터에 수직인 방향으로 마찰력 F1이 작용한다. 법선 방향의 속도 구속 조건은 굽힘 압(170)의 회전 운동을 반영하며, 마찰력은 굽힘 압(170)에 의하여 가해지는 역방향 모멘트 또는 순방향 모멘트를 생성할 수 있다. 따라서, 도 6의 경계 조건으로 굽힘 압(170)의 기하학적 역할과 역학적 역할을 완전히 분리시킴으로써 굽힘 공정의 시뮬레이션이 가능하다.

[0058] 모멘트는 마찰력과 반지름에 비례할 수 있으며, 이때의 반지름은 가상의 원호에 대한 반지름(도 2의 R)일 수 있다.

[0059] 순방향 모멘트는 마찰력의 방향이 가공물(10)의 이동 방향과 반대인 경우이고, 역방향 모멘트는 마찰력의 방향이 가공물(10)의 이동 방향과 동일한 경우이다. 순방향 모멘트는 가공물(10)이 이동하려는 힘을 방해하는 것일 수 있으며, 역방향 모멘트는 가공물(10)을 이동시키는 힘을 제공하는 것일 수 있다. 본 발명의 생성부(100)에 의해 생성된 굽힘 압(170)에 따르면 가공물(10)에 가해지는 모멘트를 마찰력만을 이용하여 구할 수 있다. 왜냐하면 모멘트를 결정하는 다른 인자인 반지름 R은 상수이기 때문이다.

[0060] 정리하면, 굽힘 압(170)에 의하면 모멘트를 유발하는 외력으로 오로지 마찰력만이 관여하도록 할 수 있다. 이에 따르면 가공물(10)의 굽힘 공정을 해석하는 것이 용이해질 것은 자명하다.

[0061] 또한, 굽힘 압(170)에 대해서 원호의 반지름과 마찰력만 알면 되므로, 작업 압까지 요소 해석의 대상으로 삼아야 하는 도 8의 경우와 달리 실질적인 해석 대상이 되는 가공물(10)만을 요소 해석의 대상으로 삼아 시뮬레이션을 구현할 수 있다.

[0062] 모멘트부는 사용자의 요구에 따라 마찰력을 결정하는 마찰 계수 또는 마찰 상수를 변경시킬 수 있다. 이때의 마찰 계수 또는 마찰 상수는 이론과 다르게 0 또는 음수가 될 수도 있으므로 사용자가 원하는 다양한 환경의 굽힘 공정을 모의할 수 있다.

[0063] 도 7은 본 발명의 시뮬레이션 장치에서 형성된 요소망을 나타낸 개략도이다.

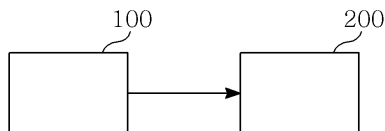
- [0064] 살펴보면, 굽힘 압(170)은 요소망에서 배제되고, 실제의 관심사에 해당하는 가공물(10)에만 요소망이 형성되고 있음을 알 수 있다.
- [0065] 따라서, 추후 분석부 등에서는 짧은 시간에 굽힘 공정 환경에서 가공물(10)의 유동선도를 용이하게 획득할 수 있다. 도 8의 경우 분석부에서는 작업 압의 유동 선도까지 생성하고 이를 가공물(10)로부터 분리하는 복잡한 작업을 수행해야 하는 것과 비교하여 매우 빠르고 정확하게 가공물(10)의 유동 선도를 획득할 수 있음은 자명하다.
- [0066] 또한, 시뮬레이션에 필요한 모든 기하학적 정보를 2차원 도면화할 수 있다.
- [0067] 도 8의 시뮬레이션 방식에 따르면 3차원상으로 슬라이딩부(73)의 각 부위에 가해지는 힘이 모두 다르므로 시뮬레이션 과정을 2차원 도면으로 나타내기 어렵다. 그러나, 본 발명에 따르면 3차원적으로 적용되는 마찰력을 굽힘 구간에서 바깥쪽과 안쪽으로 양분하여 적용할 수 있으므로 2차원 도면으로 나타내는 것이 가능하다.
- [0068] 이상에서 본 발명에 따른 실시예들이 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 범위의 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 다음의 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

## 부호의 설명

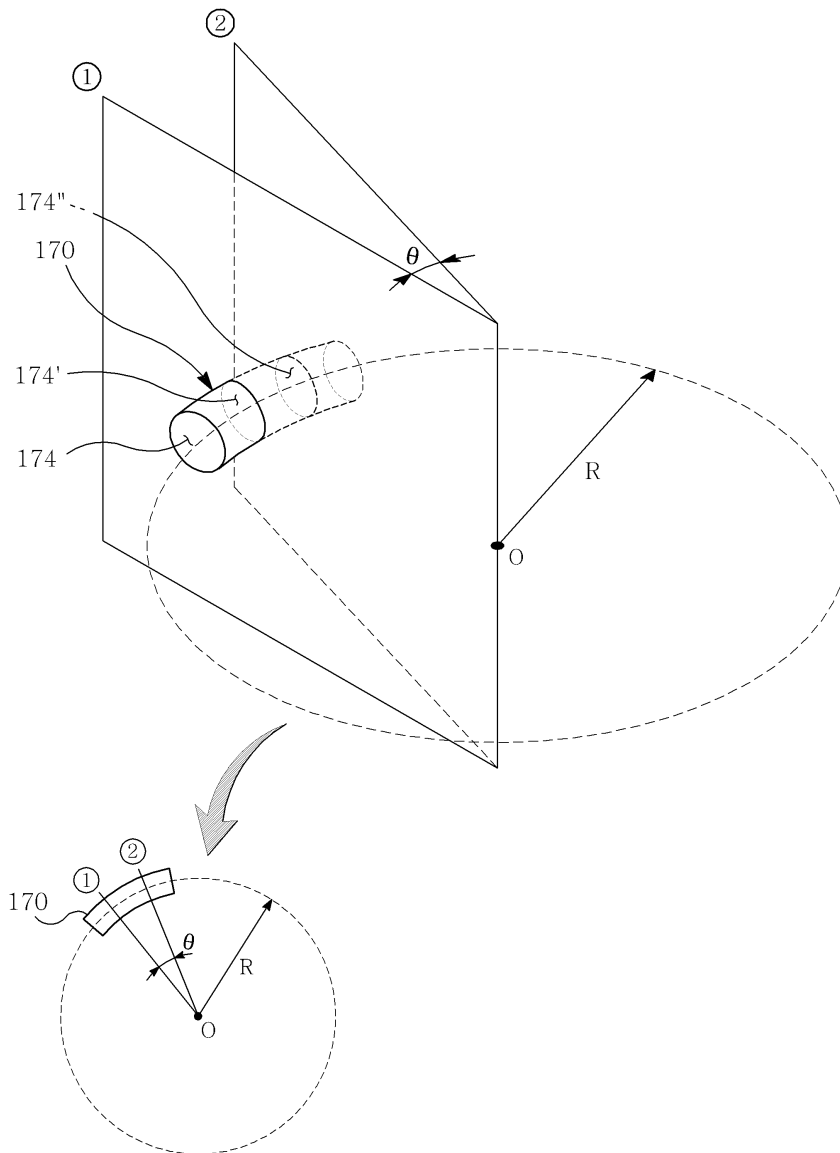
- [0069] 100...생성부 110...가압 모듈  
130...가이드 모듈 150...가열 모듈  
170...굽힘 압 171...압부  
173...그랩부 174...중공  
179...회전축 200...모멘트부

## 도면

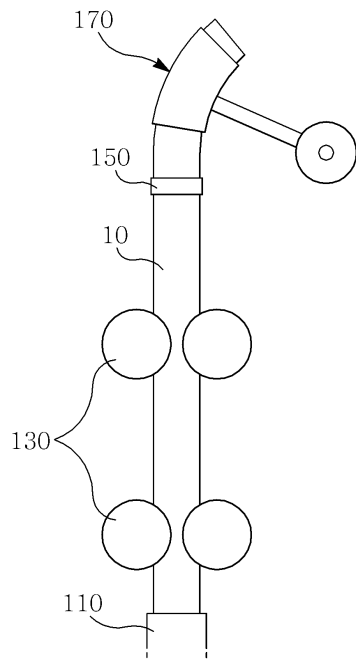
### 도면1



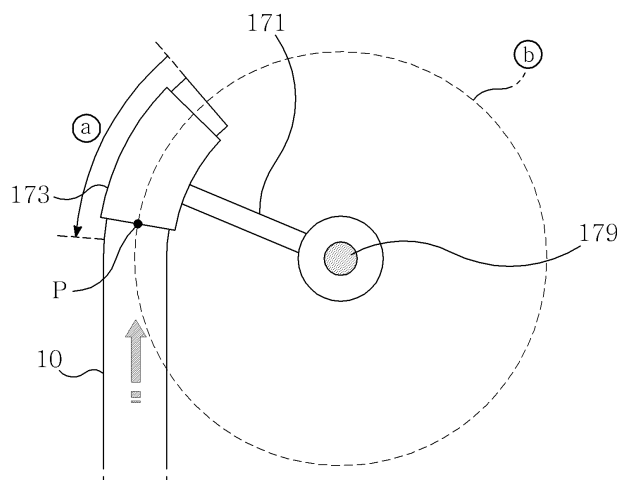
도면2



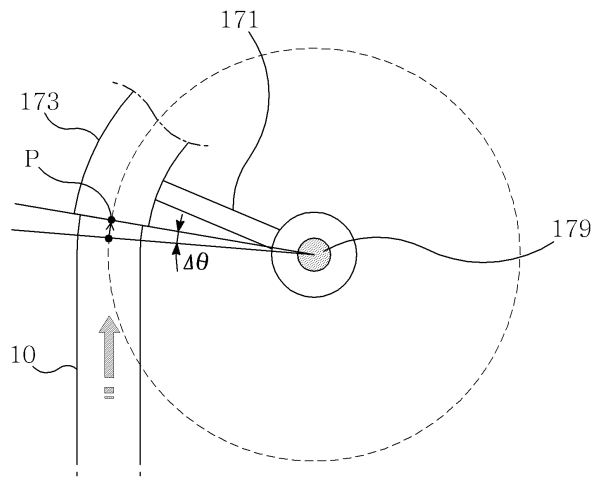
도면3



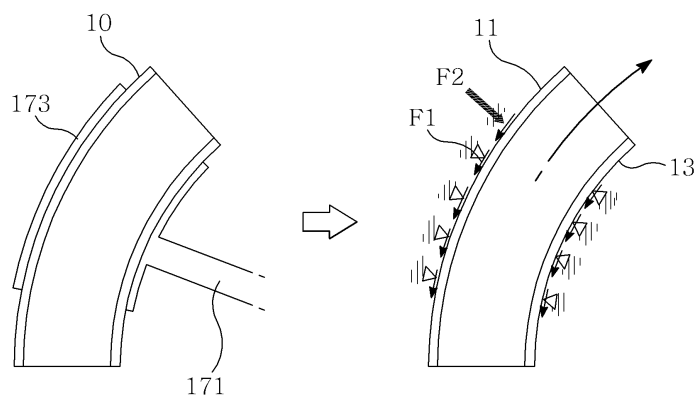
도면4



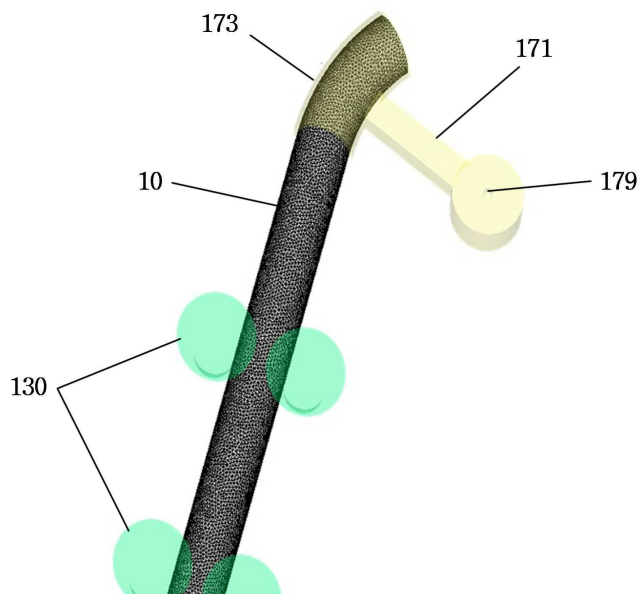
도면5



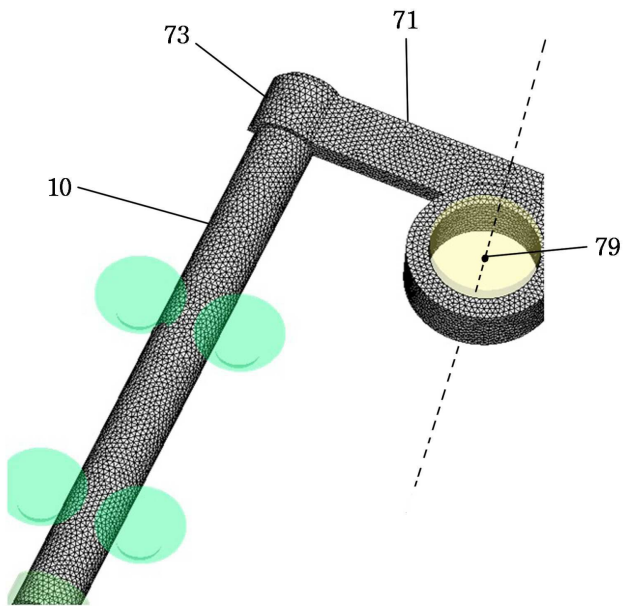
도면6



도면7



도면8



도면9

