



등록특허 10-2207639



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월25일

(11) 등록번호 10-2207639

(24) 등록일자 2021년01월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

*B29C 64/118* (2017.01) *B29C 64/295* (2017.01)

*B33Y 40/00* (2020.01)

(52) CPC특허분류

*B29C 64/118* (2017.08)

*B29C 64/295* (2017.08)

(21) 출원번호 10-2017-0130367

(22) 출원일자 2017년10월11일

심사청구일자 2020년10월07일

(65) 공개번호 10-2018-0045801

(43) 공개일자 2018년05월04일

(30) 우선권주장

15/334,851 2016년10월26일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US20140291886 A1

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 이상호

(54) 발명의 명칭 3차원 물질 프린터에서 압출기 헤드용 필라멘트의 열 처리를 촉진하도록 구성된 필라멘트 허터

### (57) 요 약

적층식 제조 시스템은 압출 물질의 필라멘트를 열가소성 물질로 변환하는 허터를 포함한다. 상기 허터는 상기 필라멘트를 수용하기 전에 상기 필라멘트의 단면 형상을 상기 필라멘트의 표면적보다 더 큰 표면적을 갖는 단면 형상으로 변화시키도록 구성된 채널을 구비한다. 상기 허터의 상기 채널은 또한 상기 필라멘트의 중심 부분을 상기 채널의 가열된 벽들을 향해 구동하여, 상기 필라멘트의 상기 중심 부분을 상기 채널의 상기 가열된 벽에 노출시켜, 상기 채널 내 열가소성 물질을 혼합시키도록 구성될 수 있다.

(52) CPC특허분류

*B33Y 40/00* (2013.01)

(72) 발명자

**크리스토퍼, 지. 린**

미합중국 14590 뉴욕주 월코트 리미킬른 로드 5809

**준, 마**

미합중국 14526 뉴욕주 펜필드 치픈햄 드라이브 52

**마크, 에이. 셀룰러**

미합중국 14580 뉴욕주 웹스터 필드크레스트 드라

이브 1531

**케리, 디. 레딩**

미합중국 14564 뉴욕주 빅터 혁슬리 웨이 163

(56) 선행기술조사문현

US20140314954 A1

US20160263822 A1

JP2016518267 A

EP2292413 B1

US20150045182 A1

JP2009532244 A

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

적층식 제조 시스템으로서,

하우징 및 상기 하우징내의 매니폴드를 가진 압출기 헤드로서, 상기 매니폴드는 용융 압출 물질을 저장하도록 구성되고 2 개 이상의 노즐들에 유체적으로 연결되며, 상기 노즐들을 통하여 상기 매니폴드로부터 상기 용융 압출 물질이 방출될 수 있고, 상기 압출기 헤드의 상기 하우징은 상기 하우징내의 상기 매니폴드에 유체적으로 연결되는 상기 하우징의 표면상의 포트를 가지는, 상기 압출기 헤드,

경로를 따라 압출 물질 공급원으로부터 압출 물질을 이동시키도록 구성된 기계식 이동자(mechanical mover)로서, 상기 압출 물질은 제 1 단면 형상을 갖는, 상기 기계식 이동자, 및

채널에 의해 서로 유체적으로 연결되는 입구 및 출구를 가진 히터로서, 상기 입구는 상기 기계식 이동자에 의해 상기 압출 물질 공급원으로부터 이동된 상기 압출 물질을 수용하고 상기 압출 물질을 상기 채널내로 향하게 하도록 상기 압출 물질의 상기 경로와 정렬되며, 상기 히터는 상기 채널의 상기 입구와 상기 채널의 상기 출구 사이에서 상기 채널내의 상기 압출 물질을 용융시켜 상기 채널내에 용융 압출 물질을 형성하도록 구성된 적어도 하나의 가열 소자를 포함하고, 상기 히터의 상기 채널의 상기 출구는 상기 압출기 헤드의 상기 하우징상의 상기 포트에 유체적으로 연결되어 상기 채널내에 형성된 상기 용융 압출 물질을 상기 채널의 출구로부터 상기 포트를 통하여 상기 매니폴드내로 향하게 하며, 상기 히터의 상기 채널은 상기 입구에서 상기 제 1 단면 형상 및 상기 입구와 상기 출구 사이의 위치에서 제 2 단면 형상을 갖도록 구성되며, 상기 제 1 단면 형상은 제 1 높이 및 제 1 폭을 가지고, 상기 제 2 단면 형상은 제 2 높이 및 제 2 폭을 가지며, 상기 제 2 단면 형상의 상기 제 2 높이는 상기 제 1 단면 형상의 상기 제 1 높이 미만이고, 상기 제 2 단면 형상의 상기 제 2 폭은 상기 제 1 단면 형상의 상기 제 1 폭 초과인, 상기 히터

를 포함하는, 적층식 제조 시스템.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 입구에서 상기 채널의 상기 제 1 단면 형상은 원형이고, 상기 채널의 상기 제 2 단면 형상은 다각형 단면 형상인, 적층식 제조 시스템.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 입구에서 상기 채널의 상기 제 1 단면 형상은 원형이고, 상기 채널의 상기 제 2 단면 형상은 비-원형 곡선 단면 형상인, 적층식 제조 시스템.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 입구에서 상기 채널의 상기 제 1 단면 형상은 원형이고, 상기 채널의 상기 제 2 단면 형상은 한 쌍의 비-원형 곡선 단면 형상들이며, 원형의 상기 제 1 단면 형상의 높이 미만인 상기 제 2 단면 형상의 상기 제 2 높이는 상기 한 쌍의 비-원형 곡선 단면 형상들 사이의 결합부에 위치되는, 적층식 제조 시스템.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 한 쌍의 비-원형 곡선 단면 형상들 사이의 결합부는 각각의 비-원형 곡선 단면 형상의 중간에 생성되는, 적층식 제조 시스템.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 채널의 상기 입구에서의 제 1 벽은 상기 제 2 단면 형상이 시작하는 위치까지 연장되는 미리 결정된 길이에 대해서 필라멘트의 일 표면에 평행하고, 상기 입구로부터 연장되는 제 2 벽은 상기 미리 결정된 길이에 대해서 미리 결정된 각도로 비스듬해서, 상기 제 2 벽은 상기 채널의 상기 필라멘트의 상기 일 표면 쪽으로 또는 상기 일 표면으로부터 멀어지게 연장되는, 적층식 제조 시스템.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 히터는 일체형 유닛이고, 상기 히터내의 상기 채널은 상기 채널의 상기 입구에서부터 상기 채널의 상기 출구까지 상기 채널의 길이의 적어도 일부를 따라서 곡률이 변하는, 적층식 제조 시스템.

#### 청구항 8

삭제

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

삭제

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 3차원 물체 프린터에 사용되는 압출기에 관한 것으로, 보다 상세하게는 3차원 물체 프린터에서 압출되는 필라멘트를 용융시키는 히터에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 적층식 제조(additive manufacturing)라고도 알려진 3차원 인쇄는 사실상 임의의 형상의 디지털 모델로부터 3차원 입체물을 제조하는 공정이다. 많은 3차원 인쇄 기술은 적층식 제조 디바이스가 이전에 중착된 층들 위에 부품의 연속적인 층들을 형성하는 적층식 공정을 사용한다. 이러한 기술 중 일부는 ABS 플라스틱과 같은 압출 물질을 열가소성 물질로 연화 또는 용융시킨 후 미리 결정된 패턴으로 열가소성 물질을 방출하는 압출기 헤드를 사용한다. 프린터는 전형적으로 압출기 헤드를 동작시켜 다양한 형상과 구조를 갖는 3차원 인쇄물을 형성하는 열가소성 물질의 연속적인 층들을 형성한다. 3차원 인쇄물의 각 층이 형성된 후에, 열가소성 물질은 냉각되고 경화되어 이 층을 3차원 인쇄물의 하부 층에 결합시킨다. 이러한 적층식 제조 방법은 절단(cutting)이나 천공(drilling)과 같은 절삭 공정(subtractive process)에 의해 작업물로부터 물질을 제거하는 것에 주로 의존하는 전통적인 물체 형성 기술과 구별된다.

[0003] 이들 적층식 제조 디바이스는 고기능 3차원(3D) 부품을 생산할 수 있지만, 전형적으로 제조 시간이 상당히 길 수 있다. 제조 공정을 가속시키는 하나의 개선은 다중 채널 압출기의 개발이었다. 이러한 유형의 압출기에서, 압출기 물질의 필라멘트는 히터에 공급되고 이 히터는 필라멘트를 용융 또는 연화시켜 열가소성 물질을 형성하고 이 열가소성 물질은 이 열가소성 물질의 압출을 위해 노즐 어레이에 유체적으로 연결된 매니폴드 내로 흐른다. 각 노즐과 매니폴드 사이에 밸브가 설치되어 매니폴드로부터 노즐들 중 하나로 열가소성 물질의 흐름을 제어한다. 이러한 구성은 밸브들이 선택적으로 활성화될 수 있게 하여 열가소성 물질이 매니폴드에 유체적으로 연결된 노즐들 중 단일 노즐, 노즐 그룹 또는 모든 노즐로부터 압출될 수 있다. 밸브들이 동작될 때 요구에 따라 열가소성 물질을 공급하기 위해서는 매니폴드 내에 높은 압력을 요구하고, 표준 압출기용 히터에서 이용 가능한 것보다 훨씬 더 빨리 열가소성 물질을 생산할 것을 요구한다. 압출기 헤드용으로 생성된 열가소성 물질의 부피는 더 큰 직경의 필라멘트를 처리함으로써 증가될 수 있지만, 더 두꺼운 필라멘트를 열 처리하는 데 필요한 시간 기간이 또한 증가될 수 있다. 열 처리하는 시간 기간을 연장시키지 않고 압출기 헤드용 열가소성 물질의 생산을 증가시킬 수 있는 필라멘트 히터가 유용할 것이다.

## 발명의 내용

[0004]

신규한 적층식 제조 시스템은 압출 물질 필라멘트를 열 처리하는 데 필요한 시간 기간을 연장시키지 않고 이 압출 물질 필라멘트를 열 처리할 수 있도록 구성된 히터를 포함한다. 상기 적층식 제조 시스템은, 열가소성 물질을 저장하도록 구성된 매니폴드, 및 상기 매니폴드로부터 열가소성 물질을 방출할 수 있는 적어도 하나의 노즐을 갖는 압출기 헤드; 경로를 따라 압출 물질 공급원으로부터 압출 물질을 이동시키도록 구성된 기계식 이동자(mechanical mover)로서, 상기 압출 물질은 제1 단면 형상을 갖는, 상기 기계식 이동자; 및 상기 압출 물질을 수용하기 위해 상기 압출 물질의 상기 경로를 따라 위치된 채널, 및 상기 채널 내의 상기 압출 물질을 용융시켜 열가소성 물질을 형성하도록 구성된 적어도 하나의 가열 소자(heating element)를 갖는 히터를 포함하고, 상기 열가소성 물질이 상기 매니폴드로 들어갈 수 있도록 상기 히터 내의 상기 채널은 상기 압출기 헤드 내의 상기 매니폴드에 유체적으로 연결되고, 상기 히터 내의 상기 채널이 상기 필라멘트의 표면적을 증가시킬 수 있도록 상기 히터 내의 상기 채널은, 제1 위치에서는 상기 제1 단면 형상을 갖고, 제2 위치에서는 제2 단면 형상을 갖게 구성되고, 상기 상기 제2 단면 형상은 상기 제1 단면 형상과 상이하다.

[0005]

히터는 압출 물질 필라멘트를 열 처리하는 데 필요한 시간 기간을 연장시키지 않고 이 압출 물질 필라멘트를 열 처리할 수 있도록 구성되었다. 상기 히터는, 채널을 갖는 몸체로서, 상기 히터 내의 상기 채널이 제1 위치로부터 제2 위치로 상기 채널을 통과하는 압출 물질의 표면적을 증가시킬 수 있도록, 상기 히터 몸체 내의 상기 채널은, 상기 제1 위치에서는 제1 단면 형상을 갖고, 상기 제2 위치에서는 제2 단면 형상을 갖게 구성되고, 상기 제2 단면 형상은 상기 제1 단면 형상과 상이한, 상기 채널을 갖는 몸체; 및 상기 채널 내에 열을 발생시키고 상기 압출 물질을 용융시켜 열가소성 물질을 형성하기 위해 상기 몸체 내에 위치된 적어도 하나의 가열 소자를 포함한다.

[0006]

필라멘트를 압출기 헤드용 열가소성 물질로 열 처리하는 히터의 전술된 양태 및 다른 특징은 첨부된 도면과 관련하여 취해진 다음의 설명에서 설명된다.

## 도면의 간단한 설명

[0007]

도 1은 압출기 헤드의 매니폴드에 열가소성 물질을 제공하기 위해 필라멘트의 열 처리를 개선하는 히터를 포함하는 적층식 제조 시스템을 도시한다.

도 2a는 도 1의 압출기 헤드의 매니폴드에 열가소성 물질을 제공하기 위해 필라멘트의 열 처리를 개선하는 도 1의 히터의 라인 2A-2A를 따라 취해진 단면도이다.

도 2b는 도 2a에 도시된 히터의 도면의 라인 2B-2B를 따라 취해진 단면도이다.

도 2c는 도 2a에 도시된 히터의 도면의 라인 2C-2C를 따라 취해진 단면도이다.

도 3a는 도 2a에서 라인 2C-2C의 위치에서 취해진, 도 1에 도시된 히터의 단부도이다.

도 3b는 도 3a를 취한 것과 동일한 위치에서 히터의 폭을 감소시키는 히터의 대안적인 실시예의 단부도이다.

도 3c는 도 3a를 취한 것과 동일한 위치에서 히터의 폭을 감소시키는 히터의 대안적인 실시예의 단부도이다.

도 4는 도 1의 시스템에서 사용될 수 있는 압출기 헤드의 매니폴드에 열가소성 물질을 제공하기 위해 필라멘트의 열 처리를 개선하는 히터의 대안적인 실시예의 길이방향 측단면도이다.

도 5는 도 1의 시스템에서 사용될 수 있는 압출기 헤드의 매니폴드에 열가소성 물질을 제공하기 위해 필라멘트의 열 처리를 개선하는 히터의 다른 대안적인 실시예의 길이방향 측단면도이다.

도 6은 채널을 따라 상이한 위치들에서 히터를 통한 채널의 단면도를 갖는 적층식 제조 또는 주조 공정으로 형성될 수 있는 히터의 측단면도이다.

도 7은 도 1의 고체 압출 물질 공급 시스템을 구비하지 않는 다중 노즐 압출 프린트헤드를 갖는 종래 기술의 3차원 물체 프린터의 도면이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008]

본 명세서에 개시된 디바이스의 환경 및 디바이스의 상세에 대한 일반적인 이해를 위해 도면을 참조한다. 도면에서, 동일한 참조 부호는 동일한 요소를 나타낸다.

[0009]

본 명세서에 사용된 "압출 물질"이라는 용어는 적층식 제조 시스템에서 압출기 헤드에 의해 방출되는 열가소성 물질을 형성하도록 연화 또는 용융된 물질을 지칭한다. 압출 물질은, 3차원 인쇄물의 영구적인 부분을 형성하는 "빌드 물질(build material)", 및 인쇄 공정 동안 이 빌드 물질의 부분들을 지지하는 임시 구조물을 형성하고, 인쇄 공정 완료 후 선택적으로 제거되는 "지지 물질"을 포함하지만 이들로 국한되지는 않는다. 빌드 물질의 예는 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌(ABS) 플라스틱, 폴리락트산(PLA), 지방족 또는 반-방향족 폴리아미드(나일론), 혼탁된 탄소 섬유 또는 다른 골재를 포함하는 플라스틱, 전기 전도성 중합체, 및 압출기 헤드를 통한 방출하기에 적합한 열가소성 물질을 생산하기 위해 열 처리될 수 있는 임의의 다른 형태의 물질을 포함하지만 이들로 국한되지는 않는다. 지지 물질의 예로는 고-충격 폴리스티렌(HIPS), 폴리비닐 알콜(PVA), 및 열 처리된 후 압출될 수 있는 다른 물질을 포함하지만 이들로 국한되는 것은 아니다. 일부 압출 프린터에서, 압출 물질은 일반적으로 "필라멘트(filament)"로 알려진 연속적인 세장형 스트랜드 물질로서 공급된다. 이 필라멘트는 하나 이상의 롤러에 의해 고체 형태로 제공되며 이 롤러는 스팔(spool) 또는 다른 공급원으로부터 압출 물질 필라멘트를 당기고 이 필라멘트를 압출기 헤드 내의 매니폴드에 유체적으로 연결된 히터 내로 공급한다. 히터는 압출 물질 필라멘트를 연화 또는 용융시켜 매니폴드 내로 흐르는 열가소성 물질을 형성한다. 노즐과 매니폴드 사이에 위치된 밸브가 개방되면 열가소성 물질의 일부가 매니폴드로부터 노즐을 통해 흐르고 열가소성 물질의 스트림으로 방출된다. 본 명세서에 사용된, 압출 물질에 적용되는 "용융"이라는 용어는 3차원 물체 프린터의 동작 동안 프린트헤드 내의 하나 이상의 노즐을 통해 열가소성 물질을 압출할 수 있도록 압출 물질의 온도를 상승시켜 압출 물질의 위상을 변화시키거나 연화시키는 것을 지칭한다. 용융된 압출 물질은 본 명세서에서 "열가소성 물질"이라고도 지칭된다. 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 인식하는 바와 같이, 특정 비정질 압출 물질은 프린터의 동작 동안 순수 액체 상태로 전이하지는 않는다.

[0010]

본 명세서에서 사용된 "매니폴드"라는 용어는 3차원 물체 인쇄 동작 동안 프린트헤드 내의 하나 이상의 노즐로 전달되는 열가소성 물질의 공급을 유지하는 압출기 헤드의 하우징 내에 형성된 공동(cavity)을 의미한다. 본 명세서에 사용된 "압출기 헤드"라는 용어는 매니폴드로부터 수용되는 용융된 압출 물질을 하나 이상의 노즐을 통해 압출하는 프린터의 구성 요소를 지칭한다. 일부 압출기 헤드는 열가소성 물질이 노즐들을 통해 선택적으로 흐를 수 있도록 전자적으로 동작될 수 있는 밸브 조립체를 포함한다. 밸브 조립체는 열가소성 물질을 압출하기 위해 하나 이상의 노즐을 매니폴드에 독립적으로 연결될 수 있게 한다. 본 명세서에 사용된 "노즐"이라는 용어는, 압출기 헤드 내의 매니폴드에 유체적으로 연결되고 열가소성 물질을 이미지 수용 표면(image receiving surface)을 향해 방출하는 압출기 헤드 내의 오리피스를 지칭한다. 동작 동안, 노즐은 압출기 헤드의 공정 경로를 따라 열가소성 물질의 실질적으로 연속적인 선형 배열을 압출한다. 제어기는 밸브 조립체 내의 밸브를 동작시켜 밸브 조립체에 연결된 노즐들 중 열가소성 물질을 압출하는 노즐을 제어한다. 노즐의 직경은 압출되는 열가소성 물질의 라인의 폭에 영향을 미친다. 상이한 압출기 헤드 실시예들은 더 좁은 오리피스에 의해 생성된 리본(ribbon)의 폭보다 더 큰 폭을 갖는 열가소성 물질의 리본을 생성하는 더 넓은 오리피스를 갖는 오리피스 크기의 범위를 갖는 노즐을 포함한다.

[0011]

본 명세서에 사용된 "압출 물질의 배열"이라는 용어는 3차원 물체 인쇄 동작 동안 압출기 헤드가 이미지 수용 표면 상에 형성하는 열가소성 물질의 임의의 패턴을 지칭한다. 열가소성 물질의 공통 배열은 열가소성 물질의 직선 선형 배열 및 열가소성 물질의 곡선(curved) 배열을 포함한다. 일부 구성에서, 압출기 헤드는 연속적으로 열가소성 물질을 압출하여 인접한 열가소성 물질 매스(mass)를 갖는 배열을 형성하지만, 다른 구성에서는 압출기 헤드는 간헐적으로 동작하여 선형 경로 또는 곡선 경로를 따라 배열된 더 작은 그룹의 열가소성 물질을 형성한다. 3차원 물체 프린터는 열가소성 물질의 상이한 배열들의 조합을 사용하여 다양한 구조를 형성한다. 추가적으로, 3차원 물체 프린터 내의 제어기는, 압출기 헤드를 동작시켜 압출 물질의 각 배열을 형성하기 위해, 열가소성 물질의 상이한 배열들에 대응하는, 물체 이미지 데이터 및 압출기 헤드 경로 데이터를 사용한다. 아래에 설명된 바와 같이, 제어기는 3차원 인쇄 동작 동안 하나 이상의 노즐을 통해 열가소성 물질의 다수의 배열을 형성하도록 밸브 조립체의 동작을 선택적으로 조정한다.

[0012]

본 명세서에 사용된 "공정 방향(process direction)"이라는 용어는, 압출기 헤드와, 이 압출기 헤드 내의 하나 이상의 노즐로부터 압출되는 열가소성 물질을 수용하는 이미지 수용 표면 사이의 상대적인 움직임 방향을 지칭한다. 이미지 수용 표면은 적층식 제조 공정 동안 3차원 인쇄물 또는 부분적으로 형성된 3차원 물체의 표면을 유지하는 지지 부재이다. 본 명세서에 설명된 예시적인 실시예에서, 하나 이상의 액추에이터는 지지 부재 주위로 압출기 헤드를 이동시키지만, 대안적인 시스템 실시예는 압출기 헤드가 정지 상태로 유지되는 동안 지지 부재를 이동시켜 공정 방향으로 상대적인 운동을 생성한다.

[0013]

본 명세서에 사용된 "교차 공정 방향(cross process direction)"이라는 용어는, 공정 방향의 평면에서 공정 방

향에 수직이고, 생성되는 3차원 물체의 표면에도 수직인 축을 지칭한다. 공정 방향과 교차-공정 방향은 열가소성 물질을 수용하는 표면과 압출기 헤드의 상대적인 움직임 경로를 지칭한다. 일부 구성에서, 압출기 헤드는 교차-공정 방향을 따라 연장되는 노즐 어레이를 포함한다. 압출기 헤드 내의 인접한 노즐들은 교차-공정 방향으로 미리 결정된 거리만큼 분리된다. 일부 구성에서, 시스템은 압출기 헤드를 회전시켜 압출기 헤드 내의 인접한 노즐들 사이의 유효 교차-공정 방향 거리를 조정하여, 압출기 헤드 내의 노즐들로부터 압출되는 열가소성 물질의 배열들 사이의 대응하는 교차-공정 방향 거리를 조정한다.

[0014] 적층식 제조 시스템의 동작 동안, 압출기 헤드는 3차원 물체 인쇄 공정 동안 열가소성 물질을 수용하는 표면에 대해 직선 경로 및 곡선 경로를 따라 공정 방향으로 이동한다. 추가적으로, 시스템 내의 액추에이터는 Z 축 주위로 압출기 헤드를 선택적으로 회전시켜 압출기 헤드 내의 노즐들을 분리시키는 유효 교차-공정 거리를 조정하여 압출기 헤드가 열가소성 물질의 각 배열 사이에 미리 결정된 거리를 갖게 열가소성 물질의 2개 이상의 배열을 형성할 수 있게 한다. 압출기 헤드는 외부 둘레(perimeter)를 따라 이동하며 인쇄되는 물체의 층 내 및 둘레 내에서 구역의 외부 벽들을 형성하여 구역의 전부 또는 일부를 열가소성 물질로 채운다. 배열을 형성하는 압출기 헤드는 3차원 물체에 대한 이미지 데이터의 처리가 압출기 헤드를 동작시키기 위한 데이터를 생성하기에 충분하다면 임의의 평면 또는 회전 자유도에 걸쳐 이동할 수 있다.

[0015] 도 7은 압출기 헤드(108)를 동작시켜 3차원 인쇄물(140)을 형성하도록 구성된 종래 기술의 3차원 물체 적층식 제조 시스템 또는 프린터(100)를 도시한다. 프린터(100)는 평면 운동을 사용하여 물체를 형성하는 프린터로 도시되어 있으나, 다른 프린터 아키텍처도 본 명세서에 설명된 압출 물질의 기계식 이동자 및 압출기 헤드와 함께 사용될 수 있다. 이를 아키텍처는 델타-봇(delta-bot), 선택적 유연 조립체 로봇 아암(selective compliance assembly robot arm: SCARA), 다축 프린터, 비-직교형 프린터 등을 포함한다. 프린터(100)는 지지 부재(102), 다중 노즐 압출기 헤드(108), 압출기 헤드 지지 아암(112), 제어기(128), 메모리(132), X/Y 액추에이터(150)들, 선택적인 Zθ 액추에이터(154), 및 Z 액추에이터(158)를 포함한다. 프린터(100)에서, X/Y 액추에이터(150)들은 도 7에 도시된 물체(140)와 같은 3차원 인쇄물 내의 하나의 층을 형성하는 열가소성 물질의 배열을 압출하기 위해 압출기 헤드(108)를 X 및 Y 축을 따라 2차원 평면("XY 평면")의 상이한 위치들로 이동시킨다. 예를 들어, 도 7에서, X/Y 액추에이터(150)들은 지지 아암(112) 및 압출기 헤드(108)를 가이드 레일(113)을 따라 병진이동시켜 Y 축을 따라 이동시키는 반면, X/Y 액추에이터(150)들은 지지 아암(112)의 길이를 따라 압출기 헤드(108)를 병진이동시켜 X 축을 따라 프린트헤드를 이동시킨다. 압출된 패턴은 층 내의 하나 이상의 구역의 윤곽 및 열가소성 물질 패턴의 윤곽 내의 구역들을 채우는 열가소성 물질의 구획(swath)을 포함한다. Z 액추에이터(158)는 인쇄 공정 동안 물체가 형성될 때 압출기 헤드(108) 내의 노즐이 열가소성 물질을 물체(140) 위로 압출하기에 적절한 높이로 유지되도록 압출기 헤드(108)와 지지 부재(102) 사이의 Z 축을 따른 거리를 제어한다. Zθ 액추에이터(154)는 Z 축 주위로 회전하는 압출기 헤드(108)의 일부 실시예에서 Z 축 주위로의 압출기 헤드(108)의 회전 각도(도 4에서 Zθ로 나타냄)를 제어한다. 이러한 움직임은 압출기 헤드(108) 내의 노즐들 사이의 분리를 제어하지만, 일부 압출기 헤드는 제조 공정 동안 회전을 요구하지 않는다. 시스템(100)에서, X/Y 액추에이터(150)들, Zθ 액추에이터(154), 및 Z 액추에이터(158)는 전기 모터, 스템퍼 모터, 또는 임의의 다른 적절한 전기 기계 디바이스와 같은 전기 기계 액추에이터로서 구현된다. 도 7의 예시적인 실시예에서, 열가소성 물질의 복수의 층으로 형성된 3차원 인쇄물(140)을 형성하는 동안의 3차원 물체 프린터(100)가 도시된다.

[0016] 지지 부재(102)는 제조 공정 동안 3차원 인쇄물(140)을 지지하는, 유리판, 중합체 판 또는 발포체 표면과 같은 평면 부재이다. 도 7의 실시예에서, 압출기 헤드(108)가 물체(140)의 상부 표면으로부터 미리 결정된 거리를 유지하는 것을 보장하기 위해 열가소성 물질의 각 층을 도포한 후에 Z 액추에이터(158)는 또한 압출기 헤드(108)로부터 멀어지는 Z 방향으로 지지 부재(102)를 이동시킨다. 압출기 헤드(108)는 복수의 노즐을 포함하고, 각 노즐은 열가소성 물질을 지지 부재(102)의 표면 상으로 또는 물체(140)와 같은 부분적으로 형성된 물체의 표면 상으로 압출한다. 도 7의 예에서, 압출 물질은 압출 물질을 압출기 헤드(108)에 공급하기 위해 스플로터로부터 풀려 나오는 ABS 플라스틱 또는 다른 적절한 압출 물질 필라멘트의 스플린 압출 물질 공급원(110)으로부터 필라멘트로서 제공된다.

[0017] 지지 아암(112)은 지지 부재, 및 인쇄 동작 동안 압출기 헤드(108)를 이동시키는 하나 이상의 액추에이터를 포함한다. 시스템(100)에서, 하나 이상의 액추에이터(150)는 인쇄 동작 동안 지지 아암(112) 및 압출기 헤드(108)를 X 및 Y 축을 따라 이동시킨다. 예를 들어, 액추에이터(150)들 중 하나는 지지 아암(112) 및 압출기 헤드(108)를 Y 축을 따라 이동시키는 반면, 다른 액추에이터는 지지 아암(112)의 길이를 따라 압출기 헤드(108)를 이동시켜 X 축을 따라 이동시킨다. 시스템(100)에서, X/Y 액추에이터(150)들은 직선 경로 또는 곡선 경로를 따라 동시에 X 및 Y 축을 따라 압출기 헤드(108)를 선택적으로 이동시킨다. 제어기(128)는 압출기 헤드(108) 내의

노즐들이 열가소성 물질을 지지 부재(102) 상으로 압출하거나 또는 물체(140)의 이전에 형성된 층들 상으로 압출할 수 있게 하는 선형 경로 및 곡선 경로로 압출기 헤드(108)의 움직임을 제어한다. 제어기(128)는 선택적으로 X 축 또는 Y 축을 따라 래스터화된 운동으로 압출기 헤드(108)를 이동시키지만, X/Y 액추에이터(150)들은 또한 X-Y 평면 내에서 임의의 선형 경로 또는 곡선 경로를 따라 압출기 헤드(108)를 이동시킬 수 있다.

[0018] 제어기(128)는 프린터(100)를 동작시키도록 구성된, 마이크로프로세서, 마이크로제어기, 전계 프로그래밍 가능한 게이트 어레이(FPGA), 주문형 집적 회로(ASIC) 또는 임의의 다른 디지털 로직과 같은 디지털 로직 디바이스이다. 프린터(100)에서, 제어기(128)는 지지 부재(102) 및 지지 아암(112)의 움직임을 제어하는 하나 이상의 액추에이터에 동작 가능하게 연결된다. 제어기(128)는 또한 메모리(132)에 동작 가능하게 연결된다. 프린터(100)의 실시예에서, 메모리(132)는 랜덤 액세스 메모리(RAM) 디바이스와 같은 휘발성 데이터 저장 디바이스, 및 비-휘발성 데이터 저장 디바이스, 예를 들어, 솔리드-스테이트 데이터 저장 디바이스, 자기 디스크, 광 디스크 또는 임의의 다른 적절한 데이터 저장 디바이스를 포함한다. 메모리(132)는 프로그래밍된 명령 데이터(134) 및 3차원(3D) 물체 이미지 데이터(136)를 저장한다. 제어기(128)는 저장된 프로그램 명령(134)을 실행하여 프린터(100) 내의 구성 요소들을 동작시켜 3차원 인쇄물(140)을 형성하고 물체(140)의 하나 이상의 표면 상에 2차원 이미지를 인쇄한다. 3차원 물체 이미지 데이터(136)는 예를 들어 3차원 물체 인쇄 공정 동안 프린터(100)가 형성하는 열가소성 물질의 각 층에 대응하는 복수의 2차원 이미지 데이터 패턴을 포함한다. 압출기 헤드 경로 제어 데이터(138)는 X/Y 액추에이터(150)들을 사용하여 압출기 헤드(108)의 움직임 경로를 제어하고 Zθ 액추에이터(154)를 사용하여 압출기 헤드(108)의 배향을 제어하기 위해 제어기(128)가 처리하는 기하학적 데이터 또는 액추에이터 제어 커맨드 세트를 포함한다. 제어기(128)는 액추에이터를 동작시켜 압출기 헤드(108)를 이동시킨다.

[0019] 도 1은 압출기 헤드(108) 내의 복수의 노즐로부터 방출되는 물질과 벨브들의 동작을 제어할 수 있도록 제어기(128)에 동작가능하게 연결된, 압출기 헤드(108) 내의 벨브 조립체(204)를 포함하는 적층식 제조 시스템(100')을 도시한다. 구체적으로, 제어기(128)는, 열가소성 물질을 방출하고 3차원 인쇄물(140)의 각 층에 열가소성 물질의 배열을 형성하기 위해 압출기 헤드(108) 내의 노즐에 연결된 벨브 조립체(204) 내의 상이한 벨브들을 활성화시키고 비활성화시킨다. 시스템(100')은 또한 시스템(100')의 동작 동안 매니폴드(216) 내의 열가소성 물질의 압력을 미리 결정된 범위 내로 유지하는 율(rate)로 공급원(110)으로부터 히터(208)로 필라멘트를 공급하는 압출 물질 분배 시스템(212)을 포함한다. 분배 시스템(212)은 매니폴드 내의 열가소성 물질의 압력을 조절하기에 적합한 일 실시예이다. 추가적으로, 제어기(128)는 분배 시스템(212) 내의 액추에이터에 동작 가능하게 연결되어, 분배 시스템(212)이 고체 필라멘트를 히터(208)로 전달하는 율을 제어한다. 히터(208)는 구동 롤러(224)를 통해 히터(208)로 공급되는 압출 물질 필라멘트(220)를 용융시킨다. 액추에이터(240)는 롤러(224)를 구동하고 제어기(128)에 동작가능하게 연결되어, 액추에이터가 롤러(224)를 구동하는 속력을 제어기가 조절할 수 있도록 한다. 롤러(224)의 반대쪽에 있는 다른 롤러는 자유-휠(free-wheeling)이어서 롤러(224)가 구동되는 회전 율을 따라간다. 도 1은 필라멘트(220)를 히터(208) 내로 이동시키기 위해 기계식 이동자로서 구동기 롤러(224) 및 전기 기계 액추에이터를 사용하는 공급 시스템을 도시하지만, 대안적인 실시예는 하나 이상의 액추에이터를 사용하여 회전 오거(auger) 또는 나사 형태의 기계식 이동자를 동작시킨다. 이 오거 또는 나사는 압출 물질 분말 또는 펠릿 형태의 고체 상태의 압출 물질을 히터(208) 내로 이동시킨다.

[0020] 도 1의 실시예에서, 히터(208)는, 스테인리스 스틸로 형성되고, 전기 저항성 가열 소자와 같은 하나 이상의 가열 소자(228)가 채널(232) 주위에 위치된 몸체를 포함한다. 가열 소자(228)는 제어기(128)에 동작 가능하게 연결되어, 제어기(128)는 히터(208) 내 채널(232) 내의 압출 물질(220)의 필라멘트를 용융시키도록 선택적으로 전기 전류에 가열 소자(228)를 연결시킬 수 있다. 도 1은 고체 필라멘트(220)로서 고체 상태로 압출 물질을 수용하는 히터(208)를 도시하지만, 대안적인 실시예에서는 히터는 분말 상태 또는 펠릿화된 압출 물질로서 고체 상태로 압출 물질을 수용한다. 냉각 핀(236)은 히터(208)의 상류에서 채널(232) 내에서 열을 감쇠시킨다. 냉각 핀(236)에서 또는 냉각 핀 근처에서 채널(232) 내에 고체로 남아있는 압출 물질의 부분은 채널(232)에 밀봉부를 형성하여, 매니폴드(216)와 연결된 개구가 아닌 임의의 다른 개구로부터 열가소성 물질이 히터를 빠져 나가는 것을 방지한다. 압출기 헤드(108)는 또한 매니폴드(216) 내의 열가소성 물질이 상승된 온도를 유지하기 위해 추가적인 가열 소자를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 단열재는 압출기 헤드(108)의 외부 부분을 덮어서 매니폴드(216) 내의 온도를 유지한다.

[0021] 매니폴드(216) 내의 열가소성 물질의 유체 압력을 미리 결정된 범위 내로 유지하고, 압출 물질에 대한 손상을 피하고, 노즐을 통한 압출 율을 제어하기 위해, 슬립 클러치(244)가 액추에이터(240)의 구동 샤프트에 동작가능하게 연결된다. 본 명세서에 사용된 "슬립 클러치"라는 용어는 미리 결정된 설정점까지 이동하는 물체에 마찰력

을 가하는 디바이스를 지칭한다. 미리 결정된 설정점 범위의 마찰력을 초과하면, 디바이스는 슬립하여 물체에 마찰력을 더 이상 가하지 않는다. 슬립 클러치는 얼마나 많은 벨브가 개방되었는지 또는 얼마나 빨리 액추에이터(240)가 롤러(224)를 구동하는지에 관계 없이 필라멘트(220) 상에 가해지는 힘이 일정하게 유지되도록 한다. 이 일정한 힘은 필라멘트 구동 롤러(224)의 가장 빠른 예상된 회전 속력보다 더 높은 속력으로 액추에이터(240)를 구동하는 것에 의해 또는 인코더 훈(248)을 롤러(224) 상에 놓고 센서(252)로 회전 율을 감지하는 것에 의해 유지될 수 있다.

[0022] 센서(252)에 의해 생성된 신호는 롤러(224)의 각도 회전을 나타내며 제어기(128)는 이 신호를 수신하여 롤러(224)의 속력을 식별한다. 제어기(128)는 액추에이터(240)에 제공된 신호를 조정하여 액추에이터의 속력을 제어하도록 더 구성된다. 제어기가 액추에이터(240)의 속력을 제어하도록 구성될 때, 제어기(128)는 액추에이터(240)를 동작시켜 그 속력이 롤러(224)의 회전보다 약간 더 빠르도록 한다. 이 동작은 구동 롤러(224) 상의 토크가 항상 슬립 클러치 토크의 합수인 것을 보장한다. 하나의 벨브/노즐의 조합이 개방되면, 필라멘트(220)는 천천히 이동한다. 조립체(204) 내의 액추에이터/밸브의 모든 조합이 개방되면, 필라멘트는 더 빠르게 이동하기 시작하고 제어기(128)는 액추에이터(240)를 즉시 동작시켜 그 속력을 증가시켜, 액추에이터의 출력 샤프트가 센서(252)에 의해 지시된 롤러(224)의 속력보다 더 빨리 회전하는 것을 보장하도록 한다. 필라멘트에 가해지는 힘과 압출기 헤더의 노즐 구역 내의 열가소성 물질의 압력 사이에는 본질적으로 지연이 존재한다. 이러한 지연에 대한 경험적 데이터는 압출기 헤드의 노즐 구역 내의 열가소성 물질에 보다 균일한 압력을 제공하도록 슬립 클러치가 동작될 수 있도록 슬립 클러치에 대해 설정점이 한정될 수 있게 한다.

[0023] 도 2a는 냉각 핀(236)을 지난 위치로부터 열가소성 물질의 출구 위치까지의 히터(208)의 길이방향 단면도이다. 도 2a 내지 도 2c 및 도 3a 내지 도 3c에 도시된 실시예는 패스너로 조립된 2개의 부품 구성으로 도시되어 있지만, 히터는 일체형 유닛으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 히터는, 직접 금속 레이저 소결(DMLS) 시스템과 같은 적층식 제조 시스템을 사용하여 또는 알려진 주조 공정에 의해 일체형 유닛으로서 형성될 수 있다. 도 2a는 가열 소자(228)들 중 하나 위에 놓이는 채널(232)의 하부 절반부를 도시한다. 필라멘트는 이 도면에서 화살표로 지시된 바와 같이 채널(232)을 통해 이동한다. 이 도면에 도시된 바와 같이, 채널(232)은 필라멘트가 히터(208)의 가열된 구역으로 들어가는 곳에서 더 좁고, 입구를 지난 위치에서 더 넓다. 도 2b에 도시된 바와 같이, 가열 소자(228)들 중 하나는, 히터(208)의 상부 절반부가 이 도면에 도시된 하부 절반부와 결합될 때, 채널(232)의 하부 절반부 아래에 위치되어, 채널(232)로 들어가는 입구에서 원형을 형성한다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 가열 소자(228)는 채널(232) 아래에 유지되지만, 이 채널은 폭이 증가된 반면 그 높이는 감소된다. 채널(232)의 구성의 이러한 변화는 가열 소자(228)에 의해 발생된 열에 노출되는 필라멘트의 표면적을 증가시킨다. 이는 채널(232)의 상부 절반부에 대해서도 적용된다. 이렇게 표면적이 증가하면 가열 소자(228)는 필라멘트를 보다 효과적으로 열 처리할 수 있어서 필라멘트의 단면의 더 많은 부분을 열 처리할 수 있고 이에 의해 필라멘트를 열 처리하는데 이전에 요구되던 시간의 양을 감소시킨다. 패스너(230)는 히터(208)의 2개의 절반부를 결합시킨다.

[0024] 도 3a는 도 2c에 도시된 위치에서의 조립된 히터(208)를 도시한다. 다시, 채널(232) 내 이 위치에서의 직사각형 형상은 원형 입구의 직경보다 더 작은 높이 및 원형 입구의 직경보다 더 큰 폭을 갖는다. 따라서, 도 3a의 직사각형 채널 형상은 채널(232) 내의 필라멘트의 표면적을 증가시켜서, 채널이 입구에서와 같이 원형으로 남아있는 경우 발생하는 필라멘트의 열 노출보다 필라멘트의 열 노출을 증가시킨다. 도 3에서 채널은 직사각형으로 도시되어 있지만, 이 채널은, 다각형의 높이가 원형 입구의 직경보다 더 작고, 다각형의 폭이 원형 입구의 직경보다 더 큰 한, 임의의 다각형 형상일 수 있다. 히터(208)의 치수를 더 감소시키기 위해, 채널(232)은 도 3b에 도시된 위치에서 채널(232)을 확장시키기 위해 도 3a에 도시된 위치에 도시된 반-원형 형상과 같은 비-원형 곡선 형상을 갖게 구성된다. 본 명세서에 사용된 "비-원형 곡선 형상"이라는 용어는, 길이가 변하고 채널의 길이방향 축에 수직인, 히터 내의 채널의 중심으로부터 반경에 의해 형성된 임의의 형상을 의미한다. 반-원형 형상의 채널의 하나의 단부로부터 반-원형 형상의 채널의 다른 단부까지의 거리는 도 3a에 도시된 직사각형 채널의 단부 간 거리보다 더 작기 때문에, 히터의 높이가 동일하게 유지되는 동안, 도 3b의 히터(208)는 도 3a의 히터보다 더 적은 공간을 소비한다. 도 3c는, 히터(208)의 폭을 더 감소시켜서, 필라멘트의 표면적을 더 증가시키고, 2개의 가열 소자(228)에 의해 제공되는 열에 노출되는 필라멘트의 표면적을 증가시키기 위해 채널(232)이 한 쌍의 반-원형 형상의 채널을 갖게 구성된 다른 대안적인 실시예를 도시한다. 2개의 반-원형 형상의 채널은 압출 물질이 각 반-원형 형상의 채널 내로 확산될 수 있도록 교차부(236)에서 함께 결합된다.

[0025] 도 6은 적층식 제조 또는 주조 공정에 의해 일체형 유닛으로 형성된 히터(208)의 일 실시예의 측단면도를 도시한다. 이러한 공정은 다양한 곡률을 갖는 벽들을 갖는 채널을 형성할 수 있다. 도 6의 히터의 측단면도 아래에는 채널을 따라 상이한 위치(A-A 내지 G-G)들에서 히터를 통한 채널(232)의 단면도가 도시된다. 따라서, 일체형

유닛으로 형성된 히터(208)는 히터 내의 필라멘트의 열 처리를 더 향상시키기 위해 채널의 일 단부로부터 채널의 다른 단부까지 채널의 길이의 적어도 일부를 따라 곡률이 변하는 채널(232)을 가질 수 있다. 본 명세서에 사용된 "일체형 유닛"이라는 용어는 히터를 조립하는데 패스너가 필요 없는 단일 부품 구조로 형성된 히터를 지칭한다. 또한, 본 명세서에 사용된 "곡률이 변하는" 것이란 히터 내의 채널의 벽 또는 벽들의 경사가 길이방향 또는 교차-길이방향 또는 두 방향으로 경사가 동시에 변하는 것을 의미한다.

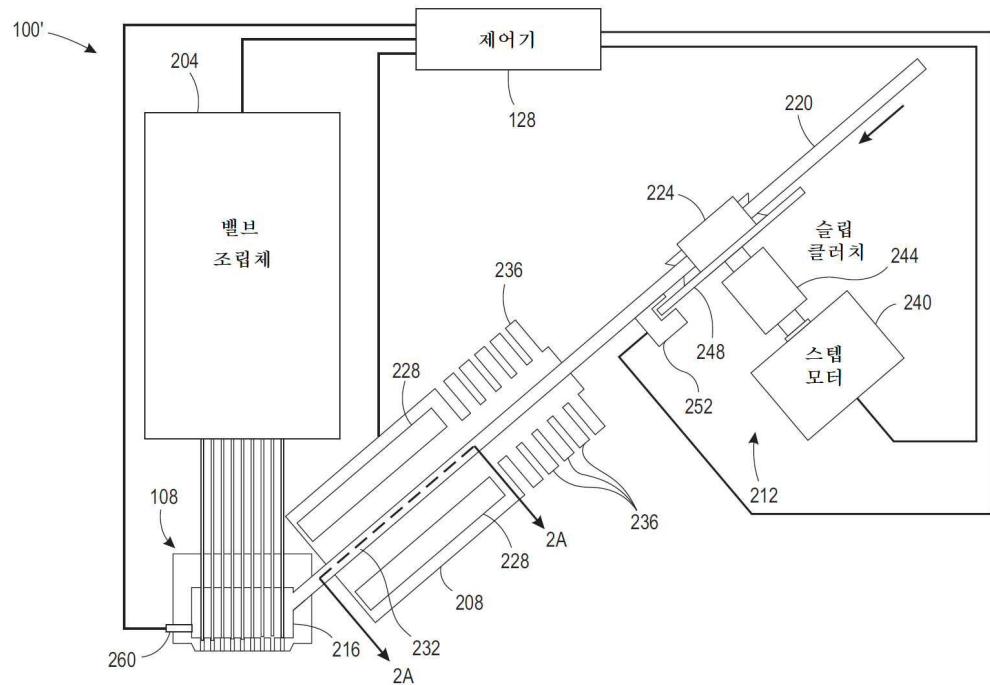
[0026] 도 6에 도시된 도시는 적층식 제조 또는 주조 공정으로 형성될 수 있는 다양한 채널 단면을 도시한다. 일반적으로 채널은 압출 물질 필라멘트를 수용하는 원형 횡단면으로 시작한다는 점을 주목해야 한다. 채널의 단면적은 이후 열가소성 물질의 생산을 위해 필라멘트로 열 전달을 촉진하기 위해 표면적을 증가시키도록 변화한다. 대부분의 실시예에서, 이 채널의 단면적은 이후, 열가소성 물질을 수용하고 이 열가소성 물질을 헤드 내의 매니폴드로 송출하는 압출기 헤드 내의 포트와 호환가능한 단면적 형상 및 크기로 복귀한다. 이러한 구성은 히터(208)의 출력이 중간 고정구(intervening fitting) 없이 압출기 헤드(108)에 직접 결합될 수 있게 한다.

[0027] 히터 내의 채널 구성의 다른 대안적인 실시예가 도 4에 도시되어 있다. 다시, 채널(232)은 필라멘트가 이 도면에서 화살표로 지시된 방향으로 이동할 때 원형 단면을 갖는 필라멘트(404)를 수용한다. 가열 소자(228)는 이 도면에서 도시를 간단히 하기 위해 도시되지 않았지만, 이전에 도시된 바와 같이 채널의 양측에 존재한다. 채널(232)의 상부 벽(408)은 필라멘트(400)의 상부 표면에 평행하지만, 채널은 또한 전술한 바와 같이 필라멘트의 폭을 증가시키기 시작하도록 구성된다. 즉, 채널은, 이 위치에서, 필라멘트가 히터(208)에 들어갈 때에는 필라멘트의 높이보다 더 작은 높이를 갖고, 필라멘트가 히터(208)에 들어갈 때에는 필라멘트의 폭보다 더 큰 폭을 갖도록 압출 물질의 필라멘트를 변화시키도록 구성된다. 추가적으로 채널(232)의 하부 벽(412)은 필라멘트의 하부 표면을 채널의 상부 표면을 향하여 가압하도록 필라멘트의 상부 표면에 대해 미리 결정된 각도로 경사진다. 필라멘트(404)의 강성의 중심 부분을 벽(408)을 향해 이렇게 가압하면 중심 부분을 가열된 벽(408)에 노출시켜 이 중심 부분이 압력에 의해 구부려질 수 있다. 그 결과, 필라멘트의 가장 차가운 부분인 필라멘트(404)의 중심 부분은 채널(432)의 상부 벽(408)을 향해 계속 이동하고, 이에 의해 필라멘트를 열가소성 물질로 전이시키는데 필요한 시간을 단축시킨다.

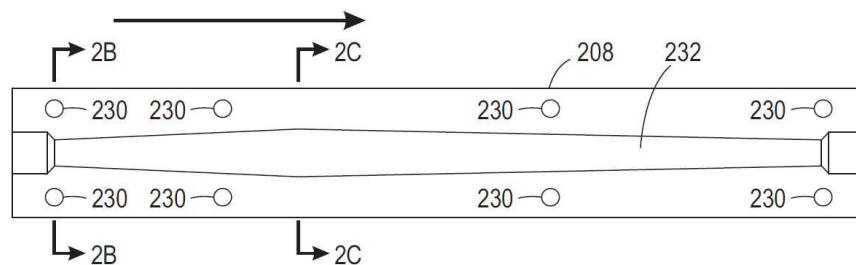
[0028] 히터 내의 채널 구성의 다른 대안적인 실시예가 도 5에 도시된다. 다시, 채널(232)은 필라멘트가 이 도면에서 화살표로 지시된 방향으로 이동할 때 원형 단면을 갖는 필라멘트(404)를 수용한다. 가열 소자(228)는 이 도면에서 도시를 간단히 하기 위해 도시되지 않았지만, 이전에 도시된 바와 같이 채널의 양측에 존재한다. 채널(232)의 상부 벽(408)은 필라멘트(400)의 상부 표면에 평행하지만, 채널은 또한 전술된 바와 같이 필라멘트의 폭을 증가시키기 시작하도록 구성된다. 즉, 채널은, 이 위치에서, 필라멘트가 히터(208)에 들어갈 때에는 필라멘트의 높이보다 더 작은 높이를 갖고, 필라멘트가 히터(208)에 들어갈 때에는 필라멘트의 폭보다 더 큰 폭을 갖도록 압출 물질의 필라멘트를 변화시키도록 구성된다. 추가적으로, 채널(232)의 구조는 평탄화되고 있는 필라멘트(404)의 구역들에 수직인 방향으로 내측 및 외측으로 시프트(shift)된다. 채널의 벽들이 시프트되면 필라멘트의 상이한 부분들이 채널의 벽들을 향해 이동하게 된다. 상이한 부분들이 이동하면 필라멘트에 가해지는 공급력 및 차가운 부분의 강성에 의해 채널 내에서 열가소성 물질의 혼합을 유도하여 필라멘트를 열가소성 물질로 보다 효율적으로 변환한다. 구체적으로, 하향 방향 경사 벽(408)은 열가소성 물질을 채널(232)의 측면으로 푸시하는 한편, 필라멘트(404)의 더 차가운 중심 부분이 직선 라인으로 계속 이동하는 것을 도와준다. 열가소성 물질이 채널의 측면들에 대해 이렇게 변위하는 것은 하부 벽(412)이 또한 아래쪽으로 기울기 시작할 때까지 계속된다. 필라멘트의 더 차가운 중심 부분으로부터 열가소성 물질이 멀리 떨어질 때, 이 중심 부분이 적어도 상부 벽(408)으로부터 열에 노출된다. 이러한 노출은 필라멘트의 중심 부분이 열가소성 물질로 변형되는 것을 촉진시킨다.

## 도면

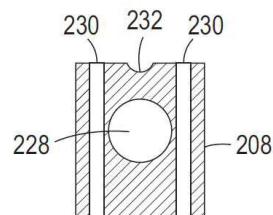
## 도면1



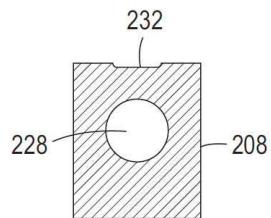
## 도면2a



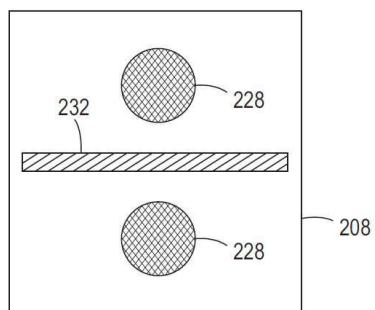
## 도면2b



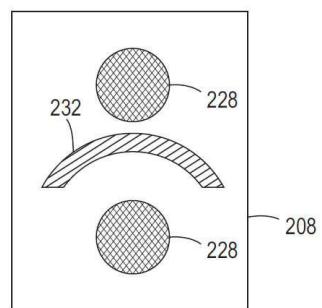
도면2c



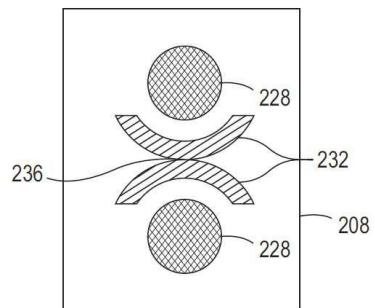
도면3a



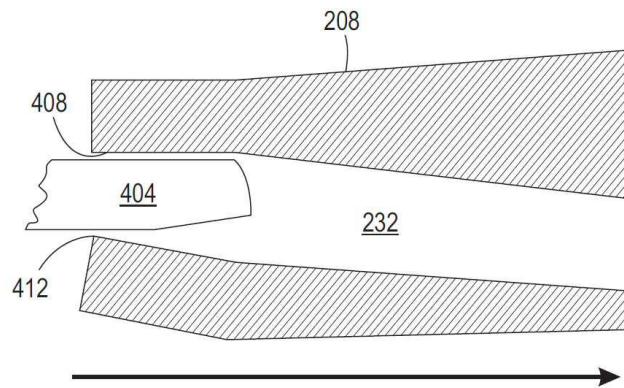
도면3b



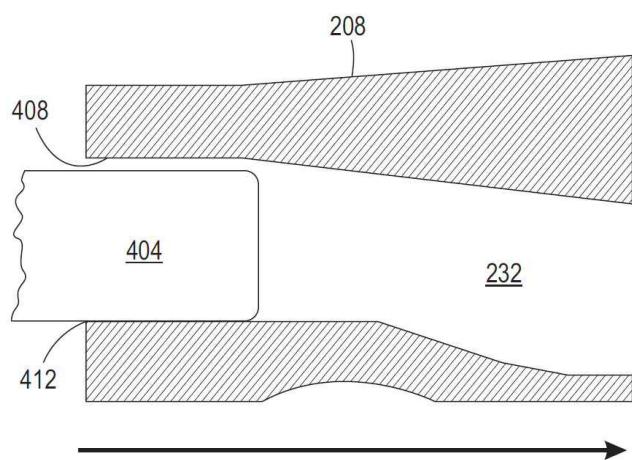
도면3c



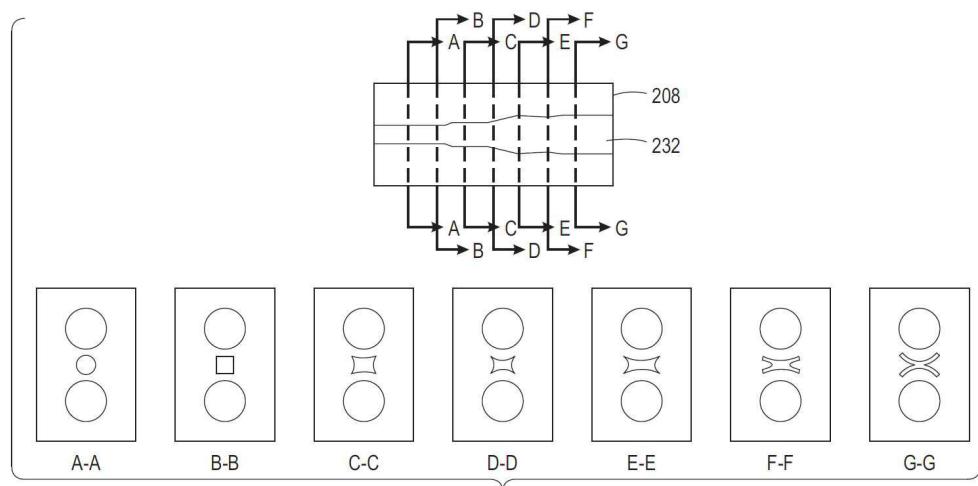
도면4



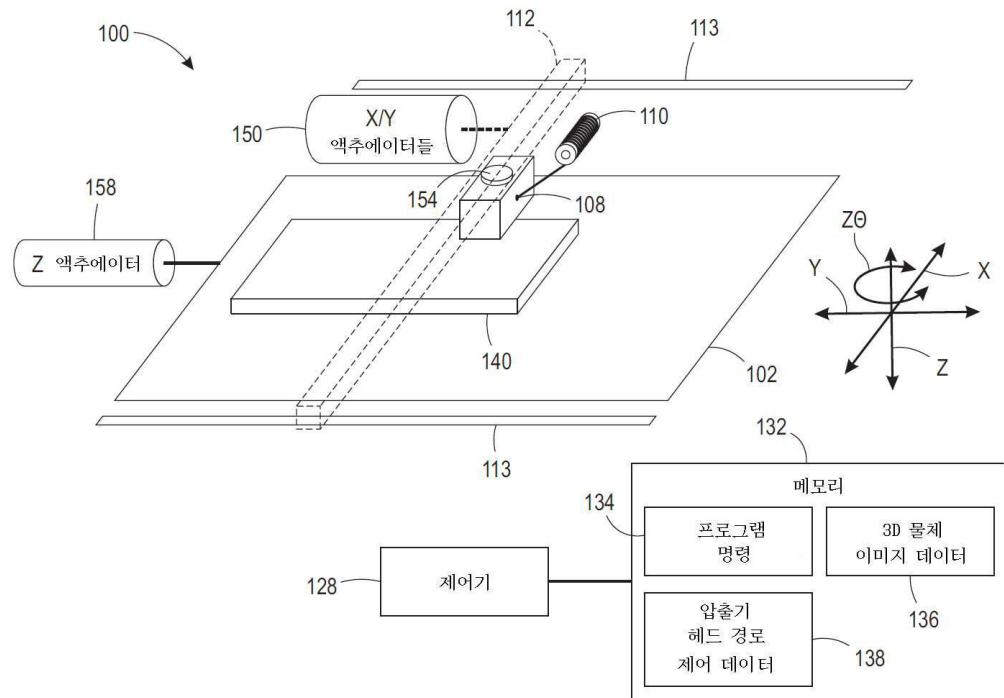
도면5



도면6



## 도면7



종래 기술