

**【서지사항】**

<b>【서류명】</b>	특허출원서
<b>【참조번호】</b>	P18H0268
<b>【출원구분】</b>	특허출원
<b>【출원인】</b>	
<b>【명칭】</b>	서울과학기술대학교 산학협력단
<b>【특허고객번호】</b>	2-2004-021001-3
<b>【대리인】</b>	
<b>【성명】</b>	이준성
<b>【대리인번호】</b>	9-2010-001492-7
<b>【발명의 국문명칭】</b>	열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법
<b>【발명의 영문명칭】</b>	Four-dimensional printing method using thermal anisotropy and thermal deformation
<b>【발명자】</b>	
<b>【성명】</b>	박근
<b>【성명의 영문표기】</b>	PARK, Keun
<b>【주민등록번호】</b>	*****-*****
<b>【우편번호】</b>	05502
<b>【주소】</b>	서울특별시 송파구 올림픽로 135 리센츠아파트 240-904
<b>【발명자】</b>	
<b>【성명】</b>	구본아
<b>【성명의 영문표기】</b>	G00, Bona

【주민등록번호】               \*\*\*\*\*-\*\*\*\*\*

【우편번호】                   34889

【주소】                       대전광역시 중구 유등천동로 428 파라곤아파트 302동 2203호

【출원언어】                  국어

【심사청구】                  청구

【공지에외적용대상증명서류의 내용】

【공개형태】                  학술대회 논문발표

【공개일자】                  2018.05.17

【공지에외적용대상증명서류의 내용】

【공개형태】                  학술대회 논문발표

【공개일자】                  2018.06.01

【공지에외적용대상증명서류의 내용】

【공개형태】                  학술대회 논문발표

【공개일자】                  2018.12.13

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】              2019R1A2C1002799

【부처명】                   과학기술정보통신부

【과제관리(전문)기관명】   한국연구재단

【연구사업명】               중견연구자지원사업

【연구과제명】               적층제조 특화설계 기반 혁신적 설계기법 연구

【기여율】                   1/1

【과제수행기관명】 서울과학기술대학교 산학협력단

【연구기간】 2019.03.01 ~ 2024.02.28

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 이준성

(서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원

【가산출원료】 37 면 0 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

【심사청구료】 12 항 671,000 원

【합계】 717,000 원

【감면사유】 전담조직(50%감면)[1]

【감면후 수수료】 358,500 원

【수수료 자동납부번호】 477-053740-02-019

【첨부서류】 1.공지에외적용대상(신규성상실의예외, 출원시의특례)규정을 적용받기 위한 증명서류\_1통2.위임장\_1통

## 【발명의 설명】

### 【발명의 명칭】

열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법{Four-dimensional printing method using thermal anisotropy and thermal deformation}

### 【기술분야】

【0001】 본 발명은 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D(four-dimensional) 프린팅 방법에 관한 것으로서, 더 상세하게는 4D 프린팅 적용을 위해 특수한 소재나 장비 없이 범용 소재와 장비를 사용하여 인위적으로 이방성을 부여하여 제품을 출력하고, 열처리를 통해 특정 방향으로의 열변형을 유발함으로써, 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅을 구현할 수 있는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 관한 것이다.

### 【발명의 배경이 되는 기술】

【0003】 4D 프린팅은 3D 프린팅으로 출력된 3차원 형상의 제품이 시간의 변화에 따라 변형되는 4차원 개념이 적용된 프린팅 기술이다. 이와 같은 4D 프린팅은 인간의 개입 없이 열, 수분, 진동, 중력, 공기 등 환경이나 에너지원의 자극에 의해 시간에 따라 형태가 달라지고 자가 변형이 가능한 스마트 소재를 3D 프린터로 출력하고, 이를 원하는 형태로 변형하기 위한 공정 제어기술이다.

【0004】 4D 프린팅 기술은 형상기억 소재나 하이드로겔(hydrogel) 등의 스마트 재료를 사용하거나 물성이 다른 다중 소재를 프린팅하는 방식으로 대상 제품을 출력하고 있으며, 이를 위해 다중 소재 프린터나 스마트 소재를 출력할 수 있도록 특수 제작한 프린터를 사용해야 하기 때문에 다양한 기술 분야의 적용에 한계가 있다.

【0005】 한편, 한국 등록특허공보 제10-1885474호(특허문헌 1)에는 "듀얼 노즐을 사용하는 4D 프린팅 장치"가 개시되어 있는 바, 이에 따른 4D 프린팅 장치는 폴리젯 방식인 3D 프린팅 방식 A를 기초로 제1 재료를 출력하는 제1 노즐과, FDM 방식인 3D 프린팅 방식 B를 기초로 제2 재료를 출력하는 제2 노즐을 포함하고, 상기 제1 재료는 전도성 페이스트를 포함하는 광경화 재료이고, 상기 제2 재료는 형상 기억 폴리머(SMP), 기능화된 탄소 나노 튜브(CNT) 및 고 흡수성 수지(SAP)가 혼합된 임계 환경 조건을 가지는 필라멘트이되, 상기 제2 재료의 유리 전이 온도는 상기 제1 재료의 유리 전이 온도보다 55℃ 이상 차이가 나는 것을 특징으로 한다.

【0006】 이상과 같은 특허문헌 1의 경우, 제1 노즐에 의해 3D 프린팅 방식 A를 바탕으로 제1 재료를 출력하고, 제2 노즐에 의해 3D 프린팅 방식 B를 바탕으로 제2 재료를 출력함으로써, 스마트 소재를 하나의 공정을 통해 제조하고, 이를 이용하여 3차원 객체를 출력할 수 있는 장점이 있으나, 이 또한 다중 소재 프린터나 스마트 소재를 출력할 수 있도록 특수 제작한 프린터를 사용해야 하기 때문에 상용화 및 시장성에 한계가 있다. 또한, 제1, 제2 재료로 구성되는 스마트 복합 재료의 형상 기억 소재의 성능을 높이기 위해 제1, 제2 재료 간의 유리 전이 온도의 차이가

큰(예컨대, 55℃ 이상 차이가 나는) 재료를 준비해야 하기 때문에 재료의 제공이 쉽지 않은 문제점을 내포하고 있다.

### 【선행기술문헌】

### 【특허문헌】

【0007】 (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-1885474호(2018.08.03. 공고)

### 【발명의 내용】

### 【해결하고자 하는 과제】

【0008】 본 발명은 이상과 같은 사항을 종합적으로 감안하여 창출된 것으로서, 4D 프린팅 적용을 위해 특수한 소재나 장비(프린터) 없이 범용 소재와 장비(예를 들면, 열가소성 플라스틱 필라멘트를 사용하는 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터를 사용하여 인위적으로 이방성을 부여하여 제품을 출력하고, 가열 등의 열처리를 통해 특정 방향으로의 열변형을 유발함으로써, 원하는 형태로의 변형을 갖는 4D 프린팅을 구현할 수 있는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

### 【과제의 해결 수단】

【0010】 상기의 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열 변형을 이용한 4D 프린팅 방법은,

【0011】 a) 시편에 원하는 형태의 열적 이방성을 부여하기 위한 횡방향 및 종방향의 가공 경로를 인위적으로 생성하는 단계;

【0012】 b) 상기 시편에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 각각 프린팅 하여 복수의 층의 횡방향층 및 종방향층 단면을 순차적으로 적층하여 3D 형상의 프린팅 제품을 형성하는 단계;

【0013】 c) 상기 형성된 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 특정 방향으로의 열변형을 발생시키는 단계; 및

【0014】 d) 상기 가열의 시간 조정에 의해 최종적으로 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅 제품을 얻는 단계를 포함하는 점에 그 특징이 있다.

【0015】 여기서, 상기 단계 b)에서 상기 합성수지 재료로는 열가소성 플라스틱 필라멘트가 사용될 수 있다.

【0016】 또한, 상기 단계 b)에서 시편에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅하는 것은 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터를 사용하여 수행될 수 있다.

【0017】 또한, 상기 단계 b)에서 시편에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅함에 있어서, 국부적인 열변형의 유발을 위해 등방성 프린팅 영역 내에 적어도 하나의 이방성 프린팅 영역을 설정하고, 상기 설정된 이방성 프린팅 영역에

는 이방성 프린팅을 수행할 수 있다.

【0018】 이때, 상기 등방성 프린팅 영역은  $+45^\circ$  의 사선 프린팅 경로를 가지는 복수의  $+45^\circ$  층과,  $-45^\circ$  의 사선 프린팅 경로를 가지는 복수의  $-45^\circ$  층이 순차적으로 교차 적층된 구조로 구성될 수 있다.

【0019】 또한, 상기 이방성 프린팅 영역은 횡방향의 프린팅 경로를 가지는 복수의 횡방향층과, 종방향의 프린팅 경로를 가지는 복수의 종방향층이 적층된 구조로 구성될 수 있다.

【0020】 또한, 상기 단계 c)에서 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 특정 방향으로의 열변형을 발생시킴에 있어서, 상기 적층되는 횡방향층의 수와 종방향층의 수를 변화시켜 열변형의 정도를 조절할 수 있다.

【0021】 또한, 상기 단계 c)에서 상기 3D 형상의 프린팅 제품을 가열함에 있어서, 상기 가열은 소재의 유리전이온도 이상의 온도로 일정 시간 수행될 수 있다.

【0022】 또한, 상기 단계 c)에서 상기 3D 형상의 프린팅 제품을 가열함에 있어서, 광조사 수단에 의한 광에너지 조사를 통해 가열할 수 있다.

【0023】 이때, 상기 광조사 수단은 광을 조사하는 광원과, 상기 광원으로부터 방출되어 상기 3D 형상의 프린팅 제품에 조사되는 광선의 진행 경로를 변화시키는 렌즈를 구비하고, 상기 3D 형상의 프린팅 제품으로부터의 상기 렌즈의 높이를 조절하여 광조사 영역을 조절할 수 있다.



【0024】 이때, 또한 상기 광에너지 조사를 통해 가열함에 있어서, 상기 3D 형상의 프린팅 제품이 등방성 프린팅 영역과 이방성 프린팅 영역을 가지는 제품일 경우, 상기 광조사 수단은 광을 조사하는 광원과, 상기 광원으로부터 방출되어 상기 3D 형상의 프린팅 제품에 조사되는 광선의 진행 경로를 변화시키는 렌즈와, 상기 렌즈를 통과한 광의 일부만 통과시키는 관통공이 형성되어 있는 마스크를 구비하고, 상기 마스크를 이용하여 상기 이방성 프린팅 영역에만 광조사를 집중시킬 수 있다.

【0025】 또한, 상기 단계 d)에서 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅 제품을 얻음에 있어서, 적어도 하나의 폴딩(folding) 영역을 가지는 특정 형태의 베이스 부품에 상기 국부적인 열변형을 유발하는 시편을 적용하여, 상기 시편의 국부적인 열변형 유발에 의해 상기 시편이 상기 베이스 부품에 자동 조립되어 하나의 일체화된 4D 프린팅 제품을 얻을 수 있다.

### 【발명의 효과】

【0027】 이와 같은 본 발명에 의하면, 4D 프린팅을 위해 특수한 소재나 장비 없이 범용 소재와 장비를 사용하여 인위적으로 이방성을 부여하여 제품을 출력하고, 열처리를 통해 특정 방향으로의 열변형을 유발함으로써, 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅을 구현할 수 있는 장점이 있다.

## 【도면의 간단한 설명】

【0029】 도 1은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법의 실행 과정을 나타낸 흐름도이다.

도 2는 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 있어서, 횡방향층 및 종방향층 단면을 각각 형성한 상태를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 있어서, 등방성 프린팅 영역 내에 이방성 프린팅 영역을 형성한 상태 및 등방성 프린팅 영역의 적층 프린팅 상태를 나타낸 도면이다.

도 4는 등방성 프린팅 영역 내에 형성된 이방성 프린팅 영역의 적층 프린팅 상태를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 있어서, 적외선 광조사 수단을 이용하여 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하는 상태를 나타낸 도면이다.

도 6은 도 5에 도시된 적외선 광조사 수단을 적용하여 3D 형상의 프린팅 제품을 가열함으로써 시간의 경과에 따라 열변형이 발생하는 과정을 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 적용되는 광조사 수단의 다른 실시예를 나타낸 도면이다.

도 8은 도 7에 도시된 광조사 수단을 적용하여 3D 형상의 프린팅 제품을 국

부적으로 가열함으로써 국부적인 열변형이 발생하는 과정을 나타낸 도면이다.

도 9 및 10은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 있어서, 국부적인 열변형을 이용하여 3D 프린팅 제품이 다른 부품과 자동 조립되는 과정을 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법을 특정 형상에 적용하여 4D 프린팅을 구현하는 과정을 나타낸 도면이다.

도 12는 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 있어서, 등방성 프린팅 영역 내에 이방성 프린팅 영역을 형성하여 국부적인 열변형을 구현하는 과정을 나타낸 도면이다.

도 13은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법을 특정 형상에 적용하여 4D 프린팅을 구현한 제품의 현미경 사진을 나타낸 도면이다.

도 14는 3:5의 횡방향층들과 종방향층들로 구성된 이방성 프린팅 시편에 대한 열처리 시간에 따른 모양 변화를 나타낸 도면이다.

도 15는 3:5, 4:4, 5:3의 횡방향층과 종방향층의 서로 다른 비를 갖는 이방성 프린팅 시편들에 대한 형상 변화를 비교하여 나타낸 도면이다.

도 16은 이방성 굽힘(bending) 변형을 설명하기 위한 일반 변형률의 순수 굽힘 모델을 나타낸 도면이다.

#### **【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】**

【0030】 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정되어 해석되지 말아야 하며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.

【0031】 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "장치" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

【0032】 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.

【0033】 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법의 실행 과정을 나타낸 흐름도이다.

【0034】 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법은, 먼저 시편(110)(도 2 참조)에 원하는 형태의 열적 이방성을 부여하기 위한 횡방향 및 종방향의 가공 경로를 인위적으로 생성한다(단계 S101).

【0035】 그런 다음, 시편(110)에 합성수지 재료를, 도 2에 도시된 바와 같이, 횡방향 및 종방향으로 각각 프린팅하여 복수의 층의 횡방향층(120) 및 종방향층(130) 단면을 순차적으로 적층하여 3D 형상의 프린팅 제품을 형성한다(단계

S102). 여기서, 상기 합성수지 재료로는 열가소성 플라스틱 필라멘트가 사용될 수 있다. 또한, 상기 시편(110)에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅하는 것은 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터를 사용하여 수행될 수 있다. 이때, 상기 FDM 방식의 3D 프린터를 사용하여 시편(110)에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅함에 있어서, 횡방향 및 종방향 프린팅의 각 프린팅 경로로는, 도식된 바와 같이, 프린팅 시작점으로부터 프린팅 종료점까지 중간에 끊김없이 하나의 연속된 선이 되도록 프린팅할 수 있다. 이렇게 프린팅을 수행함으로써 프린팅에 소요되는 시간을 단축할 수 있게 된다. 물론, 중간에 선이 끊어지는 형태의 프린팅이 수행될 수도 있음은 당연하다.

【0036】 여기서, 상기 FDM 방식의 3D 프린터를 사용하여 시편(110)에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅하는 것과 관련하여 조금 더 설명을 부가해 보기로 한다.

【0037】 상기 FDM 프린팅 수행시 등방성을 유지하기 위해  $+45^\circ$  의 사선 프린팅 경로와  $-45^\circ$  의 사선 프린팅 경로를 교차적으로 설정하는 것이 일반적이나, 도 2에 도식된 바와 같이, 종방향 혹은 횡방향의 단일 방향으로 프린팅된 합성수지 재료는 강한 이방성을 가지게 된다. 일례로, ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) 소재를 사용하여 길이 60mm, 폭 6mm, 두께 0.6mm의 직육면체 시편에 종방향 및 횡방향으로 각각 프린팅하고, 완성된 시편을  $150^\circ\text{C}$ 로 가열한 경우 발생된 방향별 치수 변화 및 그에 따른 열팽창계수( $\alpha_i$ )를 다음과 같이 표 1로 나타내었다.

## 【0038】 【표 1】

프린팅 방향	치수	가열 전(mm)	가열 후(mm)	$\alpha_i (\times 10^{-3}/^{\circ}\text{C})$
종방향 프린팅	길이(x)	59.89	48.18	-1.53
	폭(y)	6.41	7.19	0.95
횡방향 프린팅	길이(x)	60.01	61.25	0.16
	폭(y)	6.15	5.83	-0.40

【0039】 표 1을 참조하면, 종방향 프린팅의 경우 길이방향 치수(x)는 감소하고, 폭방향 치수(y)는 증가한 반면, 횡방향 프린팅의 경우 반대의 경향, 즉 길이방향 치수(x)는 감소하고 폭방향 치수(y)는 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다. 이는 FDM 프린팅 공정에서 소재가 압출되어 나오면서 길이 방향으로 인장 방향의 잔류응력이 발생하고, 폭 방향으로 압축 방향의 잔류응력이 발생하기 때문이다.

【0040】 또한, 상기 시편(110)에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅하여서 다른 방향별 열변형 특성을 갖는 복수의 층의 횡방향층(120) 및 종방향층(130) 단면을 순차적으로 적층함에 있어서, m층의 횡방향 프린팅을 수행한 후, 그 위에 n층의 종방향 프린팅을 수행할 수 있다. 여기서, 물론 이와 같이 횡방향 및 종방향 프린팅이 각각 m층, n층으로 한정되는 것은 아니며, 여러 가지 다른 형태, 예를 들면 n층의 횡방향 프린팅을 수행한 후, 그 위에 m층의 종방향 프린팅을 수행할 수도 있다. 또한, 횡방향 프린팅 적층 수와 종방향 프린팅 적층 수의 합이 어떠한 특정 수의 층으로 한정되는 것은 아니며, 여러 가지 다른 형태의 층수로 구성될 수도 있다. 여기서, 상기 m과 n은  $m > n$ ,  $m = n$ ,  $m < n$ 의 관계를 가질 수 있다.

【0041】 또한, 상기 단계 S102에서 시편(110)에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅함에 있어서, 국부적인 열변형의 유발을 위해, 도 3에 도시된 바와 같이, 등방성 프린팅 영역(310) 내에 적어도 하나의 이방성 프린팅 영역(320)을 설정하고, 설정된 이방성 프린팅 영역(320)에는 이방성 프린팅을 수행할 수 있다. 이때, 상기 등방성 프린팅 영역(310)은 도 3의 (A)와 같이  $+45^\circ$ 의 사선 프린팅 경로를 가지는 복수의  $+45^\circ$  층(310a)과, (B)와 같이  $-45^\circ$ 의 사선 프린팅 경로를 가지는 복수의  $-45^\circ$  층(310b)이 순차적으로 교차 적층된(즉,  $+45^\circ / -45^\circ / +45^\circ / -45^\circ$  식으로 교차 적층된) 구조로 구성될 수 있다.

【0042】 또한, 상기 이방성 프린팅 영역(320)은 도 4의 (A)와 같이 횡방향의( $90^\circ$ ) 프린팅 경로를 가지는 복수의 횡방향층(320a)과, (B)와 같이 종방향의( $0^\circ$ ) 프린팅 경로를 가지는 복수의 종방향층(320b)이 적층된(즉,  $90^\circ / 90^\circ / 0^\circ / 0^\circ$  식으로 적층된) 구조로 구성될 수 있다. 이때, 상기 복수의 횡방향층(320a)과 복수의 종방향층(320b)이 적층된 구조는 m층의 횡방향층 위에 n층의 종방향층이 적층된 구조일 수 있다. 여기서, 이와 같이 m층의 횡방향층 위에 n층의 종방향층이 적층된 구조로 한정되는 것은 아니며, 다양한 형태, 예를 들면 n층의 횡방향층 위에 m층의 종방향층이 적층된 구조 등으로 구성될 수도 있다. 여기서도 마찬가지로, 상기 m과 n은  $m > n$ ,  $m = n$ ,  $m < n$ 의 관계를 가질 수 있다.

【0043】 한편, 이상에 의해 3D 형상의 프린팅 제품의 형성이 완료되면, 그 형성된 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 특정 방향으로의 열변형을 발생시킨다(단계 S103).

【0044】여기서, 상기 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 특정 방향으로의 열변형을 발생시킴에 있어서, 위에서 설명한 바와 같은 상기 적층되는 횡방향층의 수와 종방향층의 수를 변화시켜 열변형의 정도를 조절할 수 있다.

【0045】또한, 상기 3D 형상의 프린팅 제품을 가열함에 있어서, 이와 같은 가열은 소재의 유리전이온도 이상의 온도로 일정 시간 수행될 수 있다. 예를 들면, 가열은 150℃의 온도로 15분 동안 수행될 수 있다. 그러나 이와 같이 가열이 150℃의 온도로 15분 동안 수행되는 것으로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 4D 프린팅 방법이 적용되는 조건이나 대상에 따라 온도와 시간 등은 다양하게 변경될 수 있다.

【0046】또한, 상기 3D 형상의 프린팅 제품을 가열함에 있어서, 광조사 수단에 의한 광에너지 조사를 통해 가열할 수 있다. 이때, 상기 광조사 수단은, 도 5에 도시된 바와 같이, 광을 조사하는 광원(510)과, 상기 광원(510)으로부터 방출되어 상기 3D 형상의 프린팅 제품(590)에 조사되는 광선의 진행 경로를 변화시키는 렌즈(520)를 구비하여 구성될 수 있고, 상기 3D 형상의 프린팅 제품(590)으로부터의 상기 렌즈(520)의 높이를 조절하여 광조사 영역을 조절할 수 있다. 여기서, 상기 광원(510)으로는, 예를 들면 적외선을 방출하는 적외선 램프가 사용될 수 있다. 또한, 상기 3D 형상의 프린팅 제품(590)은 전술한 바와 같이 복수의 횡방향층(590a)과 종방향층(590b)의 적층 구조일 수 있다. 도 5에서 참조 번호 530은 반사경, 540은 렌즈 홀더, 550은 렌즈 높이 조절부, 560은 상판, 570은 하판, 580은 지지 기둥을 각각 나타낸다.



【0047】 도 6은 도 5에 도시된 광조사 수단을 적용하여 3D 형상의 프린팅 제품을 가열함으로써 시간의 경과에 따라 열변형이 발생하는 과정을 나타낸 도면이다.

【0048】 도 6을 참조하면, 실험에 의하면 종래 일반적인 가열로에서 3D 형상의 프린팅 제품에 열처리를 수행한 경우 약 15분이 소요된 반면, 전술한 도 5의 광조사 수단에 의해 가열한 경우 80초(1분 20초)만에 유사한 열변형이 발생함을 관찰할 수 있었다. 이로부터 본 발명의 방법을 적용할 경우 열변형 발생까지의 소요 시간을 종래의 약 1/10로 단축할 수 있는 효과가 있음을 알 수 있다.

【0049】 도 7은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 적용되는 광조사 수단의 다른 실시예를 나타낸 도면이다.

【0050】 도 7을 참조하면, 상기 광에너지 조사를 통해 가열함에 있어서, 3D 형상의 프린팅 제품(595)이 등방성 프린팅 영역(595a)과 이방성 프린팅 영역(595b)을 가지는 제품일 경우, 상기 광조사 수단은 광을 조사하는 광원(510)과, 상기 광원(510)으로부터 방출되어 상기 3D 형상의 프린팅 제품(595)에 조사되는 광선의 진행 경로를 변화시키는 렌즈(520)와, 상기 렌즈(520)를 통과한 광의 일부만 통과시키는 관통공(585h)이 형성되어 있는 마스크(585)를 구비하여 구성될 수 있고, 상기 마스크(585)를 이용하여 상기 이방성 프린팅 영역(595b)에만 광조사를 집중시킬 수 있다. 도 7에서 참조 번호 530은 반사경, 540은 렌즈 홀더, 550은 렌즈 높이 조절부, 560은 상판, 570은 하판, 580은 지지 기둥, 586은 마스크 높이 조절부를 각각 나타낸다.

【0051】 도 8은 도 7에 도시된 광조사 수단을 적용하여 3D 형상의 프린팅 제품을 국부적으로 가열함으로써 국부적인 열변형이 발생하는 과정을 나타낸 도면이다.

【0052】 도 8을 참조하면, 도 7에 도시된 바와 같이 마스크(585)를 이용하여 이방성 프린팅 영역(595b)에만 국부적으로 광(예컨대, 적외선)을 조사함으로써, 시간의 경과에 따라 국부적인 열변형이 발생함을 알 수 있다.

【0053】 다시 도 1을 참조하면, 이상에 의해 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 프린팅 제품에 특정 방향으로의 열변형이 발생하면, 상기 가열의 시간 조절에 의해 최종적으로 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅 제품을 얻는다(단계 S104).

【0054】 여기서, 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅 제품을 얻음에 있어서, 도 9 및 도 10에 도시된 바와 같이, 적어도 하나의 폴딩(folding) 영역(301f)(302f)을 가지는 특정 형태의 베이스(base) 부품(301)(302)에 전술한 바와 같은 국부적인 열변형을 유발하는 3D 프린팅 제품(즉, 등방성 프린팅 영역(310) 내에 이방성 프린팅 영역(320)이 형성되어 있는 3D 프린팅 제품)을 적용하여, 상기 3D 프린팅 제품의 국부적인 열변형 유발에 의해 3D 프린팅 제품이 상기 베이스 부품(301)(302)에 자동 조립되어 하나의 일체화된 4D 프린팅 제품을 얻을 수 있다.

【0055】 한편, 도 11은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법을 특정 형상에 적용하여 4D 프린팅을 구현하는 과정을 나타낸 도면이다.

【0056】 도 11을 참조하면, 이는 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법을 (A)와 같이 별 모양의 시편(610)에 횡방향층(620) 프린팅 및 종방향층(630) 프린팅을 순차적으로 수행한 후 가열할 경우, (B)와 같이 시간의 경과(5분 → 7분 → 9분 → 11분 → 13분 → 15분)에 따라 점차적으로 별 모양의 프린팅 제품에 변형이 유발되어 최종적으로 불가사리의 움직임과 같은 4D 프린팅이 구현되는 것을 나타낸 것이다.

【0057】 도 12는 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 있어서, 등방성 프린팅 영역 내에 이방성 프린팅 영역을 형성하여 국부적인 열변형을 구현하는 과정을 나타낸 도면이다.

【0058】 도 12를 참조하면, 이는 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 있어서, 시편의 등방성 프린팅 영역 내(710)에 이방성 프린팅 영역(720)을 국부적으로 형성하여 가열하였을 때, 시간의 경과(5분 → 7분 → 9분 → 11분 → 13분 → 15분)에 따라 점차적으로 프린팅 제품에 변형이 유발되어 (즉, 이방성 프린팅 영역(720)에 국부적으로 변형이 발생하여) 최종적으로 연속적인 변형(bending) 대신 국부적인 열변형(folding)의 4D 프린팅이 구현되는 것을 나타낸 것이다.

【0059】 도 13은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법을 특정 형상에 적용하여 4D 프린팅을 구현한 제품의 현미경 사진을 나타낸 도면이다.

【0060】 도 13을 참조하면, 이는 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을

이용한 4D 프린팅 방법을 특정 형상, 예를 들면, 별 모양의 형상에 적용하여 4D 프린팅을 구현한 제품의 현미경 사진으로서, 별 모양 형상의 a, b, c 각 부분에 대한 부분 발체 확대 사진 영상을 통해서도 알 수 있는 바와 같이, 횡방향 및 종방향 프린팅 방향을 확인할 수 있다.

【0061】여기서, 이상과 같은 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 있어서, 이방성으로 적층된 시편의 굽힘(bending) 변형과 관련하여 설명을 부가해 보기로 한다.

【0062】도 14는 세 개의 횡방향으로 프린팅된 층들과 다섯 개의 종방향으로 프린팅된 층들로 구성된 이방성으로 프린팅된 시편에 대한 가열 시간에 따른 모양 변화를 보여준다. 바(bar)의 단부는 7분간의 가열 후에 구부러지기 시작하는 것을 볼 수 있다. 이것은 시편이 자체 중량을 극복함으로써 열 변형을 시작하기에 충분히 가열되었음을 나타낸다. 즉, 하부 영역(횡방향으로 프린팅된)의 길이 증가 및 상부 영역(종방향으로 프린팅된)의 길이 감소는 결과적으로 굽힘(bending) 변형을 야기한다. 이 굽힘 변형은 가열 시간의 증가와 함께 계속되고, 직사각형 바 시편은 도 14에 도시된 바와 같이 타원형으로 변화된다.

【0063】이러한 굽힘 거동은 종방향에 대한 횡방향 층들의 비율을 변화시킴으로써 더 조사되었다. 직사각형 바는 3개의 서로 다른 종횡비(즉, 3:5, 4:4, 5:3)로 프린팅되었다. 이에 대한 결과적인 형상 변화는 도 15에 나타난 바와 같으며, 이는 횡방향으로 프린팅된 층의 수가 증가함에 따라 굽힘의 순서(order)가 증가함을 나타낸다. 이러한 경향은 간단한 변형률 가정을 가진 분석 모델에 의해 해석될

수 있다.

【0064】 도 16은 서로 다른 열팽창 계수( $\alpha_l$  및  $\alpha_t$ )를 갖는 두 가지 재료로 구성된 일반 변형률의 순수 굽힘(bending) 모델을 나타낸 것이다. 여기서, 첨자 l 및 t는 종방향 및 횡방향 프린팅 경로를 각각 나타낸다.

【0065】  $\Delta T$ 의 온도 변화 하에서 초기 길이 L을 갖는 빔의 열 변형은 종방향 및 횡 방향으로 프린팅된 바(bar)에 대해 다음의 수식으로 표현된다.

【0066】 【수학식 1】

$$L_l = L(1 + \alpha_l \Delta T) = \left( \rho - \frac{t_l}{2} \right) \theta$$

$$\text{【0067】} \quad L_t = L(1 + \alpha_t \Delta T) = \left( \rho + \frac{t_t}{2} \right) \theta$$

【0068】 여기서,  $L_l$ 과  $L_t$ 는  $\Delta T$ 의 온도 변화 하에서 각 바의 변형된 길이이다.  $\rho$ 와  $\theta$ 는 곡률 반경과 굴곡된 빔의 해당 각도이다. 이 두 방정식을 조합하여 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

【0069】 【수학식 2】

$$\rho = \frac{t_l + t_t}{2(\alpha_t - \alpha_l)\Delta T} + \frac{\alpha_t t_l + \alpha_l t_t}{2(\alpha_t - \alpha_l)}$$

【0070】 위의 수학적 식 2에서, 첫 번째 항은 주어진 적층 조건(예를 들면,  $t_i + t_t = 1.6 \text{ mm}$ ) 하에서 불변하며, 두 번째 항은 적층의 조합에 따라 변한다. 따라서,  $t_i$ 가 증가할 때 곡률 반경이 증가하고,  $a_i$ 가 음수이고  $a_t$ 가 양수이기 때문에  $t_t$ 가 감소한다. 이것은 도 10의 형상 변화 결과를 설명할 수 있는데, 이것은 횡 방향으로 프린팅된 층들의 더 큰 부분이 더욱 심각한 굽힘 변형(더 작은 곡률 반경)을 유발한다는 것을 나타낸다.

【0072】 이상의 설명과 같이, 본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법은, 4D 프린팅 적용을 위해 특수한 소재나 장비(프린터) 없이 범용 소재와 장비(예를 들면, 열가소성 플라스틱 필라멘트를 사용하는 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터)를 사용하여 인위적으로 이방성을 부여하여 제품을 출력하고, 열처리를 통해 특정 방향으로의 열변형을 유발시킴으로써, 저렴한 비용으로 4D 프린팅을 구현할 수 있고, FDM 프린터로 출력이 가능한 다양한 엔지니어링 플라스틱 재료로 기능성 제품의 제작이 가능한 장점이 있다.

【0073】 또한, 본 발명의 4D 프린팅 방법은 4D 프린팅에 특화된 소재나 장비(프린터) 없이 FDM 형태의 상용 프린터와 저가의 열가소성 플라스틱 재료를 사용하여 프린팅 경로만을 조절함으로써 4D 프린팅을 구현할 수 있으며, 이에 따라 일반 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다.

【0074】 또한, 종래 4D 프린팅 방식이 가역적인(reversible) 변형을 보이는 반면, 본 발명에 따른 4D 프린팅 방법은 비(非)가역적인 변형을 보여 영구 변형이 필요한 제품의 생산에 사용할 수 있는 장점이 있다.

【0075】 이상, 바람직한 실시 예를 통하여 본 발명에 관하여 상세히 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양하게 변경, 응용될 수 있음은 당해 기술분야의 통상의 기술자에게 자명하다. 따라서, 본 발명의 진정한 보호 범위는 다음의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술적 사상은 본 발명의 권리 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

#### 【부호의 설명】

【0076】 110: 시편	120,590a,620: 횡방향층
301,302: 베이스 부품	301f,302f: 폴딩 영역
130,590b,630: 종방향층	310,595a,710: 등방성 프린팅 영역
320,595b,720: 이방성 프린팅 영역	310a: +45° 층
310b: -45° 층	510: 광원
520: 렌즈	530: 반사경
540: 렌즈 홀더	550: 렌즈 높이 조절부
560: 상판	570: 하판
580: 지지 기둥	585: 마스크

585h: 관통공

586: 마스크 높이 조절부

590,595: 3D 프린팅 제품

610: 별 모양의 시편



## 【청구범위】

### 【청구항 1】

a) 시편에 원하는 형태의 열적 이방성을 부여하기 위한 횡방향 및 종방향의 가공 경로를 인위적으로 생성하는 단계;

b) 상기 시편에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 각각 프린팅하여 복수의 층의 횡방향층 및 종방향층 단면을 순차적으로 적층하여 3D 형상의 프린팅 제품을 형성하는 단계;

c) 상기 형성된 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 특정 방향으로의 열변형을 발생시키는 단계; 및

d) 상기 가열의 시간 조절에 의해 최종적으로 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅 제품을 얻는 단계를 포함하는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

### 【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 단계 b)에서 상기 합성수지 재료는 열가소성 플라스틱 필라멘트인 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 3】**

제1항에 있어서,

상기 단계 b)에서 시편에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅하는 것은 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터를 사용하여 수행되는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 4】**

제1항에 있어서,

상기 단계 b)에서 시편에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 프린팅함에 있어서, 국부적인 열변형의 유발을 위해 등방성 프린팅 영역 내에 적어도 하나의 이방성 프린팅 영역을 설정하고, 상기 설정된 이방성 프린팅 영역에는 이방성 프린팅을 수행하는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 5】**

제4항에 있어서,

상기 등방성 프린팅 영역은  $+45^\circ$ 의 사선 프린팅 경로를 가지는 복수의  $+45^\circ$  층과,  $-45^\circ$ 의 사선 프린팅 경로를 가지는 복수의  $-45^\circ$  층이 순차적으로 교차 적층된 구조로 구성되는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 6】**

제4항에 있어서,

상기 이방성 프린팅 영역은 횡방향의 프린팅 경로를 가지는 복수의 횡방향층과, 종방향의 프린팅 경로를 가지는 복수의 종방향층이 적층된 구조로 구성되는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 7】**

제1항에 있어서,

상기 단계 c)에서 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 특정 방향으로의 열변형을 발생시킴에 있어서, 상기 적층되는 횡방향층의 수와 종방향층의 수를 변화시켜 열변형의 정도를 조절하는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 8】**

제1항에 있어서,

상기 단계 c)에서 상기 3D 형상의 프린팅 제품을 가열함에 있어서, 상기 가열은 소재의 유리전이온도 이상의 온도로 일정 시간 수행되는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 9】**

제1항에 있어서,

상기 단계 c)에서 상기 3D 형상의 프린팅 제품을 가열함에 있어서, 광조사 수단에 의한 광에너지 조사를 통해 가열하는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 10】**

제9항에 있어서,

상기 광조사 수단은 광을 조사하는 광원과, 상기 광원으로부터 방출되어 상기 3D 형상의 프린팅 제품에 조사되는 광선의 진행 경로를 변화시키는 렌즈를 구비하고, 상기 3D 형상의 프린팅 제품으로부터의 상기 렌즈의 높이를 조절하여 광조사 영역을 조절하는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【청구항 11】**

제9항에 있어서,

상기 광에너지 조사를 통해 가열함에 있어서, 상기 3D 형상의 프린팅 제품이 등방성 프린팅 영역과 이방성 프린팅 영역을 가지는 제품일 경우, 상기 광조사 수단은 광을 조사하는 광원과, 상기 광원으로부터 방출되어 상기 3D 형상의 프린팅 제품에 조사되는 광선의 진행 경로를 변화시키는 렌즈와, 상기 렌즈를 통과한 광의 일부만 통과시키는 관통공이 형성되어 있는 마스크를 구비하고, 상기 마스크를 이

용하여 상기 이방성 프린팅 영역에만 광조사를 집중시키는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

### 【청구항 12】

제4항에 있어서,

상기 단계 d)에서 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅 제품을 얻음에 있어서, 적어도 하나의 폴딩(folding) 영역을 가지는 특정 형태의 베이스 부품에 상기 국부적인 열변형을 유발하는 시편을 적용하여, 상기 시편의 국부적인 열변형 유발에 의해 상기 시편이 상기 베이스 부품에 자동 조립되어 하나의 일체화된 4D 프린팅 제품을 얻는 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법.

**【요약서】****【요약】**

본 발명은 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 열적 이방성 및 열변형을 이용한 4D 프린팅 방법은, 시편에 원하는 형태의 열적 이방성을 부여하기 위한 횡방향 및 종방향의 가공 경로를 인위적으로 생성하는 단계; 시편에 합성수지 재료를 횡방향 및 종방향으로 각각 프린팅하여 복수의 층의 횡방향층 및 종방향층 단면을 순차적으로 적층하여 3D 형상의 프린팅 제품을 형성하는 단계; 상기 형성된 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 특정 방향으로의 열변형을 발생시키는 단계; 및 가열의 시간 조절에 의해 최종적으로 원하는 형태의 변형을 갖는 4D 프린팅 제품을 얻는 단계를 포함하고, 상기 3D 형상의 프린팅 제품을 가열하여 특정 방향으로의 열변형을 발생시킴에 있어서, 상기 적층되는 횡방향층의 수와 종방향층의 수를 변화시켜 열변형의 정도를 조절하거나, 등방성 프린팅 영역 내에 이방성 프린팅 영역을 설정하여 국부적인 열변형을 발생시킨다.

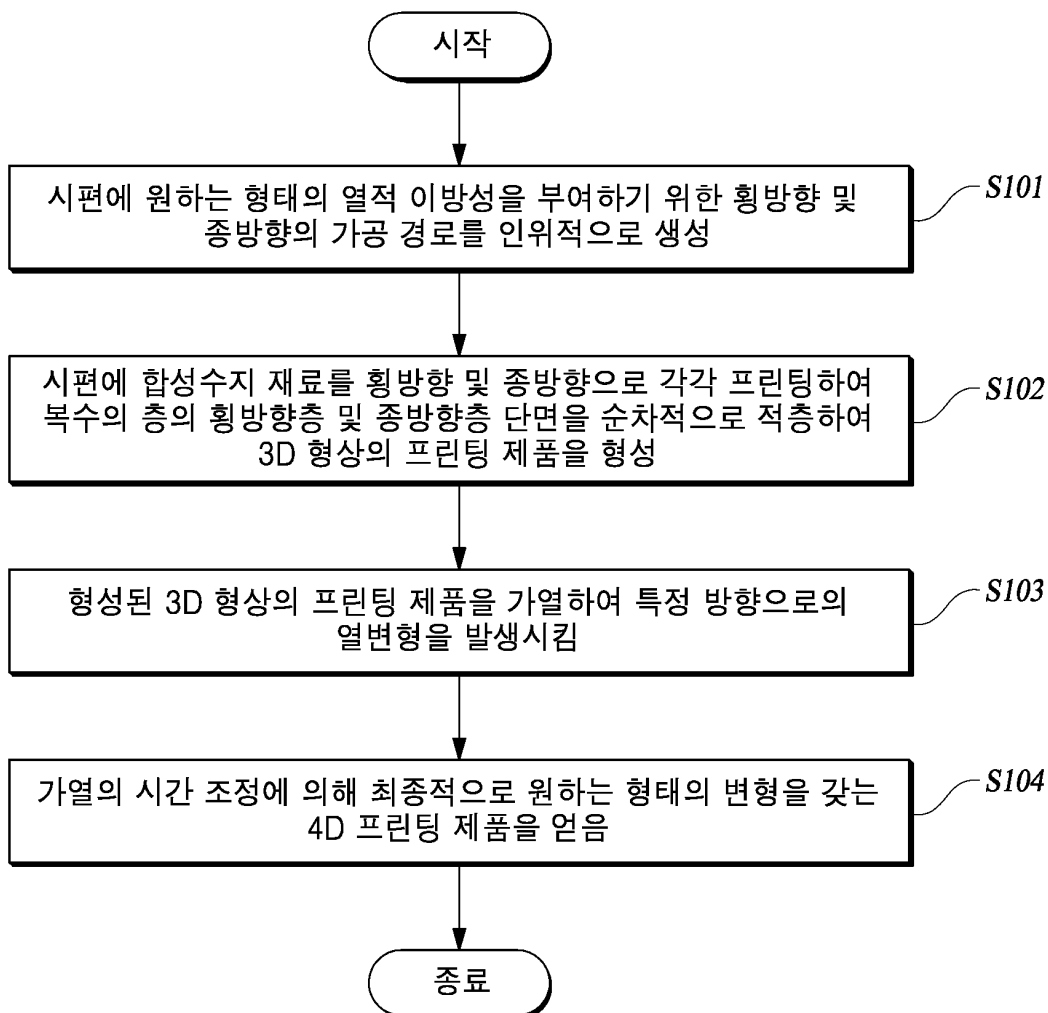
이와 같은 본 발명에 의하면, 4D 프린팅을 위해 특수한 소재나 장비 없이 범용 소재와 장비를 사용하여 인위적으로 이방성을 부여하여 제품을 출력하고, 열처리를 통해 특정 방향으로의 열변형을 유발함으로써, 원하는 형태로의 변형을 갖는 4D 프린팅을 구현할 수 있다.

【대표도】

도 1

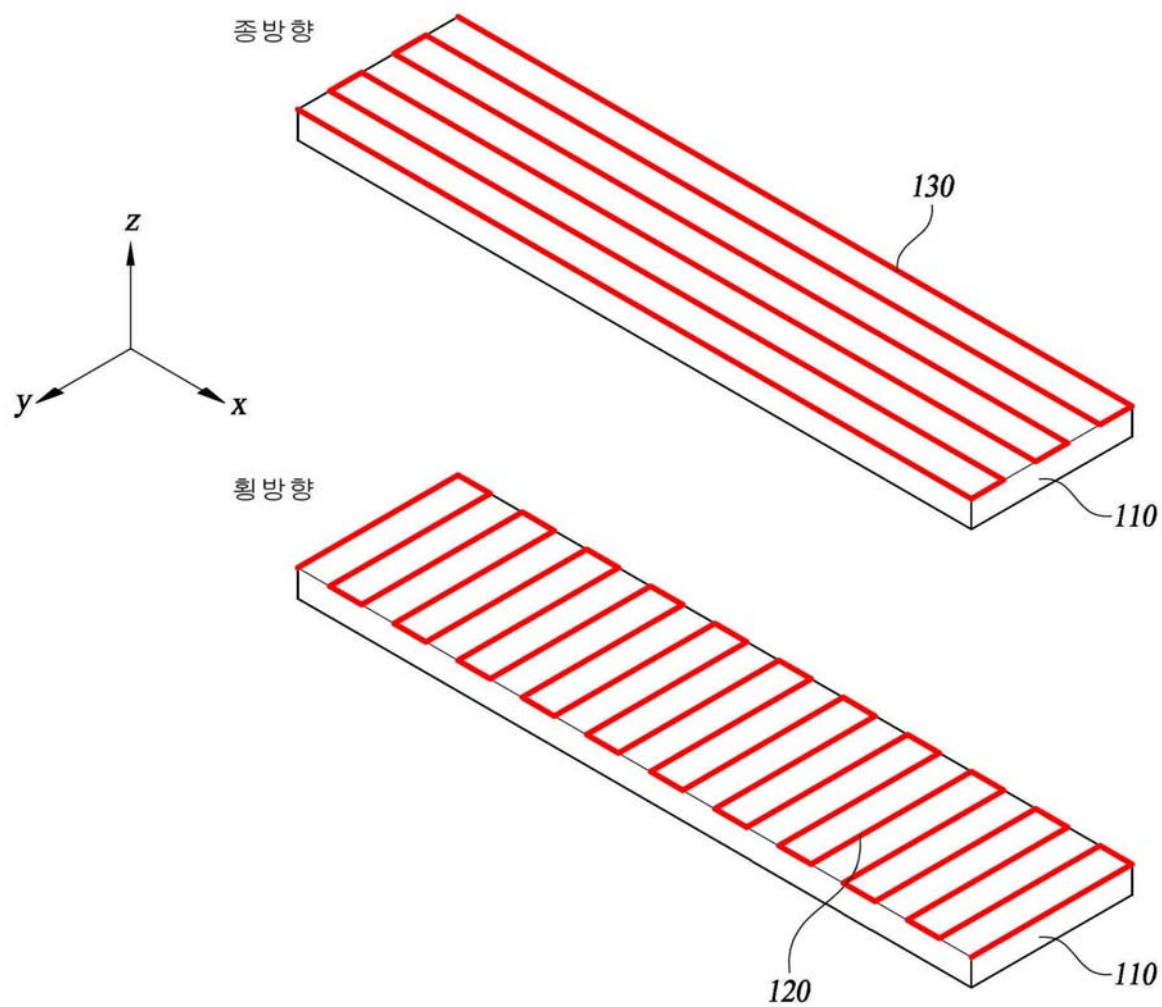
## 【도면】

【도 1】

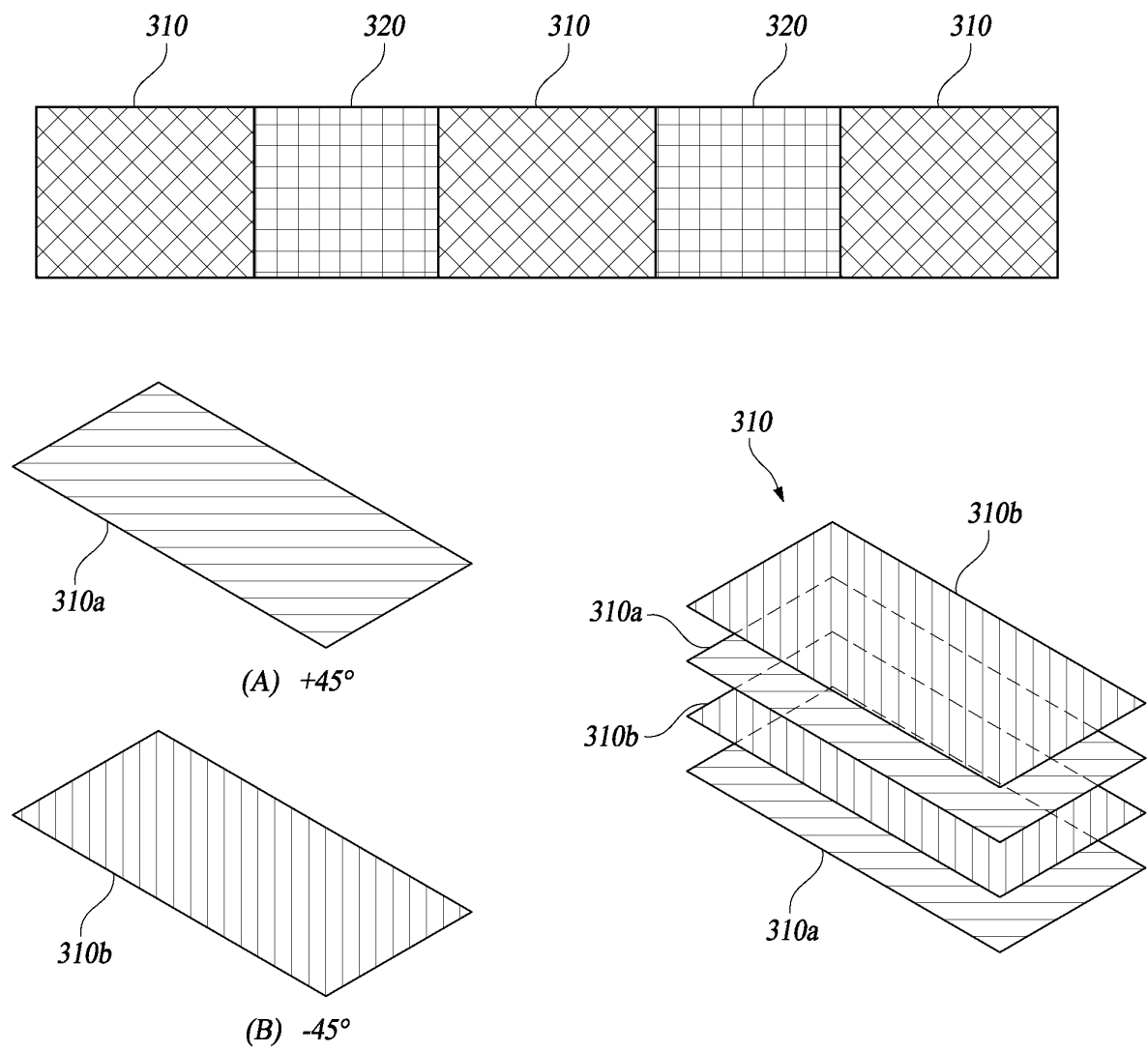




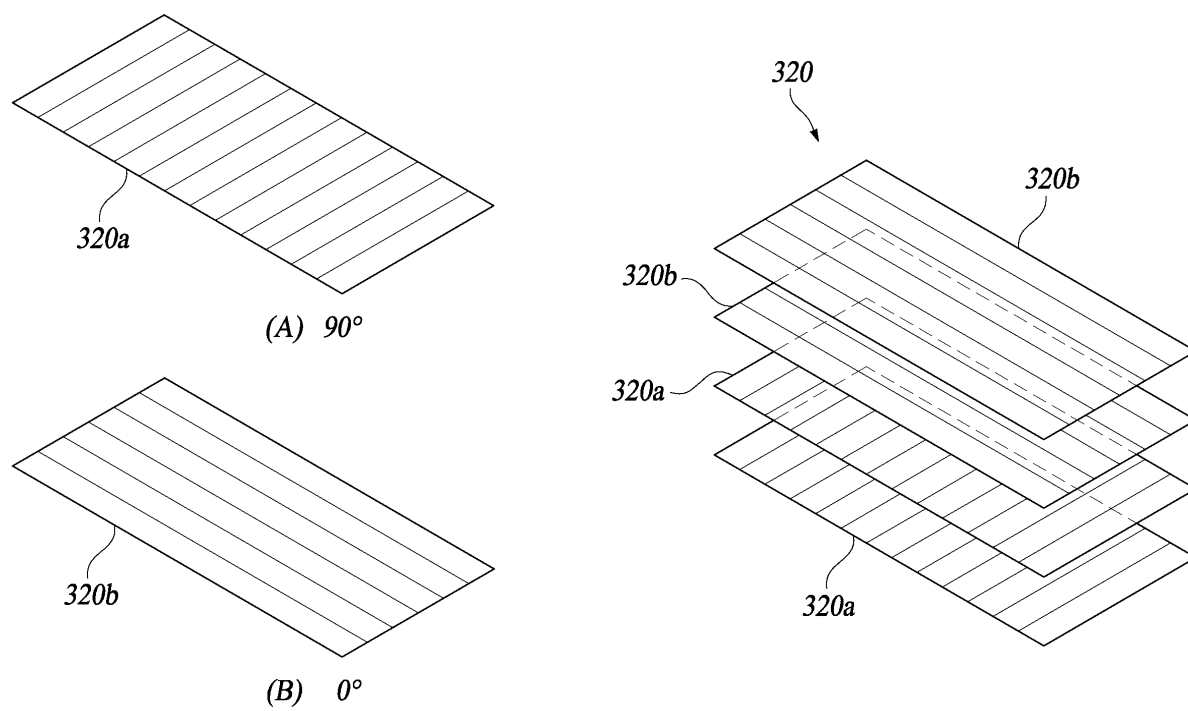
【도 2】



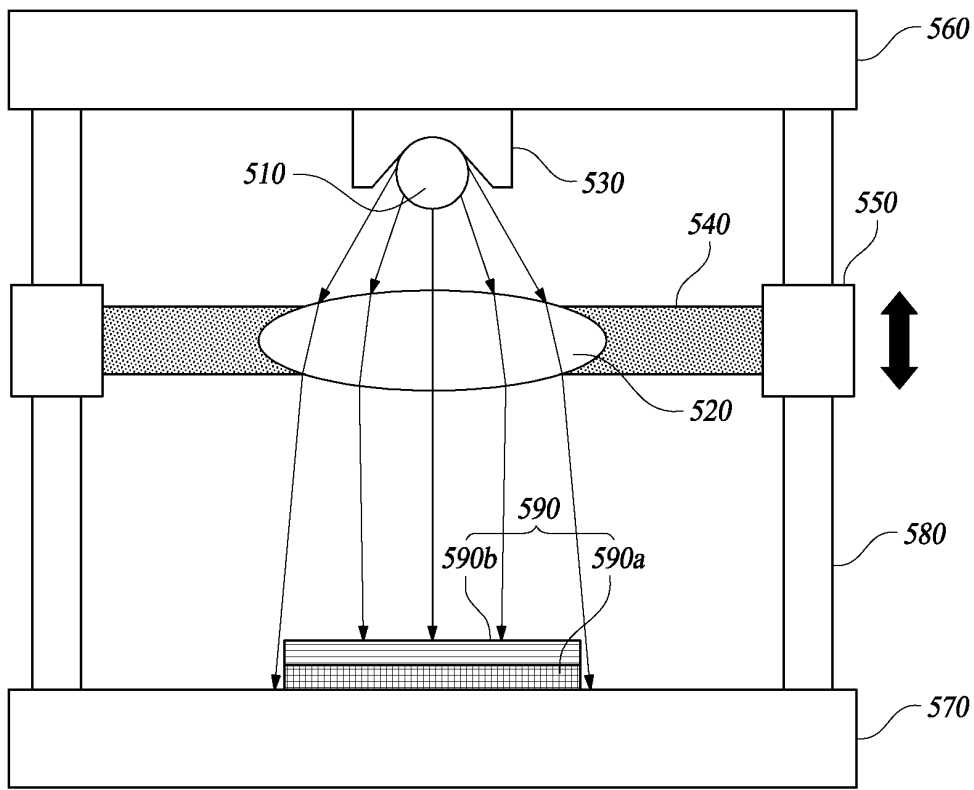
【도 3】



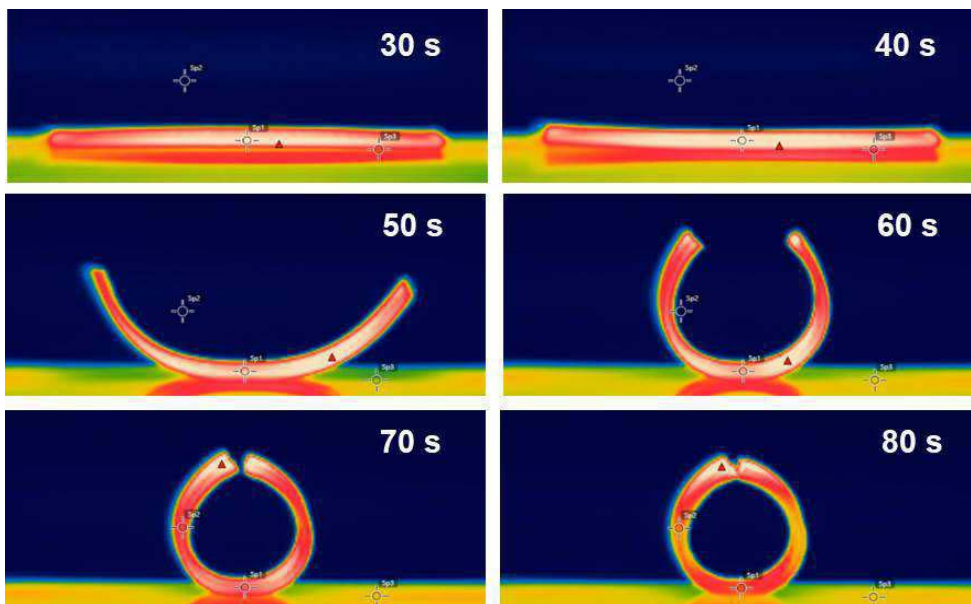
【도 4】



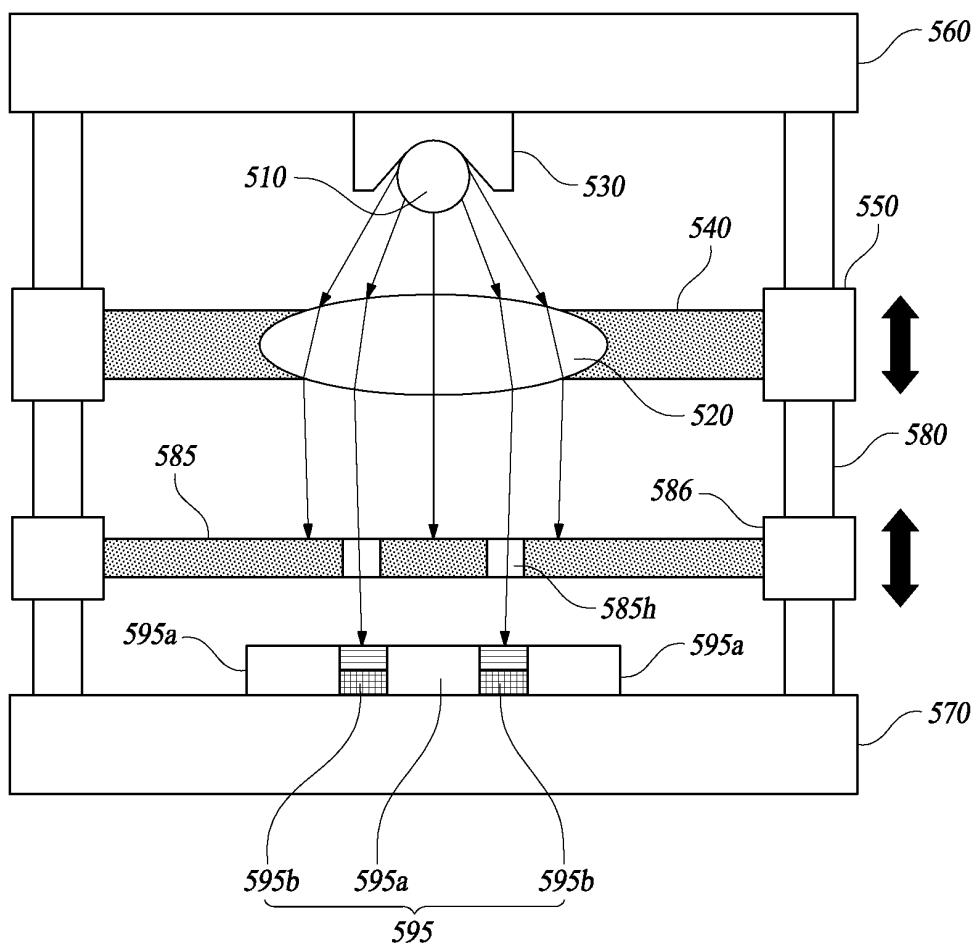
【도 5】



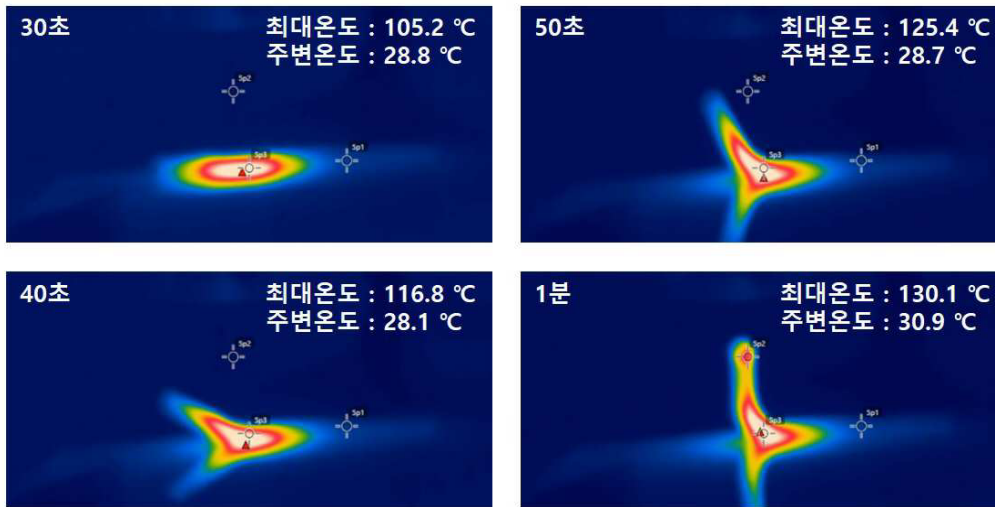
【도 6】



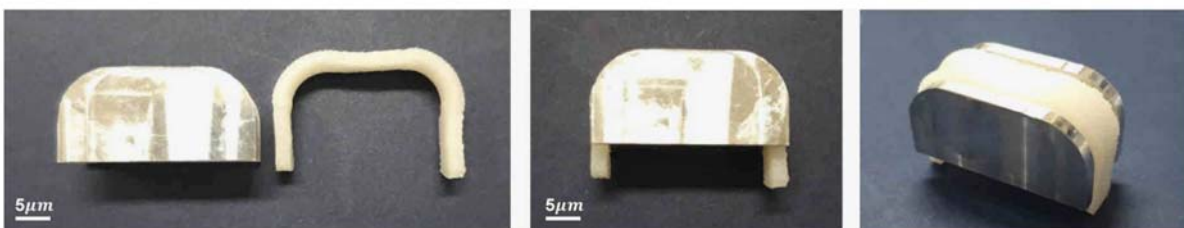
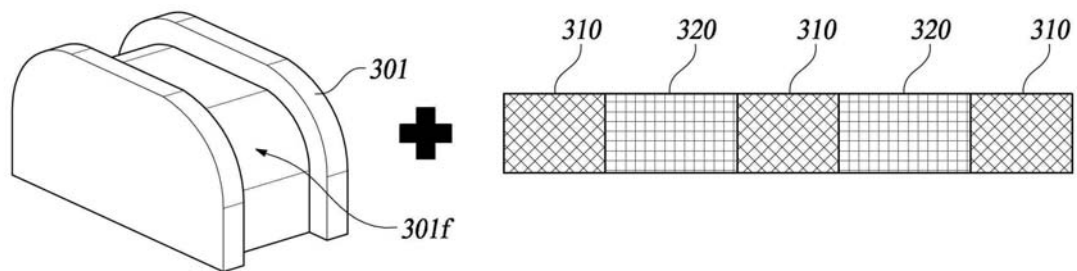
【도 7】



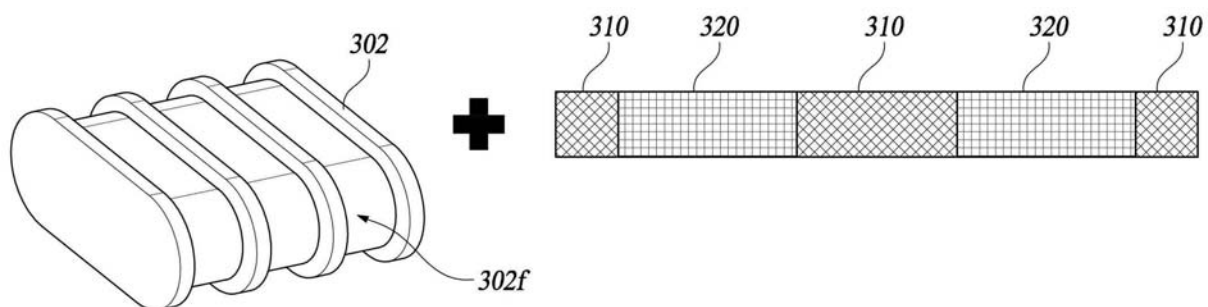
【도 8】



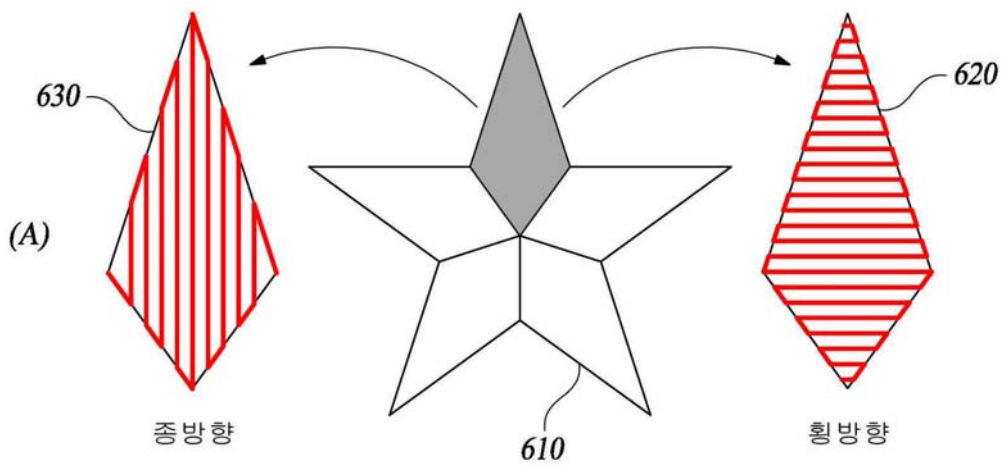
【도 9】



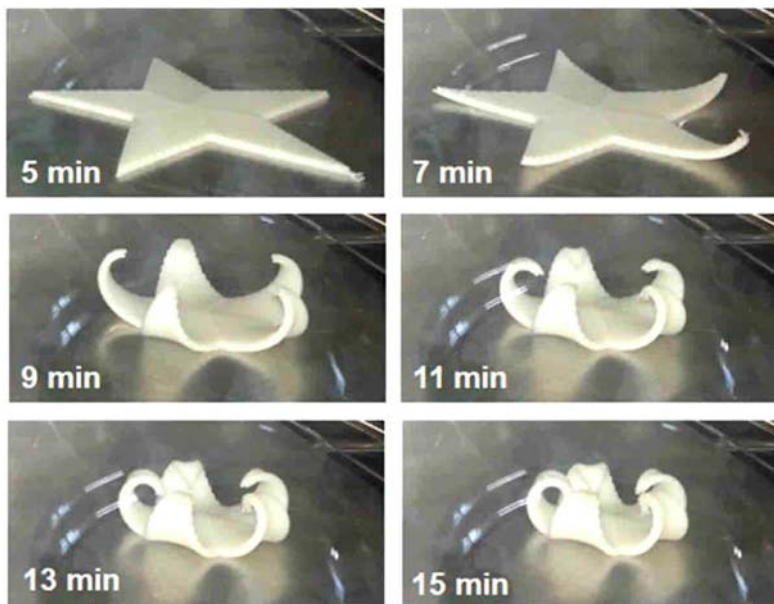
【도 10】



【도 11】

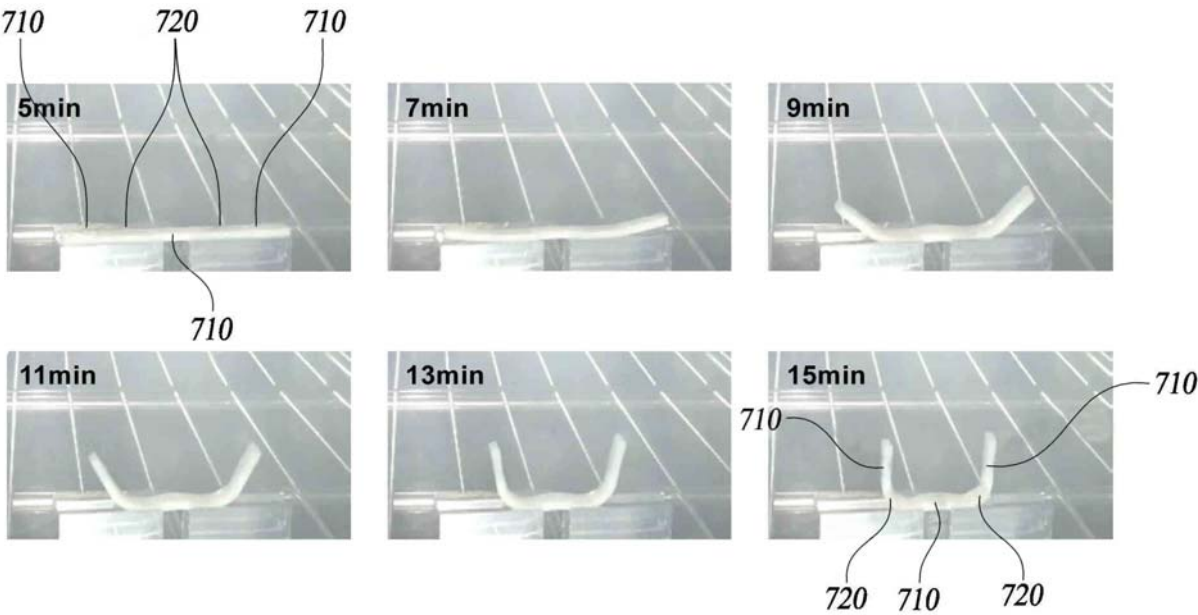


(B)

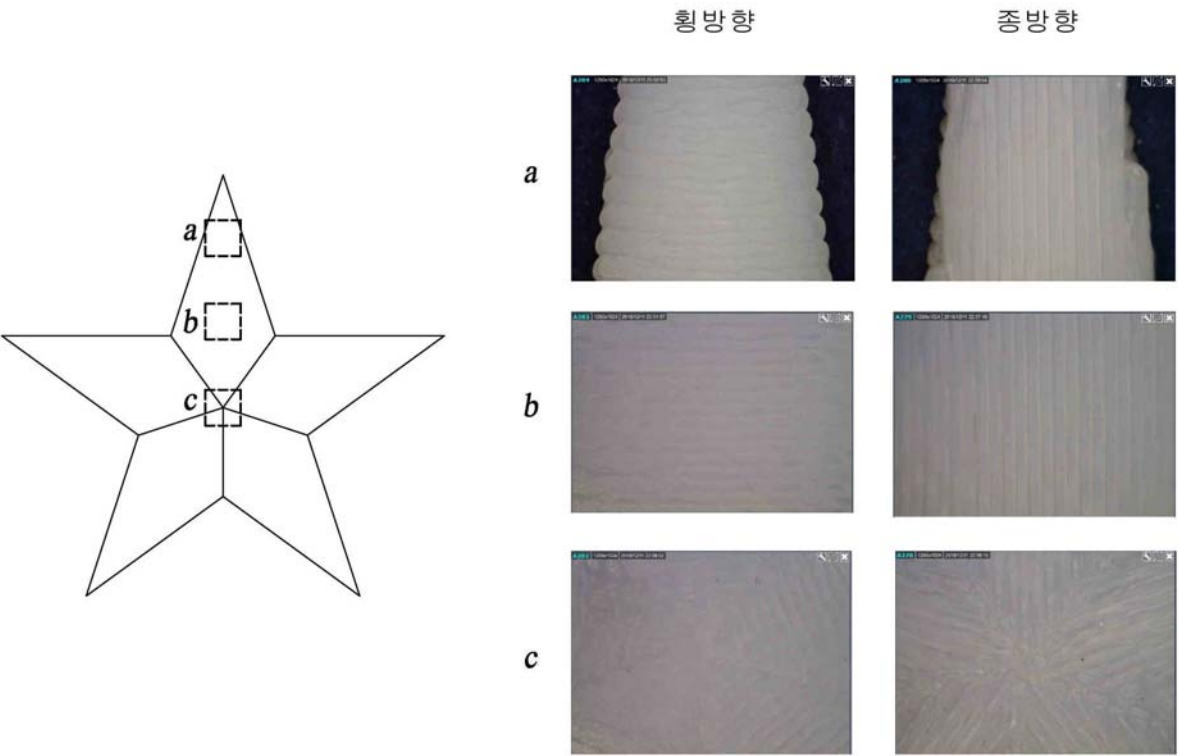




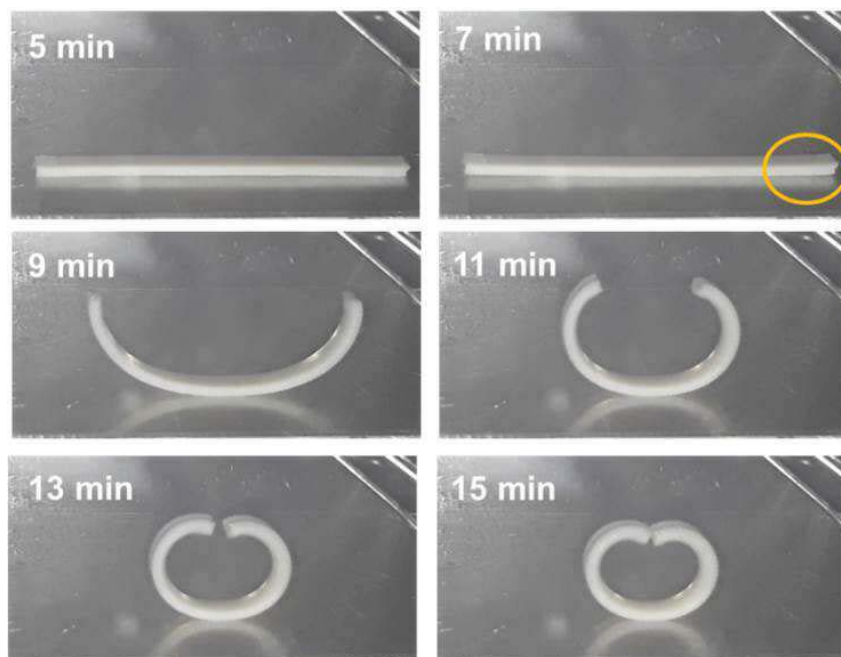
【도 12】



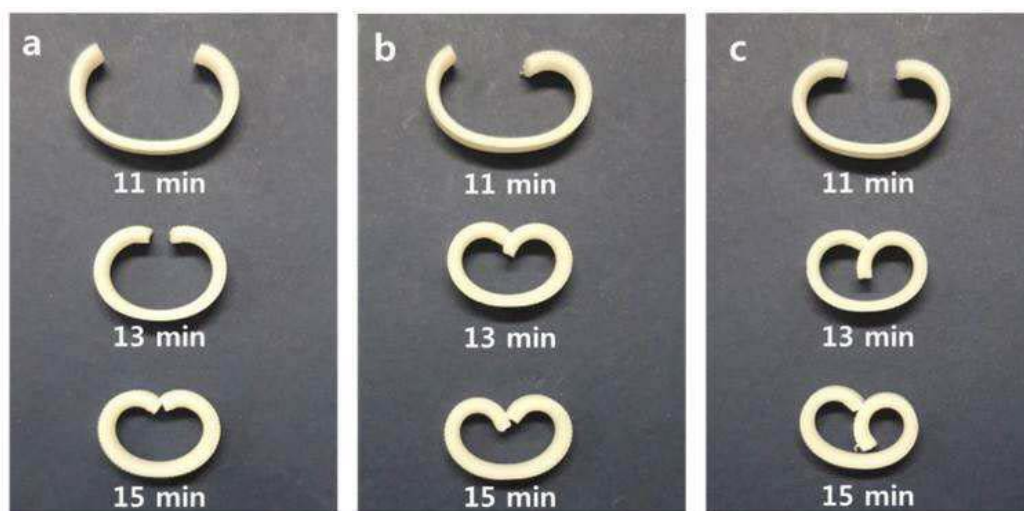
【도 13】



【도 14】



【도 15】



【도 16】

