(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0007683
(43) 공개일자 2019년01월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 3/105 (2006.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
B33Y 50/02 (2015.01)
(52) CPC특허분류
B22F 3/1055 (2013.01)
B33Y 10/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0088979
(22) 출원일자 2017년07월13일
심사청구일자 2017년07월13일

(71) 출원인
안동대학교 산학협력단
경상북도 안동시 경동로 1375, 안동 (송천동, 대학교)
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(72) 발명자
김호찬
경상북도 안동시 강남5길 103, 103동 907호 (정하동, 석미한아름아파트)
안동규
광주광역시 서구 풍암2로 66, 202동 701호(풍암동, 금호아파트)
(74) 대리인
특허법인 참좋은

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법**

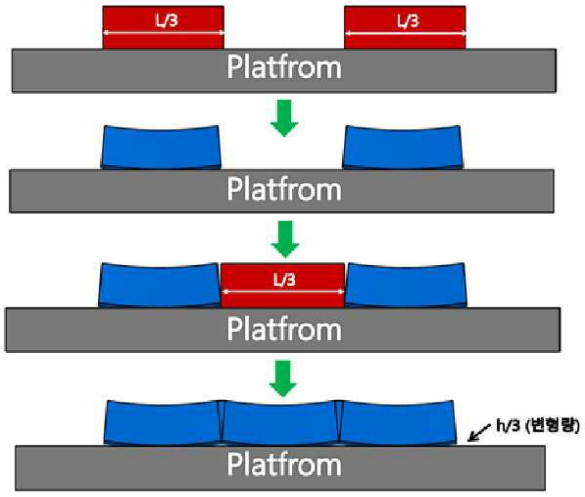
(57) 요 약

열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법에 관한 것으로,

플랫폼 또는 선행 출력된 금속 출력물의 상단에 제1금속 출력물을 출력하는 단계; 제1금속 출력물과 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 이격하여 제2금속 출력물을 출력하는 단계; 제1금속 출력물과 제2금속 출력물을 냉각하는 단계; 제1금속 출력물과 제2금속 출력물의 사이에 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 제3금속 출력물을 출력하여 제1금속 출력물과 제2 금속 출력물을 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 연결하는 단계; 제3금속 출력물을 냉각하는 단계;를 포함하는 기술 구성을 통하여

3D프린터 금속 출력물을 가열적층하여 금속제품을 제작하는 과정에서 금속 출력물의 열변형을 최소화할 수 있게 되어 정밀도가 높은 고품질의 금속제품을 생산할 수 있게 되는 것이다.

대 표 도 - 도4



(52) CPC특허분류
B33Y 50/02 (2013.01)
B22F 2003/1057 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

3D프린터로 금속 출력물을 가열적층하여 금속제품을 제작할 수 있도록 하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법으로,

플랫폼 또는 선행 출력된 금속 출력물의 상단에 제1금속 출력물을 출력하는 단계;

제1금속 출력물과 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 이격하여 제2금속 출력물을 출력하는 단계;

제1금속 출력물과 제2금속 출력물을 냉각하는 단계;

제1금속 출력물과 제2금속 출력물의 사이에 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 제3금속 출력물을 출력하여 제1금속 출력물과 제2 금속 출력물을 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 연결하는 단계;

제3금속 출력물을 냉각하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

제2 금속 출력물 출력 단계에서는 제1 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 제2 금속 출력물을 출력하고,

제3 금속 출력물 출력 단계에서는 제1 금속 출력물 및 제2 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 제3 금속 출력물을 출력하는 것을 특징으로 하는 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

금속 출력물을 길이방향 및 폭방향, 상하방향으로 다분할하여 출력하되,

선행 출력된 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 후행 금속 출력물을 출력하는 것을 특징으로 하는 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

선행 금속 출력물의 출력 이후에 출력되는 후행 금속 출력물은 선행 금속 출력물의 길이방향이거나 폭방향 또는 상하방향인 것을 특징으로 하는 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

선행 금속 출력물의 열영향을 받지 않는 부위가 없는 경우 선행 금속 출력물이 냉각되어 금속 출력물의 출력 가능 부위가 생성될 때까지 출력을 대기하는 것을 특징으로 하는 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법에 관한 것으로, 더 자세하게는 3D프린터 금속 출력물의 가열적층과정에서 열로 인한 수축 팽창으로 야기되는 잔류 응력에 다른 변형을 최소화할 수 있도록 한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 도 1은 금속의 열팽창과 수축을 예시한 그림이고, 도 2는 플랫폼에서 금속 출력물의 변형을 예시한 그림이다.

[0003] 일반적으로 금속의 열에 의한 수축과 팽창은 도 1과 같이 모든 방향으로 일어난다. 하지만 3D 프린터로 금속제품을 만들 때에는 플랫폼 위에 금속재료를 출력하기 때문에 금속 출력물의 밑바닥이 플랫폼과 붙어있게 된다, 이 상태로 금속 출력물을 냉각하게 되면 금속 출력물의 바닥 부분은 플랫폼에 붙어있어 수축이 적고 윗부분은 상대적으로 수축이 많이 일어나 도 2와 같이 금속 출력물이 뒤틀리게 된다. 이런 변형이 생기는 상태에서 지속적으로 금속 출력물을 적층하게 되면 응력이 누적되어 금속제품의 공차범위를 벗어나게 된다. 또한 심한 경우 형상의 변형뿐만 아니라 파손에 이르게 된다.

[0004] 도 3은 짧고 연속적인 금속 출력물의 수축을 예시한 그림이다.

[0005] 3D 프린터로 금속제품을 가열적층할 때에 도 3과 같이 길이를 짧게 L/3씩 출력하더라도 금속 출력물이 식지 않은 상태에서 연속적으로 출력하면 L길이를 한 번에 출력한 것과 동일한 결과를 얻게 된다.

[0006] 하기의 특허문헌 1에는 금속합금 필라멘트를 유도 가열코일의 내부에 형성한 노즐로 투입하고 녹이고 압출하여 유사한 온도로 가열된 챔버의 내부에서 3차원으로 적층하는 금속합금 필라멘트를 사용한 3D 프린터가 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2017-0011993호 (2017년 02월 02일 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 한편, 종래에 있어서 3D프린터로 금속 출력물을 가열 적층할 때에는 길이방향으로 금속 출력물을 연속 출력하는 것이 보통이었기 때문에 냉각 후에 금속 출력물의 수축으로 인한 열변형이 발생하게 되는 문제가 있었고, 그에 따라 고품질의 금속제품을 제작할 수 없게 되는 문제가 있었다.

[0009] 본 발명은 상기 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 그 목적이 3D프린터로 금속 출력물을 가열 적층하여 금속제품을 제작하는 과정에서 금속 출력물의 열변형을 최소화하는 것에 의해 고품질의 금속제품을 제작할 수 있도록 하는 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법을 제공하는 데에 있는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 3D프린터로 금속 출력물을 가열적층하여 금속제품을 제작할 수 있도록 하는 것으로, 플랫폼 또는 선행 출력된 금속 출력물의 상단에 제1금속 출력물을 출력하는 단계; 제1금속 출력물과 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 이격하여 제2금속 출력물을 출력하는 단계; 제1금속 출력물과 제2금속 출력물을 냉각하는 단계; 제1금속 출력물과 제2금속 출력물의 사이에 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 제3금속 출력물을 출력하여 제1금속 출력물과 제2 금속 출력물을 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 연결하는 단계; 제3금속 출력물을 냉각하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 제2 금속 출력물 출력 단계에서 제1 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 제2 금속 출력물을 출력하고, 제3 금속 출력물 출력 단계에서 제1 금속 출력물 및 제2 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 제3 금속 출력물을 출력하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 금속 출력물을 길이방향 및 폭방향, 상하방향으로 다분할하여 출력하되, 선행 출력된 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 후행 금속 출력물을 출력하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 선행 금속 출력물의 출력 이후에 출력

되는 후행 금속 출력물이 선행 금속 출력물의 길이방향이거나 폭방향 또는 상하방향인 것을 특징으로 한다.

[0014] 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 선행 금속 출력물의 열영향을 받지 않는 부위가 없는 경우 선행 금속 출력물이 냉각되어 금속 출력물의 출력 가능 부위가 생성될 때까지 출력을 대기하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법에 의하면, 3D프린터 금속 출력물을 가열적층하여 금속제품을 제작하는 과정에서 금속 출력물의 열변형을 최소화할 수 있게 되어 정밀도가 높은 고품질의 금속제품을 생산할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 금속의 열팽창과 수축을 예시한 그림,

도 2는 플랫폼에서 금속 출력물의 변형을 예시한 그림,

도 3은 짧고 연속적인 금속 출력물의 수축을 예시한 그림,

도 4는 본 발명의 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법에 따른 금속 출력물의 출력 예시도,

도 5는 출력 길이에 따른 열영향부위를 나타낸 그림,

도 6은 인접 출력물과의 폭방향 열영향을 나타낸 그림,

도 7은 툴 패스 출력좌표의 생성과정을 예시한 그림,

도 8은 길이에 따른 변화량과 재료 출력 간격을 적용한 툴 패스를 나타낸 그림,

도 9는 출력 변수 지정 및 시간에 따른 금속의 변화를 나타낸 그림,

도 10은 적절한 대기 후 충분히 식은 영역으로 금속 출력물을 출력하는 그림,

도 11은 알고리즘에 따른 출력을 나타낸 그림이고, 도 12는 G코드 또는 특정 포맷으로 출력하는 상태를 나타낸 그림.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법을 첨부된 도면에 의거하여 상세하게 설명하면 다음과 같다.

[0018] 이하에서, "상방", "하방", "전방" 및 "후방" 및 그 외 다른 방향성 용어들은 도면에 도시된 상태를 기준으로 정의한다.

[0019] 도 4는 본 발명의 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법에 따른 금속 출력물의 출력 예시도이다.

[0020] 도 4는 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법으로, 서로 열적인 간섭이 없도록 인접하지 않은 공간에 먼저 출력하고 이들이 충분히 식은 후에 나머지 부분이 출력된 경우를 나타내었으며, 이 경우 공차의 누적을 회피 또는 저감할 수 있다.

[0021] 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법의 경우 도 3과 달리 금속 출력물이 따로 식었기 때문에 길이에 비례하는 변형량이 예를 들면 h/3 이하로 적고 금속 출력물이 아치형이 아닌 일자에 가까운 것을 알 수 있다.

[0022] 본 발명에 따른 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법에 있어서 1회 연속 성형의 길이를 길게 출력하게 되면 그만큼 변형이 많이 생기기 때문에 목표 공차량 h에 맞도록 적절한 길이 L값을 실험이나 시뮬레이션을 바탕으로 설정할 수 있다.

[0023] 도 5는 출력 길이에 따른 열영향부위를 나타낸 그림이고, 도 6은 인접 출력물과의 폭방향 열영향을 나타낸 그림이다.

[0024] 도 5와 같이 금속 출력물의 길이가 짧을 때보다 출력물의 길이가 길어질수록 플랫폼 또는 이전 층에 전달되는

열의 분포가 넓다.

[0025] 또한, 도 6과 같이 시뮬레이션이나 실험적 방법으로 설정한 특정 열영향수준을 초과하는 열영향부가 겹치지 않도록 평면 방향 및 적층 방향으로 출력하여 오차의 누적을 저감한다.

[0026] 즉, 특정 수준 이상의 열영향 부위가 겹치지 않도록 이후의 적층 위치와 순서를 결정한다.

[0027] 본 발명의 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 3D프린터로 금속 출력물을 가열적층하여 금속제품을 제작할 수 있도록 하는 것으로,

[0028] 플랫폼 또는 선행 출력된 금속 출력물의 상단에 제1금속 출력물을 출력하는 단계;

[0029] 제1금속 출력물과 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 이격하여 제2금속 출력물을 출력하는 단계;

[0030] 제1금속 출력물과 제2금속 출력물을 냉각하는 단계;

[0031] 제1금속 출력물과 제2금속 출력물의 사이에 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 제3금속 출력물을 출력하여 제1금속 출력물과 제2 금속 출력물을 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 연결하는 단계;

[0032] 제3금속 출력물을 냉각하는 단계;를 포함한다.

[0033] 상기 및 이하에서 길이방향은 X축방향, 폭방향은 Y축방향, 상하방향은 Z축방향을 의미한다.

[0034] 본 발명의 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 금속 출력물을 길이방향, 폭방향, 상하방향으로 분할하여 출력한다.

[0035] 그리고 제1 금속 출력물을 출력한 후 제1 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 제2 금속 출력물을 출력하며, 이때 제2 금속 출력물의 출력 위치는 길이방향이거나 폭방향이거나 상항방향이다.

[0036] 또한, 제1 금속 출력물 및 제2 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 제3 금속 출력물을 출력한다.

[0037] 예를 들어 금속 출력물을 길이방향으로 3 분할하여 출력하는 경우 먼저 좌측에 제1 금속 출력물을 출력한 후 제1 금속 출력물의 열영향이 없는 우측에 제2 금속 출력물을 출력한다.

[0038] 그리고 제1 금속 출력물과 제2 금속 출력물이 완전 냉각되어 그들의 열영향이 없어진 후 제1 금속 출력물과 제2 금속 출력물 사이에 제3 금속 출력물을 출력하여 제1 금속 출력물과 제 2 금속 출력물을 연결하고, 제3 금속 출력물을 냉각한다.

[0039] 금속 출력물이 4 분할 이상으로 분할된 경우에도 마찬가지로 제1 금속 출력물의 열영향이 없는 부위의 제2 금속 출력물을 출력하고, 선행 출력된 제1 금속 출력물 및 제2 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 제3 금속 출력물을 출력한다.

[0040] 선행 금속 출력물의 열영향은 냉각된 경우에 없어지게 되므로 냉각된 선행 금속 출력물에 길이방향 또는 폭방향 또는 상하방향으로 다른 금속 출력물을 출력할 수 있다.

[0041] 본 발명의 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법에 있어서 장방형의 금속 출력물을 출력하는 경우 출력 길이 및 출력 폭, 출력 높이는 길이방향 및 폭방향, 상하방향으로 다분할될 수 있으며, 이때 한 층의 출력해야 할 부위는 격자상의 형태를 가진다.

[0042] 플랫폼의 상단에 최초 출력되는 1층의 출력과정에서 임의의 부위에 제1 금속 출력물을 출력한 후에는 그의 열영향이 없는 어떤 부위에라도 제2 금속 출력물을 출력할 수 있다.

[0043] 제2 금속 출력물을 출력한 후에는 선행 출력인 제1 금속 출력물 및 제2 금속 출력물의 열영향이 없는 다른 부위에 제3 금속 출력물을 출력하고, 제3 금속 출력물을 출력한 후에는 제1 금속 출력물 및 제2 금속 출력물, 그리고 제3 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 제4 금속 출력물을 출력한다.

[0044] 상기에서 선행 금속 출력물의 출력 이후에 출력되는 금속 출력물은 선행 금속 출력물의 길이방향이거나 폭방향, 상하방향일 수 있다.

[0045] 이처럼 선행 금속 출력물의 열영향이 없는 부위에 금속 출력물을 출력하는 과정에서 선행 금속 출력물의 냉각이 이루어지게 되면 냉각된 금속 출력물에 길이방향 및 폭방향으로 접하는 부위는 출력 가능한 부위로 전환된다.

[0046] 1층의 금속 출력물의 출력과정에서 선행 금속 출력물의 열영향을 받지 않는 부위가 없어 새로운 금속 출력물을 출력할 부위가 없는 경우에는 2층에 금속 출력물을 출력할 수 있고, 2층에도 금속 출력물을 출력할 부위가 없는

경우 선행 금속 출력물이 냉각되어 금속 출력물의 출력 가능 부위가 생성될 때까지 출력을 대기한다.

[0047] 도 7은 툴 패스 출력좌표의 생성과정을 예시한 그림이다.

[0048] 도 7에서 1번째는 출력된 재료간의 간섭이 없지만 재료를 길게 출력하면 변형량이 크고, 2번째와 3번째는 한 번에 길게 출력한 것은 아니지만 실제 재료출력 범위를 고려하지 않고 만든 출력좌표이다.

[0049] 2번째 좌표와 3번째 좌표로 재료를 출력하면 재료간의 간섭이 생기므로 실제 재료 출력 범위와 길이에 따른 변형량을 모두 고려한 4번째와 같은 툴 패스(Tool Path)를 생성해야 한다.

[0050] 도 8은 길이에 따른 변화량과 재료 출력 간격을 적용한 툴 패스를 나타낸 그림이고, 도 9는 출력 변수 지정 및 시간에 따른 금속의 변화를 나타낸 그림이다.

[0051] 도 8에서 1번 툴 패스는 정육면체를 슬라이싱한 기본 툴 패스에 재료 출력 범위와 길이에 따른 변형량을 쉘(Shell)과 인필(Infill)에 모두 적용한 것이고, 2번 툴 패스는 인필(Infill)에만 적용한 것이다.

[0052] 도 8과 같이 쉘(Shell) 또는 인필(Infill)의 어느 한가지만으로도 전체를 제작할 수 있다.

[0053] 열 변형을 최소화 또는 조절하기 위해서는 적절한 길이로 출력하면서 식지 않은 금속 출력물에 인접하지 않은 곳에 우선 출력해야한다.

[0054] 도 8에서 정육각형 모델을 슬라이싱하여 한 층을 3D프린터로 출력한다고 한다면 도 9와 같이 금속 출력물에 숫자와 시간 변수를 지정하고 시뮬레이션 또는 실험을 통해 얻은 금속이 식는 시간보다 시간변수가 같거나 크면 금속이 식었다고 인식하도록 해서 충분히 식은 출력물에 인접한 곳에도 출력하도록 한다.

[0055] 도 10은 적절한 대기 후 충분히 식은 영역으로 금속 출력물을 출력하는 그림이다.

[0056] 도 10과 같이 출력물이 식은 곳의 인접한 공간과 인접하지 않은 공간 어디에도 출력할 수 없게 되면 공간이 생길 때까지 딜레이가 생기도록 하여 출력할 수 있는 곳이 생기면 출력하도록 한다.

[0057] 도 11은 알고리즘에 따른 출력을 나타낸 그림이고, 도 12는 G코드 또는 특정 포맷으로 출력하는 상태를 나타낸 그림이다.

[0058] 이 방법을 따른다면 시간에 따른 성형 순서의 차이가 필연적으로 발생하나, 만일 동등하게 이미 식어 있는 영역이라면 어떤 순서로 성형하여도 상관없다.

[0059] 이런 열 변형을 최소화하는 가공경로 생성 방법을 사용한다면 대부분의 가열식 적층성형 공정의 열 변형을 최소화 혹은 특정 수준 이하로 조절할 수 있다.

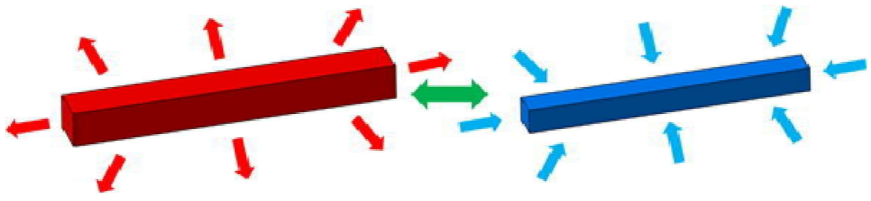
[0060] 본 발명의 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 특히 금속 3D 프린팅과 같이 열응력이 많이 발생하는 경우에는 매우 효과적이다.

[0061] 본 발명의 열변형을 저감하는 3D프린터 금속 출력물 가열적층방법은 DED(Direct Energy Deposition)나 PB(Powder Bed Fusion)에 적용이 가능하며, 금속, 플라스틱, 세라믹 등 재료와 관계없이 열로 성형되는 모든 경우에 적용할 수 있으며, 장치적인 고려없이 기존의 장비에서도 가공경로의 설정만으로 변형량을 저감할 수 있다는 장점이 있다.

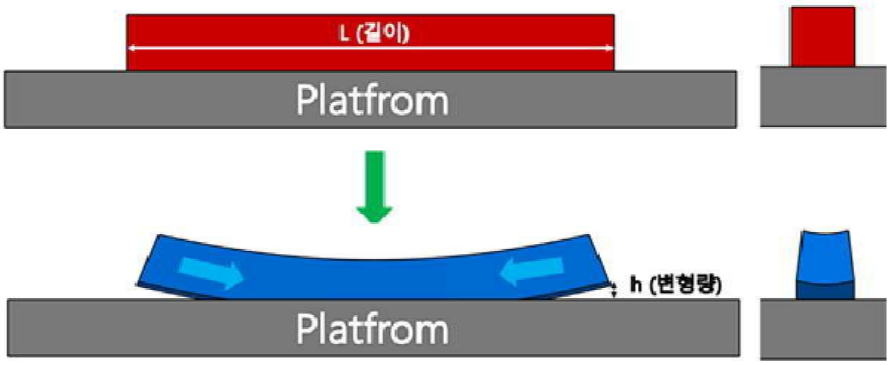
[0062] 이상 본 발명자에 의해서 이루어진 발명을 상기 실시 예에 따라 구체적으로 설명하였지만, 본 발명은 상기 실시 예에 한정되는 것은 아니고 그 요지를 이탈하지 않는 범위에서 여러 가지로 변경 가능한 것은 물론이다.

도면

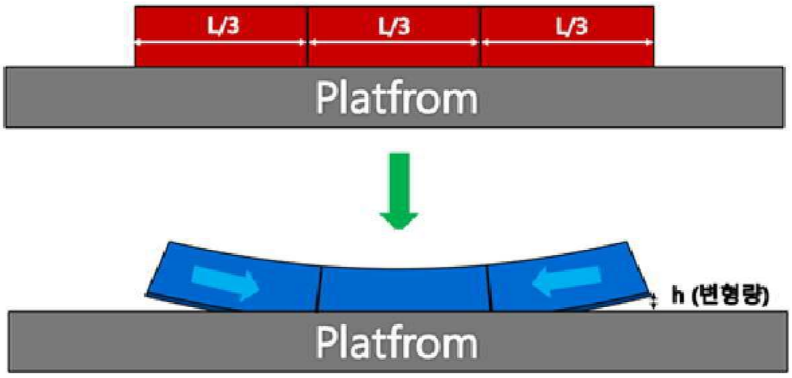
도면1



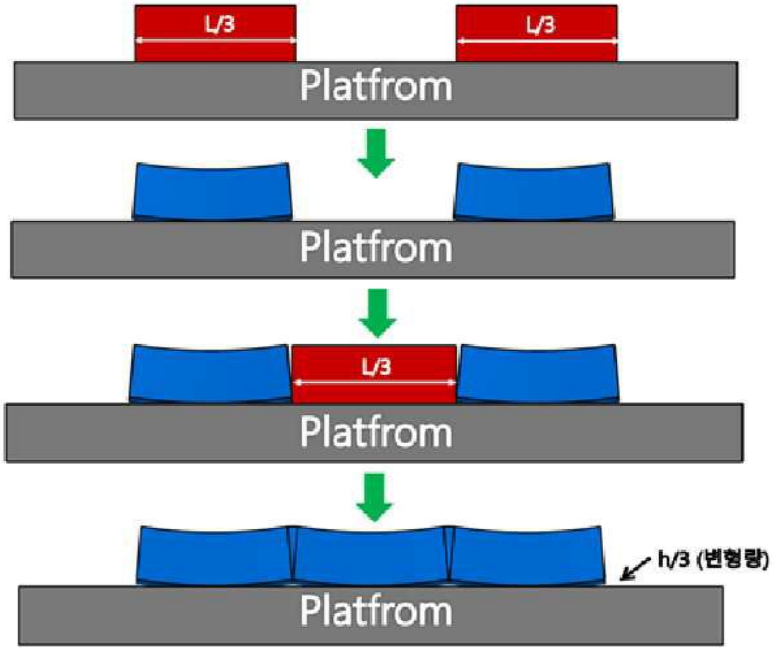
도면2


L (길이)
Platfrom
h (변형량)
Platfrom

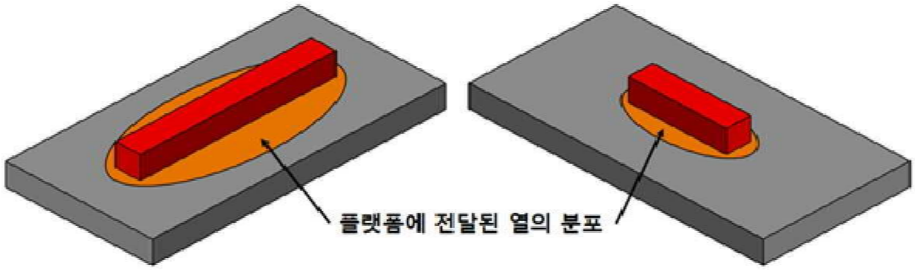
도면3


L/3
L/3
L/3
Platfrom
h (변형량)
Platfrom

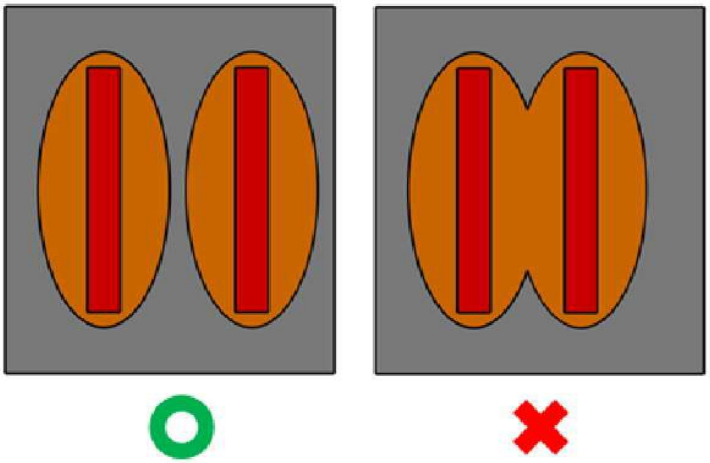
도면4


L/3
L/3
Platfrom
Platfrom
L/3
Platfrom
h/3 (변형량)
Platfrom

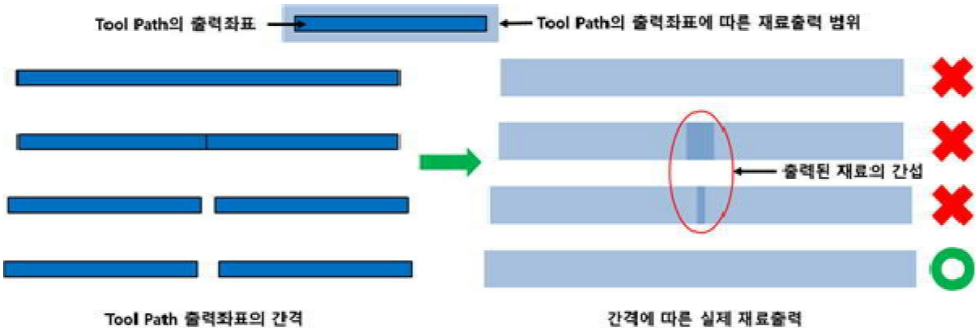
도면5


플랫폼에 전달된 열의 분포

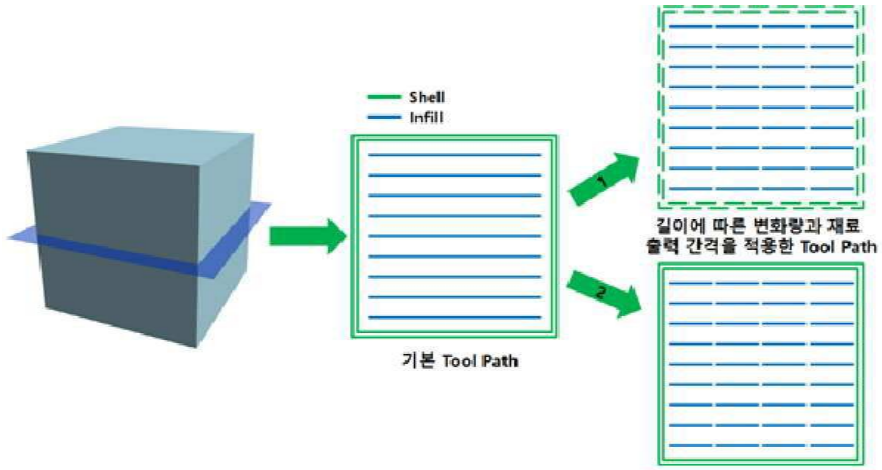
도면6



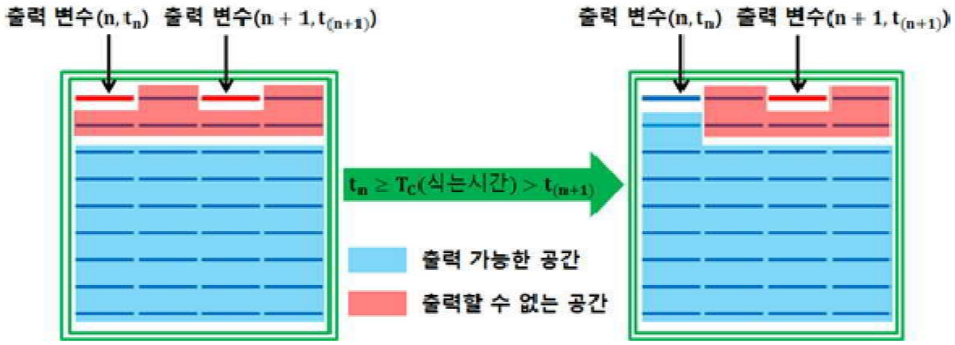
도면7


Tool Path의 출력좌표
Tool Path의 출력좌표에 따른 재료출력 범위
출력된 재료의 간섭
Tool Path 출력좌표의 간격
간격에 따른 실제 재료출력

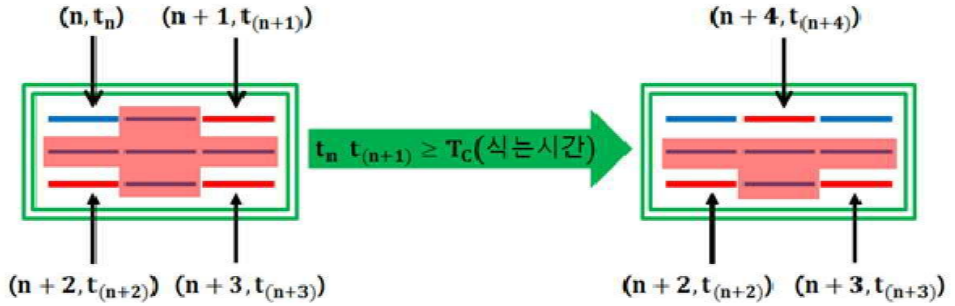
도면8


Shell
Infill
1
2
길이에 따른 변화량과 재료
출력 간격을 적용한 Tool Path
기본 Tool Path

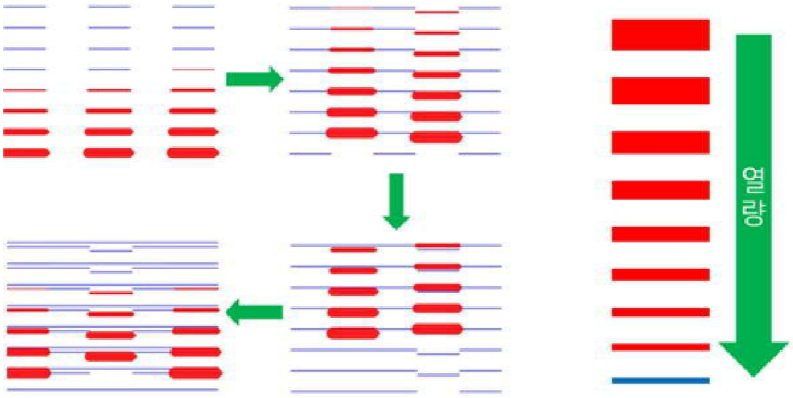
도면9


출력 변수(n, t_n) 출력 변수(n + 1, $t_{(n+1)}$)
$t_n \geq T_C$(식는시간) > $t_{(n+1)}$
출력 가능한 공간
출력할 수 없는 공간
출력 변수(n, t_n) 출력 변수(n + 1, $t_{(n+1)}$)

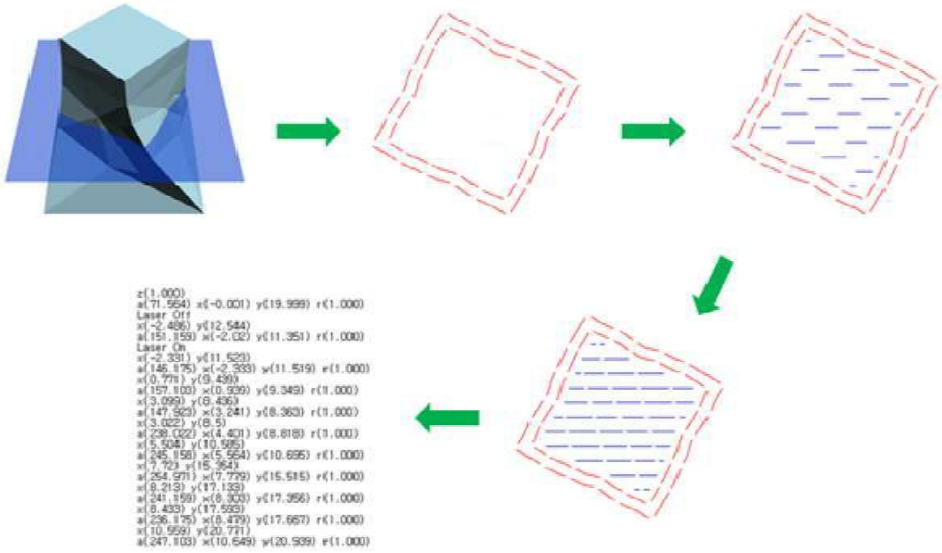
도면10


(n, t_n)
(n + 1, $t_{(n+1)}$)
(n + 2, $t_{(n+2)}$)
(n + 3, $t_{(n+3)}$)
t_n $t_{(n+1)} \geq T_C$(식는시간)
(n + 4, $t_{(n+4)}$)
(n + 2, $t_{(n+2)}$)
(n + 3, $t_{(n+3)}$)

도면11


열량

도면12


z(1.000)
a(71.564) x(-0.001) y(19.999) r(1.000)
Laser Off
x(-2.486) y(12.584)
a(151.159) x(-2.02) y(11.351) r(1.000)
Laser On
x(-2.331) y(11.523)
a(146.175) x(-2.333) y(11.519) r(1.000)
x(0.771) y(9.499)
a(157.103) x(0.939) y(9.349) r(1.000)
x(3.099) y(8.436)
a(147.923) x(3.241) y(8.363) r(1.000)
x(3.022) y(6.5)
a(298.022) x(4.401) y(8.818) r(1.000)
x(5.504) y(10.585)
a(245.158) x(5.564) y(10.695) r(1.000)
x(7.723) y(15.364)
a(254.571) x(7.779) y(15.515) r(1.000)
x(8.213) y(17.133)
a(241.159) x(8.303) y(17.356) r(1.000)
x(8.433) y(17.593)
a(236.175) x(8.479) y(17.667) r(1.000)
x(10.559) y(20.771)
a(247.103) x(10.649) y(20.939) r(1.000)