

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0147188

(43) 공개일자 2024년10월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B22F 5/10 (2006.01) B22F 10/25 (2021.01)

B22F 10/28 (2021.01) B22F 7/02 (2006.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

(52) CPC특허분류

B22F 5/106 (2013.01)

B22F 10/25 (2023.08)

(21) 출원번호 10-2023-0042771

(22) 출원일자 2023년03월31일

심사청구일자 2023년03월31일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

조진연

서울특별시 양천구 목동서로 100, 330동 503호 (목동, 목동신시가자아파트3단지)

김정호

인천광역시 연수구 아카데미로 446, 203동 1602호 (송도동, 힐스테이트 레이크 송도2차)

조자룡

인천광역시 연수구 원인재로 88, 114동 1603호 (동춘동, 대우삼환아파트)

(74) 대리인

류성민

전체 청구항 수 : 총 7 항

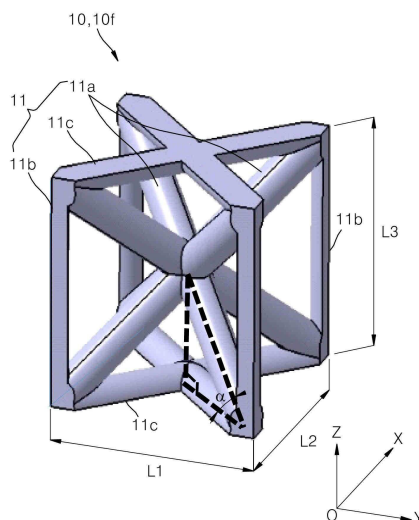
(54) 발명의 명칭 복수 개의 스트럿 부재를 구비하는 단위 격자 구조체 및 그를 포함하는 격자 구조물

(57) 요약

본 발명은 단위 격자 구조체에 관한 것으로서, 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지는 격자 구조물을 형성할 수 있는 단위 격자 구조체로서, 가상의 육면체의 꼭지점과 상기 가상의 육면체의 중심점을 연결하는 8개의 제1 스트럿 부재; 상기 가상의 육면체의 윗면에 있는 4개의 꼭지점에서 상기 가상의 육면체의 아랫면에 있는 4개의 꼭지점까지 각각 연결하는 제2 스트럿 부재; "+"자 형태의 부재로서, 상기 제2 스트럿 부재의 말단을 서로 연결하는 제3 스트럿 부재;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

본 발명에 따르면, 상기 Z축 방향의 압축 하중이 상기 격자 구조물의 상면에 작용하는 경우에, 그 압축 하중에 의한 충격 에너지를 효과적으로 흡수함으로써, 더 큰 충격력에도 견딜 수 있는 격자 구조물을 획득할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B22F 10/28 (2023.08)

B22F 7/02 (2013.01)

B33Y 10/00 (2013.01)

B22F 2998/10 (2021.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711163865
과제번호	2021R1A5A1031868
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	다분야 통합 도심항공 모빌리티 핵심기술 개발 센터
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서울대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지는 격자 구조물을 형성할 수 있는 단위 격자 구조체로서,

가상의 육면체의 꼭지점과 상기 가상의 육면체의 중심점을 연결하는 8개의 제1 스트럿 부재;

상기 가상의 육면체의 윗면에 있는 4개의 꼭지점에서 상기 가상의 육면체의 아랫면에 있는 4개의 꼭지점까지 각각 연결하는 제2 스트럿 부재;

"+"자 형상의 부재로서, 상기 제2 스트럿 부재의 말단을 서로 연결하는 제3 스트럿 부재;를 포함하는 것을 특징으로 하는 단위 격자 구조체

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제1 스트럿 부재는, 체심 입방 격자 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 단위 격자 구조체

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 제1 스트럿 부재와 제2 스트럿 부재와 제3 스트럿 부재 중 적어도 하나는, 중공 없는 막대 부재의 형태로 마련되어 있는 것을 특징으로 하는 단위 격자 구조체

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 제1 스트럿 부재와 제2 스트럿 부재와 제3 스트럿 부재 중 적어도 하나는, 중공을 가지는 파이프 부재의 형태로 마련되어 있는 것을 특징으로 하는 단위 격자 구조체

청구항 5

제 1항에 있어서,

금속 재료를 사용하는 3차원 프린팅 기법에 의하여 형성되는 것을 특징으로 하는 단위 격자 구조체

청구항 6

제 5항에 있어서,

분말 소결 방식과 직접 용착 방식 중 적어도 하나를 포함하는 전자빔 적층 조형 공법에 의하여 제조되는 것을 특징으로 하는 단위 격자 구조체

청구항 7

제 1항 내지 제 6항 중 하나의 항에 기재되어 있는 단위 격자 구조체가, 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지도록 형성된 것을 특징으로 하는 격자 구조물

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 단위 격자 구조체에 관한 것으로서, 특히 압축 하중에 의한 충격 에너지를 효과적으로 흡수함으로써, 더 큰 충격력에도 견딜 수 있는 격자 구조물을 획득할 수 있도록 개조된 단위 격자 구조체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 금속 3D 프린팅 기법이 최근에 급속히 발전함에 따라, 다양한 형상을 가진 금속 격자 구조물(Lattice Structure)의 제조가 매우 용이해지고 있으므로, 그 금속 3D 프린팅 기법으로 제조된 격자 구조물이 항공기, 선박 등의 제조에 널리 쓰이고 있다.

[0003] 종래에 자주 채택되던 체심 입방 격자(Body Centered Cubic, BCC) 구조를 가진 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)의 일례가 도 2에 도시되어 있다. 상기 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)는, 가상의 육면체의 꼭지점과 상기 가상의 육면체의 중심점을 잇는 직선형 스트럿 부재(Strut Member)(11a)를 8개 포함하고 있다.

[0004] 상기 단위 격자 구조체(10a)는, 도 2에 도시된 바와 같이 가로 세로 높이 방향으로 L1, L2, L3의 길이를 가지며, 상기 스트럿 부재(11a)와 X-Y평면이 이루는 각도 α 를 가진다. 여기서, 상기 L1, L2, L3가 모두 동일한 값을 가질 때 상기 각도 α 는 35.26도의 값이다.

[0005] 종래의 단위 격자 구조체(10a)는, 도 8에 도시된 바와 같이 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 일정한 형상과 부피를 가진 격자 구조물(Ma)을 형성하게 된다.

[0006] 그러나 종래의 단위 격자 구조체(10a)를 포함하는 격자 구조물(Ma)은, 도 10 및 도 17에 도시된 바와 같이 Z축 방향의 압축 하중(Crushing Force)(P)이 작용하는 경우에, 그 압축 하중(P)으로 인하여 상기 스트럿 부재(11a)의 길이 방향과 나란한 대각선 방향으로의 파손이 발생하고, 그로 인하여 충격 에너지 흡수 성능이 저하되는 문제점이 발생한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기 문제를 해결하기 위해 안출된 것으로서, 그 목적은 압축 하중에 의한 충격 에너지를 효과적으로 흡수함으로써, 더 큰 충격력에도 견딜 수 있는 격자 구조물을 획득할 수 있도록 구조가 개선된 단위 격자 구조체를 제공하기 위함이다.

[0008] 본 발명의 다른 목적은, 단위 격자 구조체가, 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지도록 형성된 격자 구조물을 제공하기 위함이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 단위 격자 구조체는, 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지는 격자 구조물을 형성할 수 있는 단위 격자 구조체로서, 가상의 육면체의 꼭지점과 상기 가상의 육면체의 중심점을 연결하는 8개의 제1 스트럿 부재; 상기 가상의 육면체의 윗면에 있는 4개의 꼭지점에서 상기 가상의 육면체의 아랫면에 있는 4개의 꼭지점까지 각각 연결하는 제2 스트럿 부재; "+"자 형상의 부재로서, 상기 제2 스트럿 부재의 말단을 서로 연결하는 제3 스트럿 부재;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 그리고 상기 단위 격자 구조체는, 상기 제1 스트럿 부재가 체심 입방 격자 구조를 포함하는 것이 바람직하다.

[0011] 또한 상기 단위 격자 구조체는, 상기 제1 스트럿 부재와 제2 스트럿 부재와 제3 스트럿 부재 중 적어도 하나는, 중공 없는 막대 부재의 형태로 마련되어 있는 것이 바람직하다.

[0012] 그리고 상기 단위 격자 구조체는, 상기 제1 스트럿 부재와 제2 스트럿 부재와 제3 스트럿 부재 중 적어도 하나는, 중공을 가지는 파이프 부재의 형태로 마련되어 있는 것일 수도 있다.

[0013] 또한 상기 단위 격자 구조체는, 금속 재료를 사용하는 3차원 프린팅 기법에 의하여 형성되는 것이 바람직하다.

[0014] 그리고 상기 단위 격자 구조체는, 분말 소결 방식과 직접 용착 방식 중 적어도 하나를 포함하는 전자빔 적층 조형 공법에 의하여 제조되는 것이 바람직하다.

[0015] 상기 다른 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 격자 구조물은, 상기 단위 격자 구조체가, 서로 수직하게 교

차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지도록 형성된 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따르면, 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지는 격자 구조물을 형성할 수 있는 단위 격자 구조체로서, 가상의 육면체의 꼭지점과 상기 가상의 육면체의 중심점을 연결하는 8개의 제1 스트럿 부재; 상기 가상의 육면체의 윗면에 있는 4개의 꼭지점에서 상기 가상의 육면체의 아랫면에 있는 4개의 꼭지점까지 각각 연결하는 제2 스트럿 부재; "+"자 형상의 부재로서, 상기 제2 스트럿 부재의 말단을 서로 연결하는 제3 스트럿 부재;를 포함하므로, 상기 Z축 방향의 압축 하중이 상기 격자 구조물의 상면에 작용하는 경우에, 그 압축 하중에 의한 충격 에너지를 효과적으로 흡수함으로써, 더 큰 충격력에 도 견딜 수 있는 격자 구조물을 획득할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예인 단위 격자 구조체(10, 10f)를 나타내는 사시도이다.

도 2는 체심 입방 격자(Body Centered Cubic, BCC) 구조를 가진 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)의 사시도이다.

도 3은 "BCC"형 단위 격자 구조체의 상단과 하단에 "□"자(rectangular) 형상 부재를 덧댄 단위 격자 구조체(BCC+rect)(10b)의 사시도이다.

도 4는 "BCC"형 단위 격자 구조체의 상단과 하단에 "+"자(cross) 형상 부재를 덧댄 단위 격자 구조체(BCC+cross)(10c)의 사시도이다.

도 5는 "BCC"형 단위 격자 구조체에 상하 방향인 Z축 방향으로 연장된 4개의 직선형 부재를 덧댄 단위 격자 구조체(BCCz)(10d)의 사시도이다.

도 6은 "BCC"형 단위 격자 구조체에 상하 방향인 Z축 방향으로 연장된 4개의 직선형 부재를 덧대고, 상단과 하단에 "□"자(rectangular) 형상 부재를 덧댄 단위 격자 구조체(BCCz+rect)(10e)의 사시도이다.

도 7은 "BCC"형 단위 격자 구조체에 상하 방향인 Z축 방향으로 연장된 4개의 직선형 부재를 덧대고, 상단과 하단에 "+"자(cross) 형상 부재를 덧댄 단위 격자 구조체(BCCz+cross)(10, 10f)의 사시도이다.

도 8은 도 2에 도시된 "BCC"형 단위 격자 구조체로 구성된 격자 구조물(Ma)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용하는 상태를 구조 해석하기 위한 모델을 나타내는 도면이다.

도 9는 도 8에 도시된 격자 구조물(Ma)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용하기 이전의 상태를 도시한 도면이다.

도 10은 도 8에 도시된 격자 구조물(Ma)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태를 도시한 도면이다.

도 11은 도 3에 도시된 단위 격자 구조체(BCC+rect)(10b)로 구성된 격자 구조물(Mb)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태를 도시한 도면이다.

도 12는 도 4에 도시된 단위 격자 구조체(BCC+cross)(10c)로 구성된 격자 구조물(Mc)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태를 도시한 도면이다.

도 13은 도 6에 도시된 단위 격자 구조체(BCCz+rect)(10e)로 구성된 격자 구조물(Me)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태를 도시한 도면이다.

도 14는 도 1 및 도 7에 도시된 단위 격자 구조체(BCCz+cross)(10, 10f)로 구성된 격자 구조물(Mf)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태를 도시한 도면이다.

도 15는 도 14에 도시된 격자 구조물(Mf)의 변형이 더 진행된 상태를 도시한 도면이다.

도 16은 도 2에 도시된 "BCC"형 단위 격자 구조체로 구성된 격자 구조물(Ma)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용하는 압축 시험의 준비 상태를 도시한 도면이다.

도 17은 도 16에 도시된 격자 구조물(Ma)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용하는 압축 시험 진행 상태를 도시한 도면이다.

도 18은 도 1 및 도 7에 도시된 단위 격자 구조체(BCCz+cross)(10, 10f)로 구성된 격자 구조물(Mf)에 Z축 방향

의 압축 하중(P)이 작용하는 압축 시험 진행 상태를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하에서, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하기로 한다.
- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예인 단위 격자 구조체(10, 10f)를 나타내는 사시도이며, 도 2는 체심 입방 격자(Body Centered Cubic, BCC) 구조를 가진 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)의 사시도이다. 도 3은 "BCC"형 단위 격자 구조체의 상단과 하단에 "口"자(rectangular) 형상 부재를 덧댄 단위 격자 구조체(BCC+rect)(10b)의 사시도이다.
- [0020] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 단위 격자 구조체(Unit Cell Structure)(10, 10f)는, 도 8에 도시된 바와 유사하게 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지는 격자 구조물(Lattice Structure)(Mf)을 형성할 수 있는 단위 격자 구조체이다.
- [0021] 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)는 도 1 및 도 7에 도시된 바와 같이 서로 연결된 복수 개의 스트럿 부재(Strut Member)(11)를 포함하는 격자 구조체이다.
- [0022] 본 실시예들에서 상기 스트럿 부재(11)는, 중공 없는 원형 단면의 막대 부재의 형태로 마련되어 있다.
- [0023] 본 실시예들에서 상기 스트럿 부재(11)는, 8개의 제1 스트럿 부재(11a)와 4개의 제2 스트럿 부재(11b)와 2개의 제3 스트럿 부재(11c)를 포함한다.
- [0024] 상기 제1 스트럿 부재(11a)는, 가상의 육면체의 꼭지점과 상기 가상의 육면체의 중심점을 잇는 직선형 스트럿 부재이다.
- [0025] 상기 제2 스트럿 부재(11b)는, 가상의 육면체의 윗면에 있는 4개의 꼭지점에서 상기 가상의 육면체의 아랫면에 있는 4개의 꼭지점까지 각각 연결하는 직선형 스트럿 부재이다.
- [0026] 상기 제3 스트럿 부재(11c)는, "+"자(cross) 형상 부재로서 한쌍이 마련되며, 상기 제2 스트럿 부재(11b)의 상단을 서로 연결하는 "+"자 형상 부재와, 상기 제2 스트럿 부재(11b)의 하단을 서로 연결하는 "+"자 형상 부재를 포함한다.
- [0027] 결과적으로, 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)는, 체심 입방 격자(Body Centered Cubic lattice ; BCC) 구조의 제1 스트럿 부재(11a)와, 상하 방향인 Z축 방향으로 연장된 제2 스트럿 부재(11b)와, "+"자 형상의 제3 스트럿 부재(11c)를 포함하며, 소위 "BCCz+cross"형 단위 격자 구조체라고 약칭될 수 있다.
- [0029] 도 1 내지 도 7을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예를 확인하기 위한 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)들은, 도 8에 도시된 바와 같은 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)을 형성할 수 있는 단위 격자 구조체이다.
- [0030] 상기 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)은, 도심 항공 모빌리티(UAM), 무인항공기(UAV) 등의 항공기 분야에서 항공기 구조물에 직접 사용될 수 있는 격자 구조물이다.
- [0031] 여기서, 5개의 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e)들은 본 발명의 비교 실시예(비교예)이고, 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)은 본 발명에 따른 실시예인데, 이하에서는 6개의 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)들을 모두 본 실시예들로 명명하기로 한다.
- [0033] 상기 단위 격자 구조체(10a)는, 도 2에 도시된 바와 같이 체심 입방 격자(Body Centered Cubic lattice ; BCC) 구조의 상기 제1 스트럿 부재(11a)를 구비하는 단위 격자 구조체(BCC)이다.
- [0034] 상기 단위 격자 구조체(10b)는, 도 3에 도시된 바와 같이 상기 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)의 상단과 하단에 "口"자(rectangular) 형상의 제4 스트럿 부재(11d)를 덧댄 단위 격자 구조체(BCC+rect)이다.
- [0035] 상기 단위 격자 구조체(10c)는, 도 4에 도시된 바와 같이 상기 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)의 상단과 하단에 "+"자(cross) 형상의 상기 제3 스트럿 부재(11c)를 각각 구비하는 단위 격자 구조체(BCC+cross)이다.
- [0036] 상기 단위 격자 구조체(10d)는, 도 5에 도시된 바와 같이 상기 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)에 4개의 상기 제

2 스트럿 부재(11b)를 구비하는 단위 격자 구조체(BCCz)이다.

[0037] 상기 단위 격자 구조체(10e)는, 도 6에 도시된 바와 같이 상기 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)에 상하 방향인 Z축 방향으로 연장된 4개의 상기 제2 스트럿 부재(11b)를 덧대고, 상단과 하단에 "口"자(rectangular) 형상의 상기 제4 스트럿 부재(11d)를 덧댄 단위 격자 구조체(BCCz+rect)이다.

[0038] 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)는, 도 1에 도시된 바와 같이 가로 세로 높이 방향으로 L1, L2, L3의 길이를 가지며, 상기 제1 스트럿 부재(11a)와 X-Y평면이 이루는 각도 α 를 가진다.

[0039] 본 실시예들에서 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)의 상기 스트럿 부재(11a, 11b, 11c, 11d)는, 중공 없는 원형 단면의 막대 부재의 형태로 마련되어 있으며, 반경이 모두 0.25mm의 값을 가진다.

[0040] 도 1 내지 도 7을 보면, 일부 스트럿 부재(11b, 11c, 11d)의 단면이 원형이 아닌 것으로 도시되어 있으나, 이는 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)을 이루고 있는 상태에서 1개의 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)만을 추출함으로써 발생하는 문제일 뿐이다.

[0041] 즉, 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)가 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)을 이루고 있는 상태에서는, 상기 스트럿 부재(11b, 11c, 11d)의 단면이 원형을 가지게 된다.

표 1

	3mm	4mm	6mm	12mm
BCC	16*16*20	12*12*15	8*8*10	4*4*5
BCC+rect	16*16*20	12*12*15	8*8*10	4*4*5
BCC+cross	16*16*20	12*12*15	8*8*10	4*4*5
BCCz	16*16*20	12*12*15	8*8*10	4*4*5
BCCz+rect	16*16*20	12*12*15	8*8*10	4*4*5
BCCz+cross	16*16*20	12*12*15	8*8*10	4*4*5

[0043] 단위 격자 구조체의 크기별 분류

[0045] 본 실시예들에서 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)들은, 표 1에 도시된 바와 같이, 가로 세로 높이 방향의 길이 L1, L2, L3에 따라 4가지로 분류한 후, 1) 유한요소해석 프로그램을 통해서 구조 해석을 하거나 2) 압축 시험기를 통한 압축 시험을 수행한다.

[0046] 즉 표 1에 도시된 바와 같이, L1, L2, L3 모두 3mm인 경우, 4mm인 경우, 6mm인 경우, 12mm인 경우 4가지로 분류된다.

[0048] 1) 유한요소해석 프로그램을 통해서 구조 해석

[0050] 상기 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf) 각각에 대하여, 유한요소해석 프로그램을 통해 각 모델들을 Z축방향으로 압축 하중(P)을 가하여 압축했을 때를 가정한, 준정적 압축 해석(Quasi-Static Analysis)을 수행하였다. (도 8 내지 도 15 참조)

[0051] 이 구조 해석은, 상기 압축 하중(P)이 작용했을 때, 상기 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)의 파손 모드가 어떻게 되는지를 파악하기 위한 해석으로서, 선형 좌굴 해석(Linear Buckling Analysis)으로 수행되며, 초기 결함을 부여하는 "Imperfection Mode" 기법을 적용하였으며, 도 8에 도시된 바와 같이 강체 평판(Rigid Plate (W)와의 마찰을 고려한 외재적 해석(Explicit Analysis)으로 수행되었다.

[0052] 여기서, 상기 L1, L2, L3는 모두 6mm의 값을 가지며, 상기 각도 α 는 35.26도의 값이다. 따라서 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)는 가로 세로 높이 6mm인 정육면체 형상을 가진다.

[0053] 즉 상기 구조 해석은 L1, L2, L3 모두 3mm인 경우, 4mm인 경우, 12mm인 경우에는 수행하지 않았다.

- [0054] 여기서, 상기 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)은, X, Y, Z방향으로 각각 48mm, 48mm, 60mm의 길이를 가지 는 직육면체의 형상을 가진다.
- [0055] 즉, 유한요소해석 프로그램을 통한 구조 해석은, 상기 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)은, 도 8에 도시된 바와 같이 X, Y, Z방향으로 각각 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)를 8개, 8개, 10개가 나열된 구조를 가진다는 전제에서 수행된다.
- [0056] 따라서, 본 구조 해석에서는, 상기 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)을 47855개의 Node, 25800개의 유한 요소 Element를 가진 보(Beam)(B31)으로 설계한 후, 티타늄(Ti-6Al-4V)의 물성치를 부여하였다.
- [0057] 본 구조 해석에서는, 상용 프로그램을 이용할 수도 있고, 직접 코딩한 프로그램을 사용할 수도 있다.
- [0059] 도 9에는 상기 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)로 이루어진 격자 구조물(Ma)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용 하기 위한 준비 상태가 도시되어 있다. 상기 격자 구조물(Ma)에 압축 하중(P)이 가해지면 도 10에 도시된 바와 같이 그 압축 하중(P)으로 인하여 상기 스트럿 부재(11a)의 길이 방향과 나란한 대각선 방향으로의 파손이 발생 하는 파손 양상 및 응력 분포를 관찰할 수 있다.
- [0060] 여기서 상기 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)들의 파손 매커니즘은, 압축시 발생하는 단위 격자 구조체 (10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)의 변동하는 "각 변위"를 확인함으로써 이루어진다.
- [0062] 도 11에는, 도 3에 도시된 단위 격자 구조체(BCC+rect)(10b)로 구성된 격자 구조물(Mb)에 Z축 방향의 압축 하중 (P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태가 도시되어 있다. 여기서는 도 10과 달리 상단부에 위치한 단위 격자 구 조체(10b)부터 한 층씩 차례대로 무너지는 현상이 발생함을 관찰할 수 있었다. 즉 격자 구조물(Mb)에서는 상기 스트럿 부재(11a)의 길이 방향과 나란한 대각선 방향으로의 파손이 발생하는 파손 양상을 관찰할 수 없었다.
- [0064] 도 12에는 도 4에 도시된 단위 격자 구조체(BCC+cross)(10c)로 구성된 격자 구조물(Mc)에 Z축 방향의 압축 하중 (P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태가 도시되어 있다. 여기서는 도 10과 달리 상단부 및 하단부에 위치한 단 위 격자 구조체(10c)부터 한 층씩 차례대로 무너지는 현상이 발생함을 관찰할 수 있었다. 즉 격자 구조물(Mc)에 서도 상기 스트럿 부재(11a)의 길이 방향과 나란한 대각선 방향으로의 파손이 발생하는 파손 양상을 관찰할 수 없었다.
- [0066] 도 13에는, 도 6에 도시된 단위 격자 구조체(BCCz+rect)(10e)로 구성된 격자 구조물(Me)에 Z축 방향의 압축 하 중(P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태가 도시되어 있다. 여기서는, 도 10과 달리 하단부에 위치한 단위 격자 구조체(10e)부터 한 층씩 차례대로 무너지는 현상이 발생함을 관찰할 수 있었다. 즉 격자 구조물(Me)에서도 상 기 스트럿 부재(11a)의 길이 방향과 나란한 대각선 방향으로의 파손이 발생하는 파손 양상을 관찰할 수 없었다.
- [0067] 한편, 도 13에서 알 수 있듯이, 상기 단위 격자 구조체(BCCz+rect)(10e)로 구성된 격자 구조물(Me)에서는, 상기 격자 구조물(Mb, Mc)들과 달리 무너지는 경계선의 모양이 "—"의 형상이 아니라 "^"의 형상을 가진다는 특징이 있었다.
- [0069] 도 14에는, 도 1 및 도 7에 도시된 단위 격자 구조체(BCCz+cross)(10, 10f)로 구성된 격자 구조물(Mf)에 Z축 방향의 압축 하중(P)이 작용한 이후의 구조물 변형 상태가 도시되어 있으며, 도 15에는 도 14에 도시된 격자 구 조물(Mf)의 변형이 더 진행된 상태가 도시되어 있다.
- [0070] 상기 격자 구조물(Mf)에서는, 무너지는 경계선의 모양이 초기에는 도 14에 도시된 바와 같이 "v"의 형상을 가 지다가, 후기에는 도 15에 도시된 바와 같이 "—"의 형상을 가진다는 특징이 있다.
- [0071] 그리고 상기 격자 구조물(Mf)에서는, 다른 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Me)와는 달리, 파손이 격자 구조물(Mf)의 중간부에서부터 발생하며, 상기 강체 평판(W) 부근의 단위 격자 구조체(10f)들이 비교적 오랫동안 파괴되지 않 는 특징을 가지고 있다.

[0073] 2) 압축 시험기를 통하여 압축 시험

- [0075] 상기 압축 시험은, 인장 및 굴곡 시험과 함께 가장 기본적인 기계적 시험 유형의 하나로서, 도 16 내지 도 18에 도시된 바와 같이 만능 재료 시험기에서 압반 또는 특수 치구를 이용하여 시험 시편(보통 직육면체 또는 원통형)에 압축 압력을 적용하여 수행된다.
- [0076] 여기서, 상기 압축 시험 도중에, 소재의 다양한 속성이 계산되고 응력-변형률 다이어그램이 만들어지며, 이는 탄성 한계, 비례 한계, 항복점, 항복 강도, 압축 강도와 같은 특성을 결정하는 용도로 사용된다.
- [0077] 본 압축 시험은 최대한 상술한 유한요소해석과 동일한 조건 하에서 이루어질 수 있도록, 준정적 압축 시험(Quasi-Static Test)으로 수행되었다.
- [0078] 본 압축 시험은, 표 1에 도시된 바와 같이 L1, L2, L3 모두 3mm인 경우, 4mm인 경우, 6mm인 경우, 12mm인 경우 모두에 대하여 수행하였다.
- [0079] 본 압축 시험에서, 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f) 및 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)은, 금속 재료를 사용하는 3차원 프린팅 기법에 의하여 형성된다.
- [0080] 상기 3차원 프린팅 기법은, 3D CAD 데이터로부터 고품질의 복잡한 금속 부품을 제작하는 적층 제조 기술로서, 장비에 장착된 고정밀 레이저가 금속 파우더 입자에 조사되어 얇은 수평 금속 레이어를 선택적으로 층층이 쌓는 레이저 적층 조형 방식(LBM; Laser Beam Melting)과, 레이저가 아닌 전자 빔을 사용해 금속 분말을 녹여 형상을 만드는 전자빔 소결 방식(EBM; Electron Beam Melting)등으로 나뉘어진다.
- [0081] 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f) 및 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)은, 분말 소결 방식(PBF; Powder Bed Fusion)과 직접 용착 방식(DED; Direct Energy Deposition) 중 적어도 하나를 포함하는 전자빔 적층 조형 공법에 의하여 제조되는 것이 바람직하다.
- [0082] 상기 전자빔 적층 조형 공법(EBM)은, 금속분말 베드를 선택적으로 용융, 응고시킨 층을 반복 적층시켜 형상을 만드는 분말 소결 방식(PBF)과, 합금와이어를 전자빔으로 용융시켜 기판 위에 용착 후 형상을 만드는 방식(DED)이 있는데, 전자는 고정밀 적층 조형 기술로 항공기 부품이나 인공관절 등 의료용 제품에 사용되고 있다.
- [0083] 상기 분말 소결 방식(PBF)을 채택한 전자빔 적층 조형 공법(EBM)은, 노즐을 통해 금속 분말이 압출되면 분말이 각 층에서 전자 빔에 의해 녹여지며 형상을 만드는 과정을 반복하며 이루어진다.
- [0084] 상기 분말 소결 방식(PBF)을 채택한 전자빔 적층 조형 공법(EBM)은, 전자 빔을 사용하므로, 다양한 합금을 성형할 수 있는데, 주로 티타늄과 크롬 합금이 많이 사용된다.
- [0085] 상기 분말 소결 방식(PBF)을 채택한 전자빔 적층 조형 공법(EBM)은, ① 밀도가 높은 정밀한 부품 제작이 가능하며, ② 강도가 우수하고, ③ 전자 빔을 이용해 고밀도 표준 금속들과 우수한 기계적 특성을 가진 표준 금속 부품 제작이 가능하며, ④ 레이저 사용방식에 비해 열 응력이 적은 제품을 생산할 수 있으며, ⑤ 제작 속도가 우수하다는 장점이 있다.
- [0086] 따라서, 상기 분말 소결 방식(PBF)을 채택한 전자빔 적층 조형 공법(EBM)을 사용하면, 까다로운 기하학적 형상이 포함된 금속 부품 생산이 가능하고, 기존 주조 기술을 사용하여 불가능했던 부품의 제조가 가능해진다.
- [0087] 본 압축 시험에서는, 티타늄(Ti-6Al-4V)을 재료로 사용하며, 상기 분말 소결 방식(PBF)을 채택한 전자빔 적층 조형 공법(EBM)을 채택하고 있다.
- [0089] 도 16 및 도 17에 도시된 바와 같이 상기 "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)로 이루어진 상기 격자 구조물(Ma)에 압축 하중(P)이 가해지면, 도 10의 유한요소해석과 마찬가지로 도 17에 도시된 바와 같이 그 압축 하중(P)으로 인하여 상기 스트럿 부재(11a)의 길이 방향과 나란한 대각선 방향으로의 파손이 발생하는 파손 양상 및 응력 분포를 관찰할 수 있다.
- [0091] 도 18에는, 본 발명의 일 실시예인 상기 단위 격자 구조체(BCCz+cross)(10, 10f)로 구성된 격자 구조물(Mf)에 Z

축 방향의 압축 하중(P)이 작용하는 압축 시험 진행 상태가 도시되어 있다. 상기 격자 구조물(Mf)의 경우에는 유한요소해석과 달리 파손이 격자 구조물(Mf)의 하단부에 위치한 단위 격자 구조체(10, 10f)부터 한 층씩 차례대로 무너지는 현상이 발생함을 관찰할 수 있었다.

[0093] 아래의 표 2에는 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)의 종류 및 크기에 따라 압축 하중(P)이 가해질 때 흡수되는 에너지량 등이 표시되어 있다.

표 2

단위 격자 구조체 크기	단위 격자 구조체 종류	질량(g)	총 흡수 에너지량(J)	단위질량당 흡수 에너지량(J/g)	평균 충격 하중(kN)
3mm	BCC	58.8	411.9906	7.3833	11.479
	BCC+rect	99.8	1.11E+03	11.3022	31.8619
	BCC+cross	97.8	1.04E+03	10.4003	47.5797
	BCCz	72.9	1.30E+03	17.8206	39.5907
	BCCz+rect	-	-	-	-
	BCCz+cross	108.5	1.52E+03	13.9666	78.3268
4mm	BCC	37.6	202.1803	5.3346	5.0545
	BCC+rect	57.6	538.1323	9.4409	13.3498
	BCC+cross	64.9	577.9663	8.9055	18.7621
	BCCz	51.1	469.2568	9.1831	11.0543
	BCCz+rect	63	666.7225	11.6969	17.5453
	BCCz+cross	66.6	658.1878	9.8827	21.0912
6mm	BCC	16.2	39.8012	2.4569	1.3802
	BCC+rect	25.5	114.2914	4.482	2.9469
	BCC+cross	24.2	118.9239	4.9142	3.142
	BCCz	19.7	101.3235	5.1433	2.4556
	BCCz+rect	29.6	165.9723	5.6072	4.2878
	BCCz+cross	27.7	190.8808	6.891	5.1541
12mm	BCC	-	-	-	-
	BCC+rect	6.5	9.614	1.4791	0.2134
	BCC+cross	-	-	-	-
	BCCz	5.3	9.3786	1.7696	0.1968
	BCCz+rect	7.7	16.5527	2.1497	0.3537
	BCCz+cross	8.4	16.0922	1.9157	0.34

[0096] 단위 격자 구조체 종류 및 크기에 따른 충격 시 흡수 에너지량

[0098]상기 표 2에서 표시된 바와 같이, 기본형 단위 격자 구조체(BCC, BCCz)(10a,10d), "口"자(rectangular) 형상의 제4 스트럿 부재(11d)를 포함하는 단위 격자 구조체(BCC+rect, BCCz+rect)(10b, 10e), "+"자(cross) 형상의 제3 스트럿 부재(11c)를 포함하는 단위 격자 구조체(10c, 10f)의 순서대로, 평균 충격 하중(Mean Crushing Force)(kN)이 대체적으로 증가함을 알 수 있다.

[0099]그리고, 표 2에서 표시된 바와 같이, 동일 종류의 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)를 기준으로, 단위 격자 구조체의 크기가 커지면 단위 질량 당 흡수 에너지와 평균 충격 하중이 감소함을 알 수 있다.

[0100]또한, 상기 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf)의 총 질량을 유지한 상태로 상기 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)의 크기를 증가시키고, 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)의 종류를 변화시킴으로써, 총 흡수 에너지를 증가시키는 것이 가능하다는 것을 확인하였다. 다만, 단위 격자 구조체

(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)의 크기가 12mm 이상이 되면 에너지 흡수 성능을 압축 시험으로는 확인하기 어려웠다.

[0102] 아래의 표 3에는, 단위 격자 구조체(10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f)의 종류 및 크기에 따른 충격 시 변위 20mm까지의 시험에서 측정한 흡수 에너지량 등이 표시되어 있다.

표 3

[0103]

단위 격자 구조체 크기	단위 격자 구조체 종류	질량(g)	총 흡수 에너지량(J)	20mm까지 흡수 에너지량(J)	20mm까지 단위 질량당 에너지 흡수량(J/g)
3mm	BCC	58.8	411.9906	200.0087	3.5844
	BCC+rect	97.8	1.11E+03	578.1352	5.9114
	BCC+cross	99.8	1.04E+03	892.6275	8.9441
	BCCz	72.9	1.30E+03	723.7982	9.9286
	BCCz+rect	-	-	-	-
	BCCz+cross	108.5	1.52E+03	1.46E+03	13.461
4mm	BCC	37.6	202.1803	88.2635	2.3289
	BCC+rect	57.6	538.1323	265.0898	4.6507
	BCC+cross	64.9	577.9663	364.6571	5.6188
	BCCz	51.1	469.2568	185.5387	3.6309
	BCCz+rect	63	666.7225	351.881	5.5854
	BCCz+cross	66.6	658.1878	402.4508	6.0428
6mm	BCC	16.2	39.8012	17.1323	1.0575
	BCC+rect	24.2	114.2914	55.3061	2.1689
	BCC+cross	25.5	118.9239	56.9877	2.3549
	BCCz	19.7	101.3235	42.3548	2.15
	BCCz+rect	27.7	165.9723	77.3927	2.6146
	BCCz+cross	29.6	190.8808	93.3018	3.3683
12mm	BCC	-	-	-	-
	BCC+rect	6.5	9.3786	2.5371	0.4787
	BCC+cross	-	-	-	-
	BCCz	5.3	9.614	3.821	0.5878
	BCCz+rect	7.7	16.5527	6.7698	0.8792
	BCCz+cross	8.4	16.0922	6.3263	0.8216

[0104]단위 격자 구조체 종류 및 크기에 따른 충격 시 변위 20mm까지 흡수 에너지량

[0106]상기 표 3에서는, 상기 표 2에서 표시된 바와 마찬가지로, 기본형 단위 격자 구조체(BCC, BCCz)(10a,10d), "口"자(rectangular) 형상의 제4 스트럿 부재(11d)를 포함하는 단위 격자 구조체(BCC+rect, BCCz+rect)(10b, 10e), "+"자(cross) 형상의 제3 스트럿 부재(11c)를 포함하는 단위 격자 구조체(10c, 10f)의 순서대로, 단위 질량당 에너지 흡수량(J/g)이 대체적으로 증가함을 알 수 있다.

[0108]결론적으로, 상기 유한요소해석의 결과와 상기 압축 시험의 결과로부터, "BCC"형 단위 격자 구조체(10a)에 상하 방향인 Z축 방향으로 연장된 4개의 직선형 제2 스트럿 부재(11b)를 덧대고, 상단과 하단에 "+"자(cross) 형상의 제3 스트럿 부재(11c)를 덧댄 본 발명의 단위 격자 구조체(BCCz+cross)(10, 10f) 및 그로 구성된 격자 구조물(Mf)이 다른 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me)에 비하여, 내구성 및 내충격성이 더욱 우수함을 알 수 있다.

[0110]상술한 구성의 단위 격자 구조체(10, 10f)는, 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지는 격자 구조물(Mf)을 형성할 수 있는 단위 격자 구조체(10, 10f)로서, 가상의 육

면체의 꼭지점과 상기 가상의 육면체의 중심점을 연결하는 8개의 제1 스트럿 부재(11a); 상기 가상의 육면체의 윗면에 있는 4개의 꼭지점에서 상기 가상의 육면체의 아랫면에 있는 4개의 꼭지점까지 각각 연결하는 제2 스트럿 부재(11b); "+"자 형상의 부재로서, 상기 제2 스트럿 부재(11b)의 말단을 서로 연결하는 제3 스트럿 부재(11c);를 포함하므로, 상기 Z축 방향의 압축 하중(P)이 상기 격자 구조물(Mf)의 상면에 작용하는 경우에, 그 압축 하중(P)에 의한 충격 에너지를 효과적으로 흡수함으로써, 더 큰 충격력에도 견딜 수 있는 격자 구조물(Mf)을 획득할 수 있는 장점이 있다.

- [0111] 그리고 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)는, 상기 제1 스트럿 부재(11a)가, 체심 입방 격자 구조(BCC)를 포함하므로, 다양한 방향에서 가해지는 압축 하중에 잘 견딜 수 있는 격자 구조물(Mf)을 획득할 수 있는 장점이 있다.
- [0112] 또한 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)는, 상기 제1 스트럿 부재(11a)와 제2 스트럿 부재(11b)와 제3 스트럿 부재(11c) 중 적어도 하나는, 중공 없는 막대 부재의 형태로 마련되어 있으므로, 금속 3D 프린팅 기법을 적용하기가 용이하다는 장점이 있다.
- [0113] 그리고 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)는, 금속 재료를 사용하는 3차원 프린팅 기법에 의하여 형성되므로, 3D CAD 데이터로부터 고품질의 복잡한 금속 부품을 제작할 수 있는 장점이 있다.
- [0114] 또한 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)는, 분말 소결 방식(PBF)과 직접 용착 방식(DED) 중 적어도 하나를 포함하는 전자빔 적층 조형 공법(EBM)에 의하여 제조되므로, 레이저 사용 방식(LBM)에 비해 열 응력이 적은 제품을 생산할 수 있는 장점이 있다.
- [0115] 그리고 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)를 사용하면, 상기 단위 격자 구조체(10, 10f)가, 서로 수직하게 교차하는 X축, Y축, Z축을 따라 복수 개 나열됨으로써, 미리 정한 두께를 가지도록 형성되는 격자 구조물(Mf)을 획득할 수 있다.
- [0116] 상기 격자 구조물(Mf)은, 내구성 및 내충격성이 다른 격자 구조물(Ma, Mb, Mc, Md, Me)에 비하여 더욱 우수하므로, 도심 항공 모빌리티(UAM), 무인항공기(UAV) 등의 항공기 분야에 사용되는 항공기 구조물에 직접 사용될 수 있는 장점이 있다.
- [0117] 본 실시예들에서는, 상기 스트럿 부재(11)가 중공 없는 막대 부재의 형태로 마련되어 있으나, 상기 스트럿 부재(11)가 중공을 가지는 파이프 부재의 형태로 마련될 수 있음은 물론이다. 상기 스트럿 부재(11)가 파이프 부재로 마련되면, 동일한 중량일 때 상기 스트럿 부재(11)의 단면 이차 모멘트를 더 증가시킬 수 있는 장점이 있다.
- [0118] 이상으로 본 발명을 설명하였는데, 본 발명의 기술적 범위는 상술한 실시예에 기재된 내용으로 한정되는 것은 아니며, 해당 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 수정 또는 변경된 등가의 구성은 본 발명의 기술적 사상의 범위를 벗어나지 않는 것임은 명백하다.

부호의 설명

- [0119] * 도면의 주요부위에 대한 부호의 설명 *

10, 10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f: 단위 격자 구조체

11, 11a, 11b, 11c, 11d: 스트럿 부재

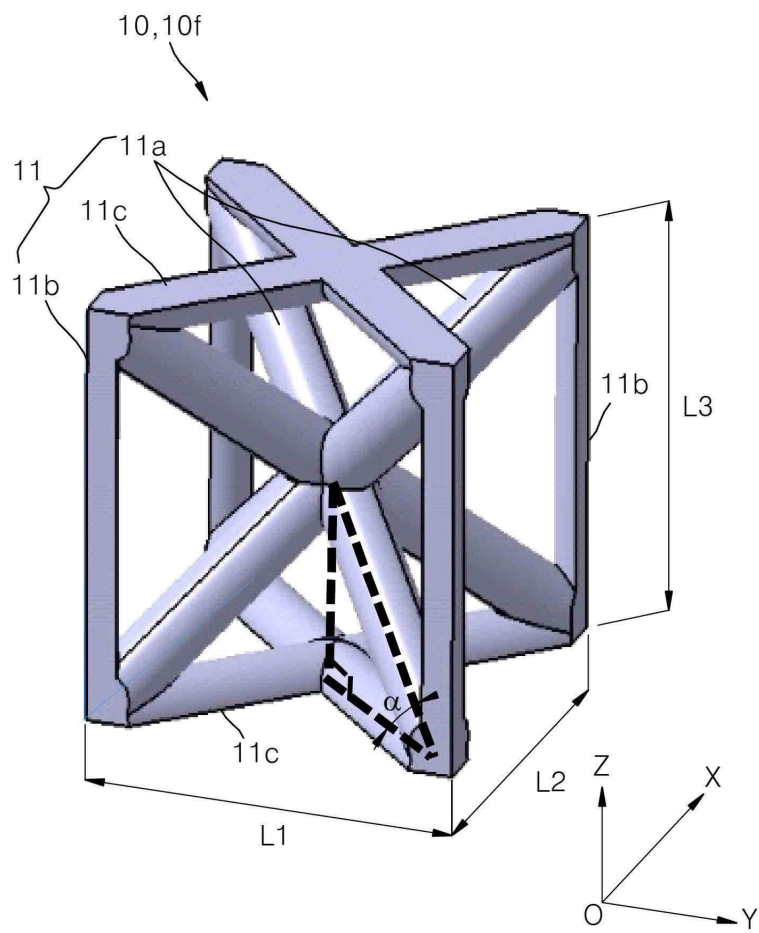
Ma, Mb, Mc, Md, Me, Mf : 격자 구조물

P: 압축 하중

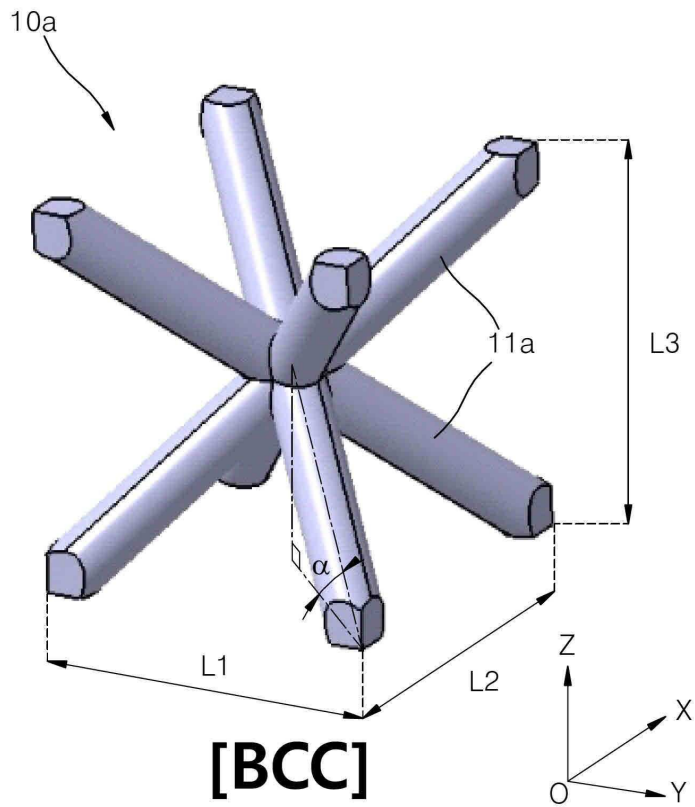
W: 강체 평판

도면

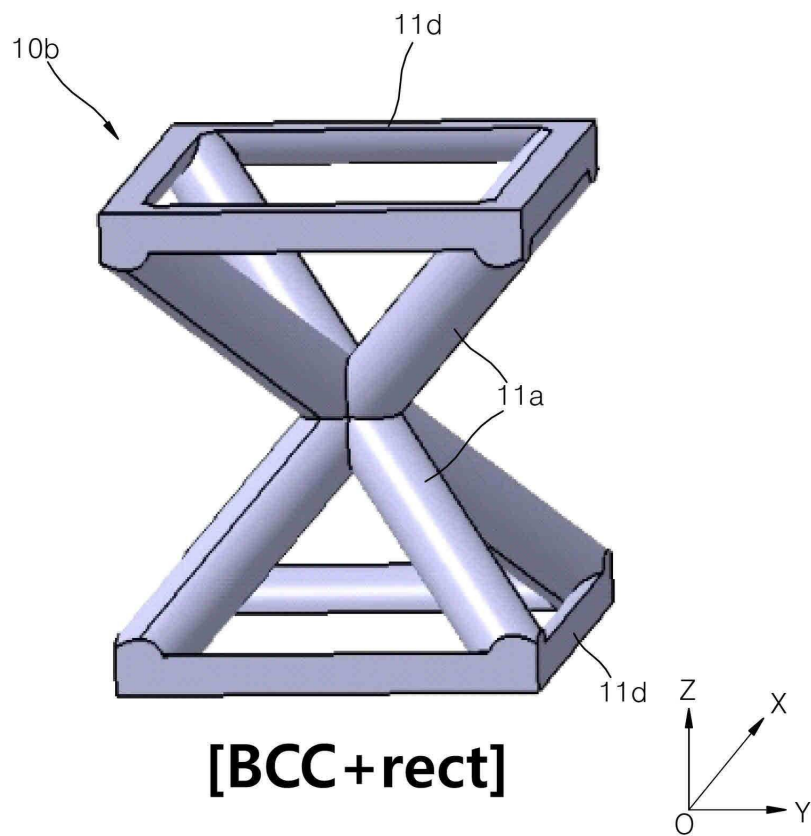
도면1



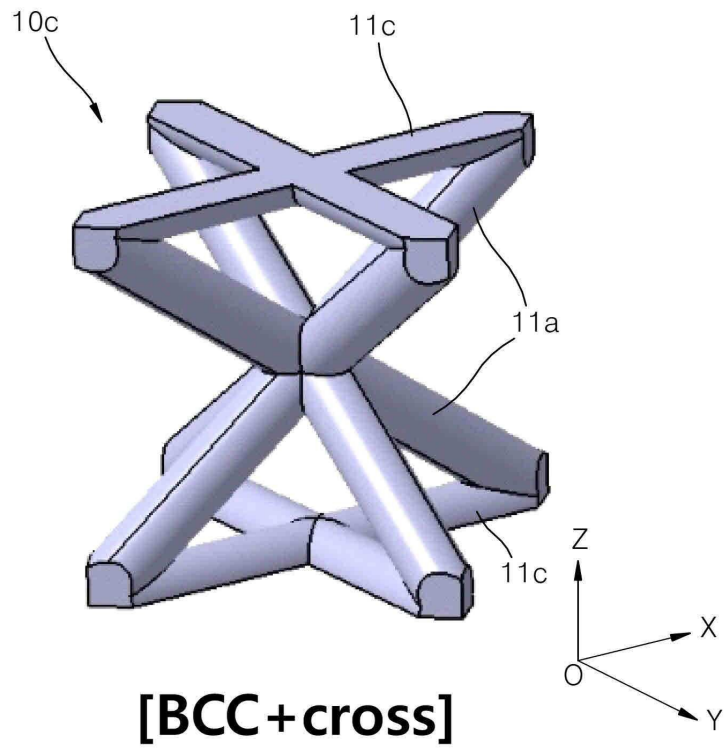
도면2



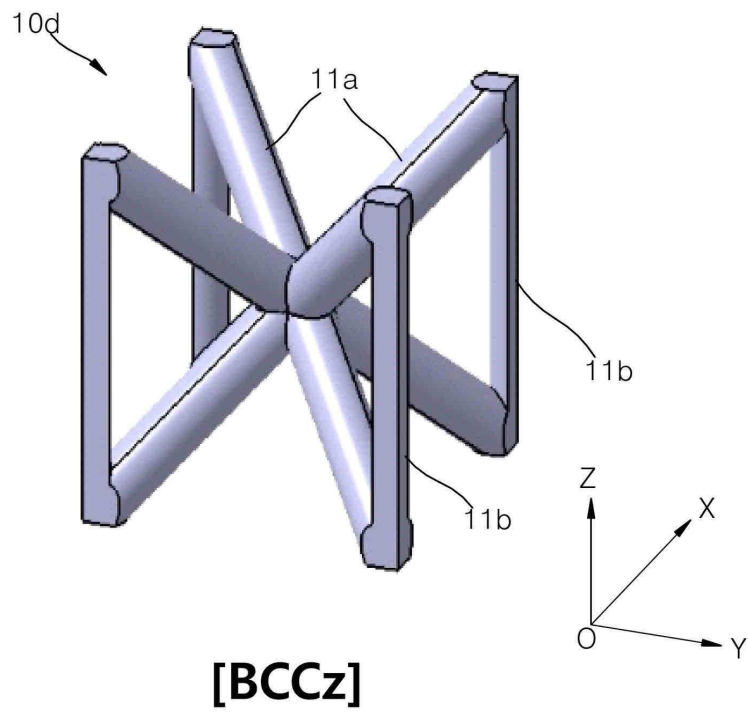
도면3



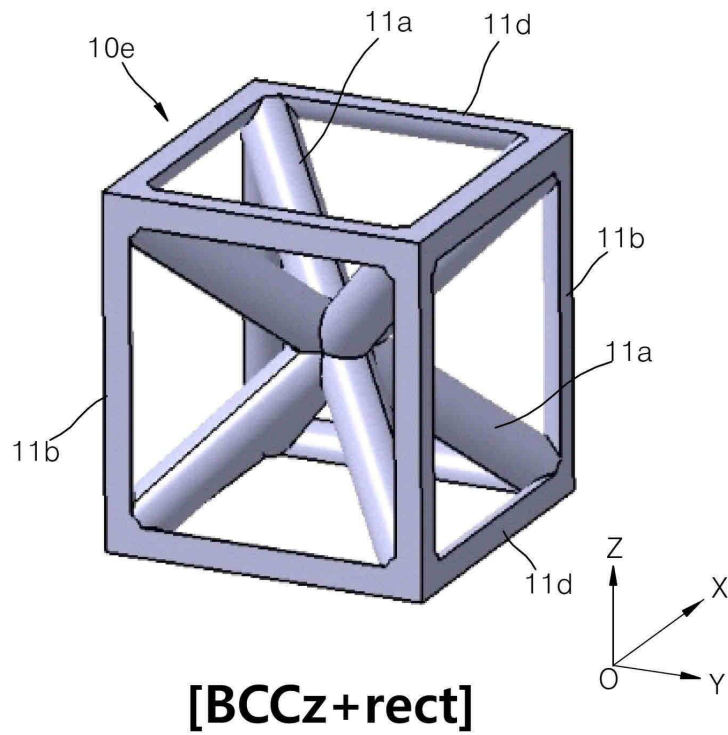
도면4



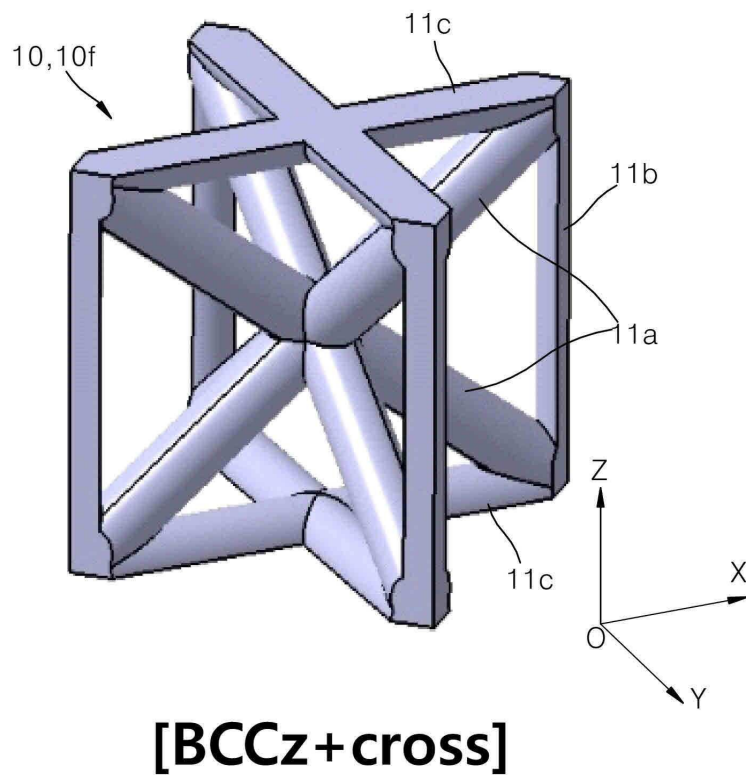
도면5



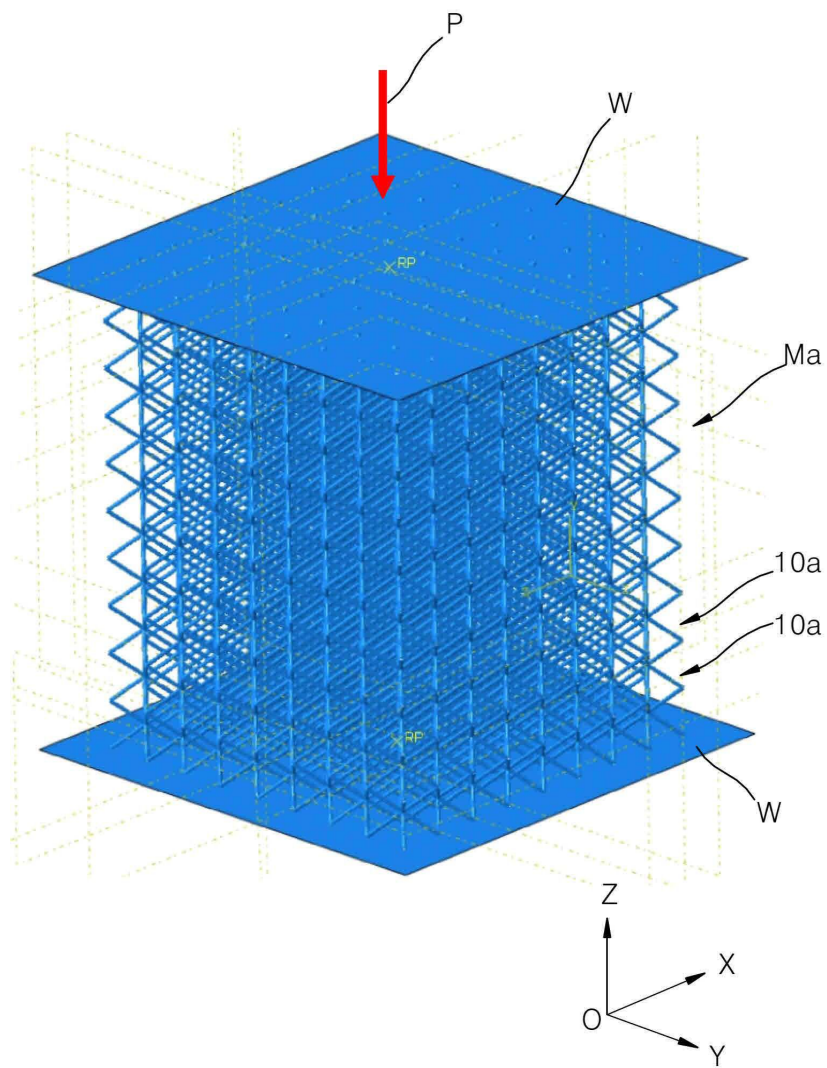
도면6



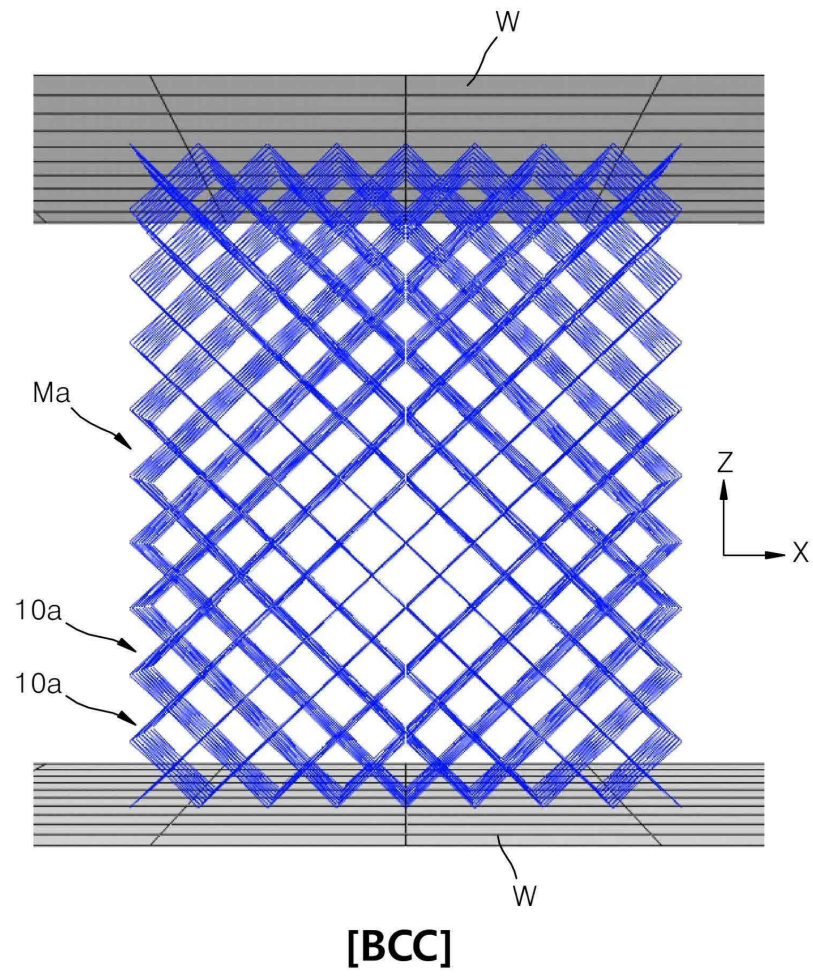
도면7



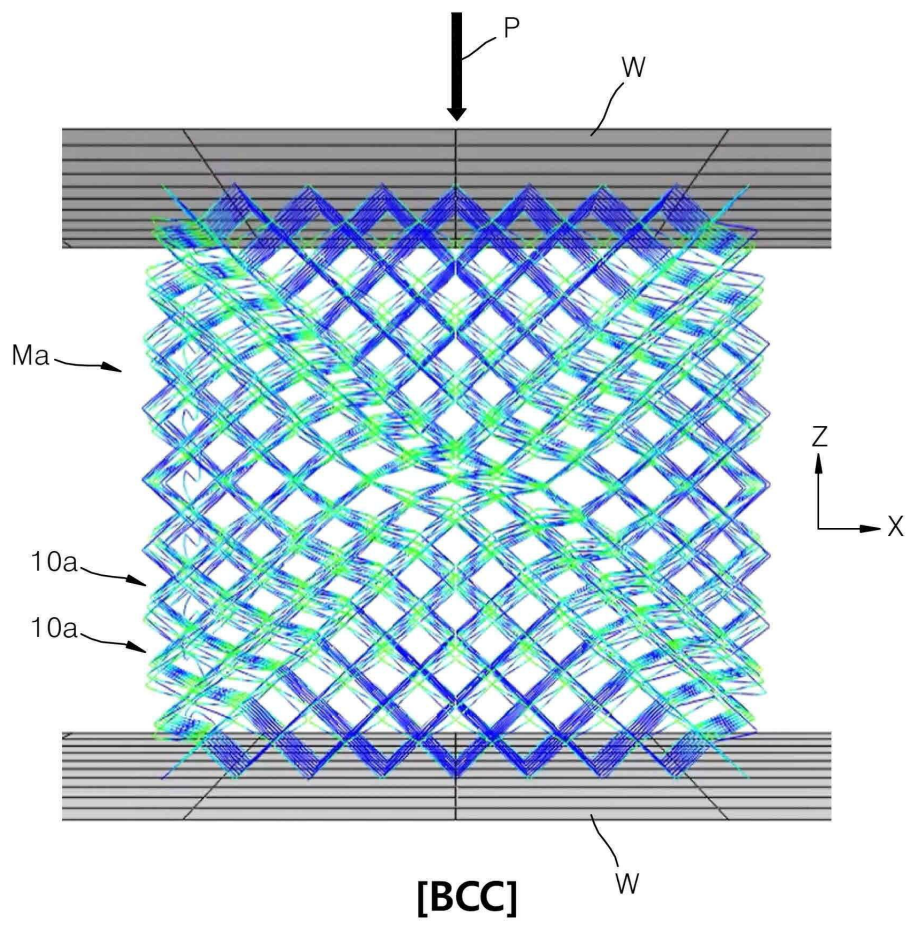
도면8



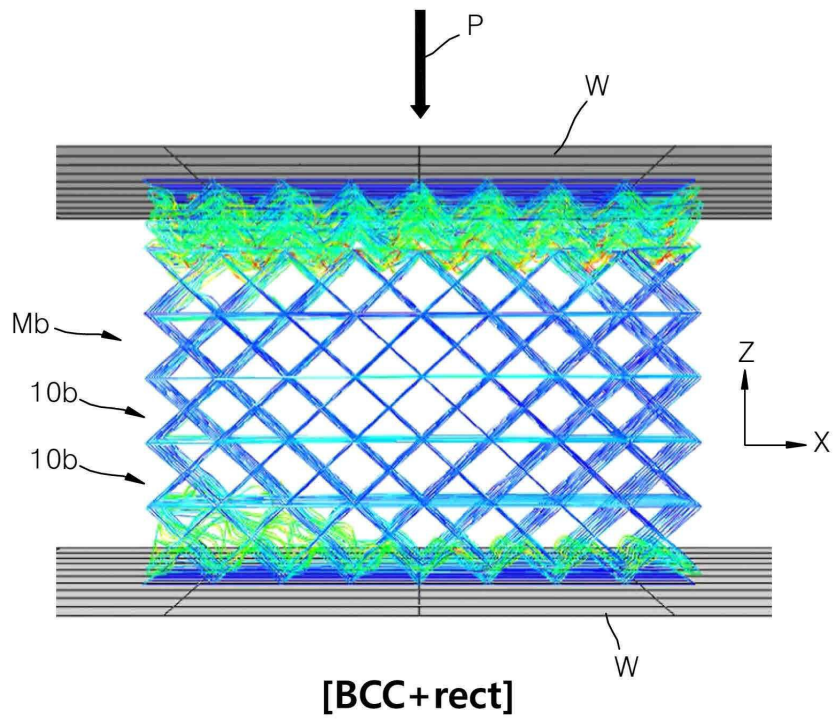
도면9



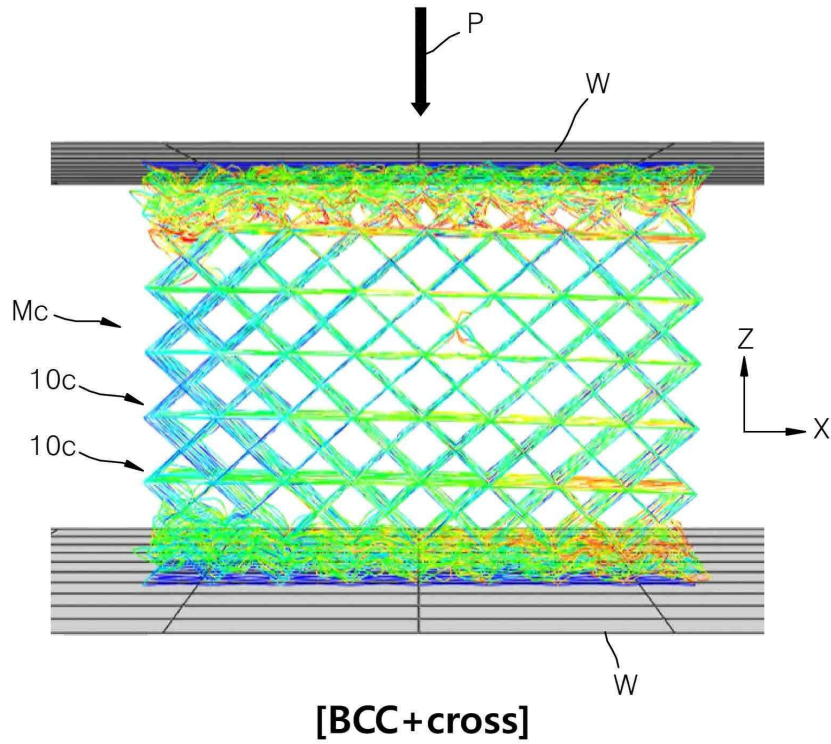
도면10



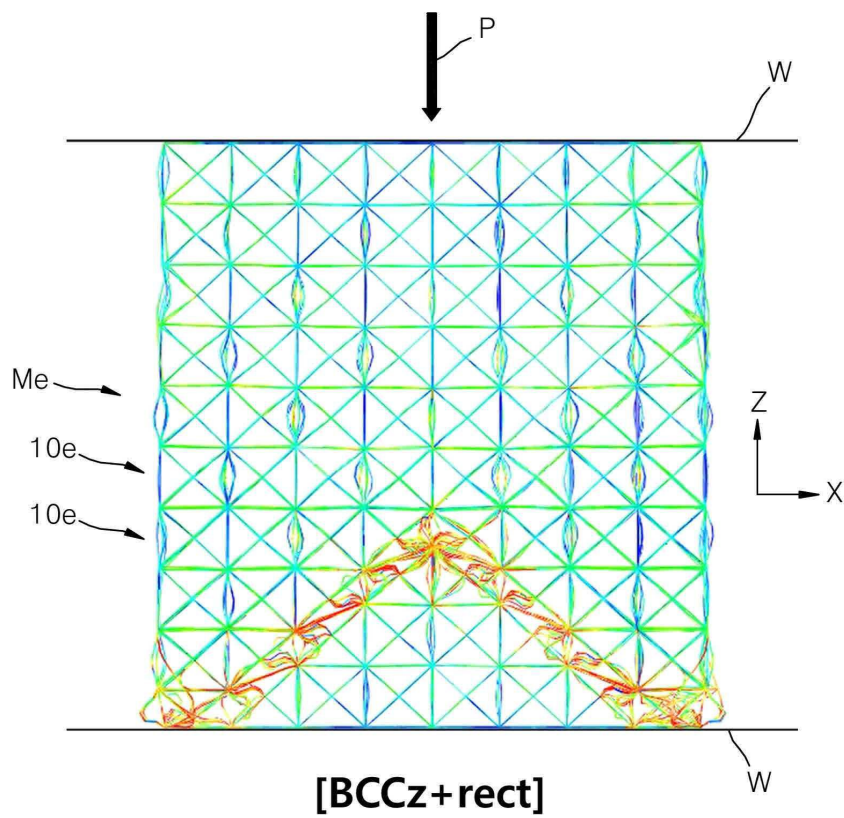
도면11



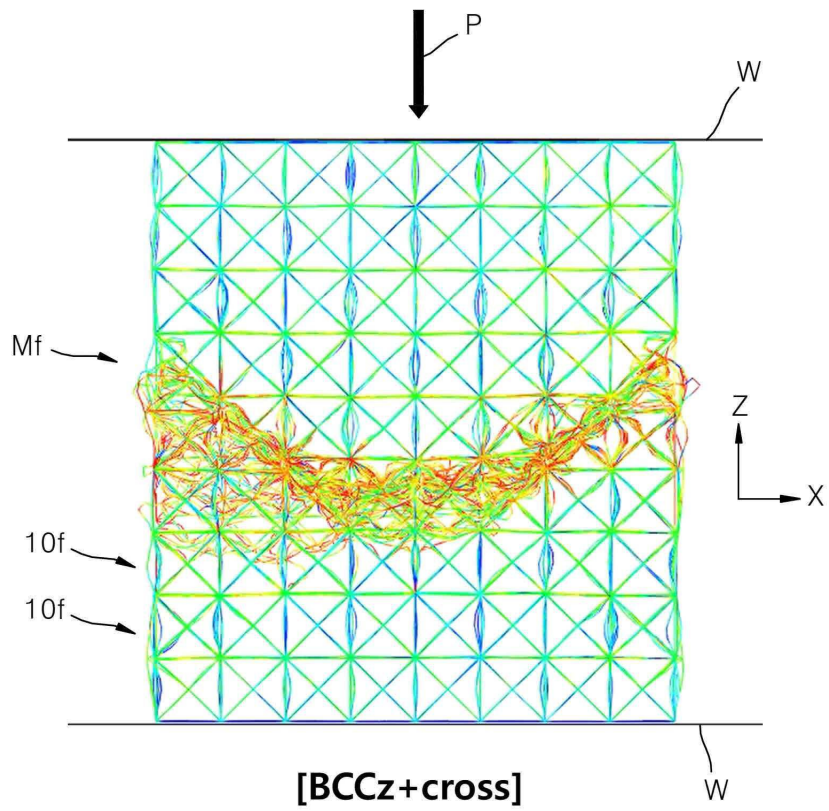
도면12



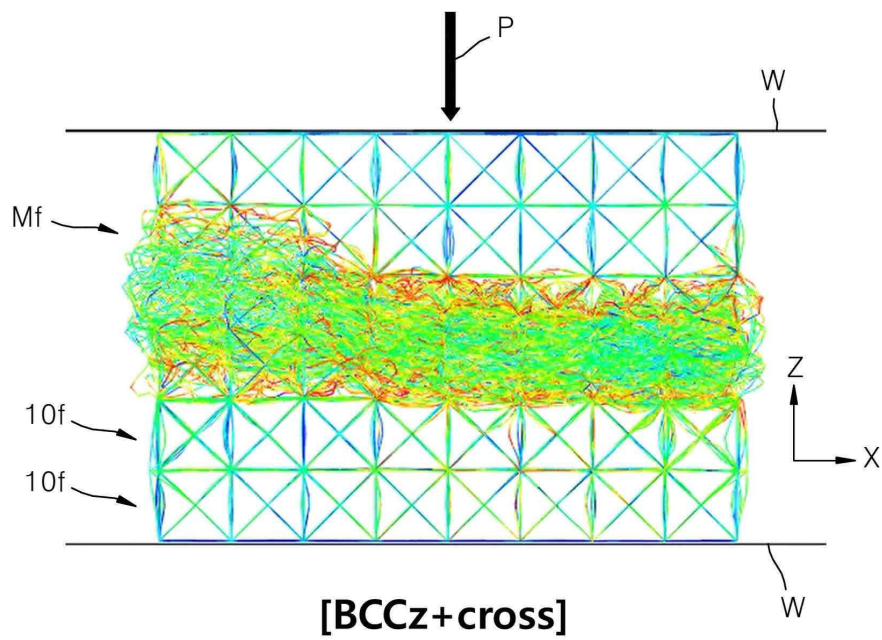
도면13



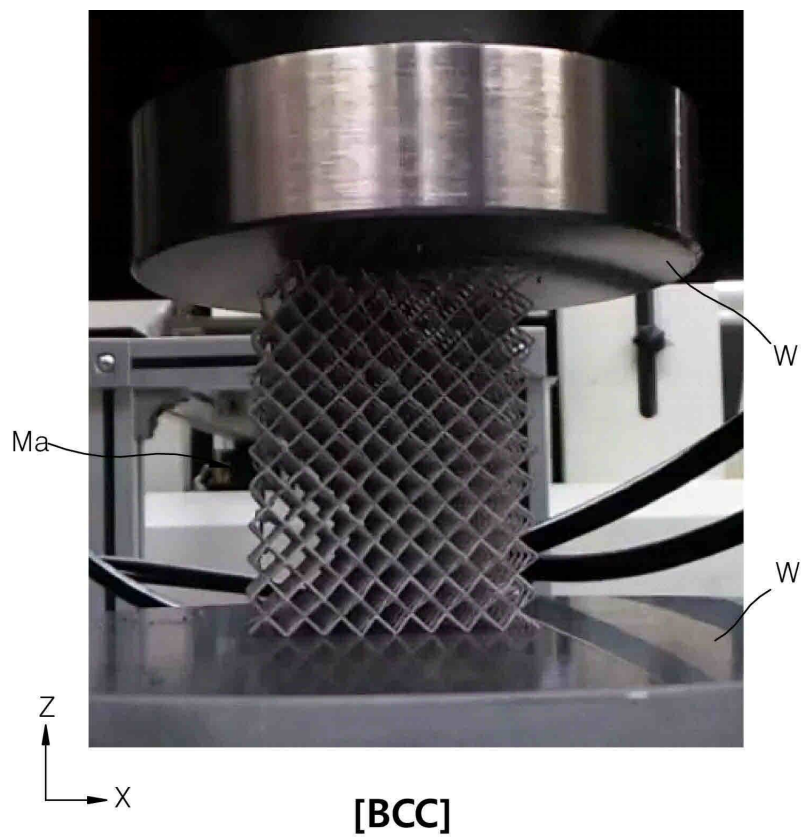
도면14



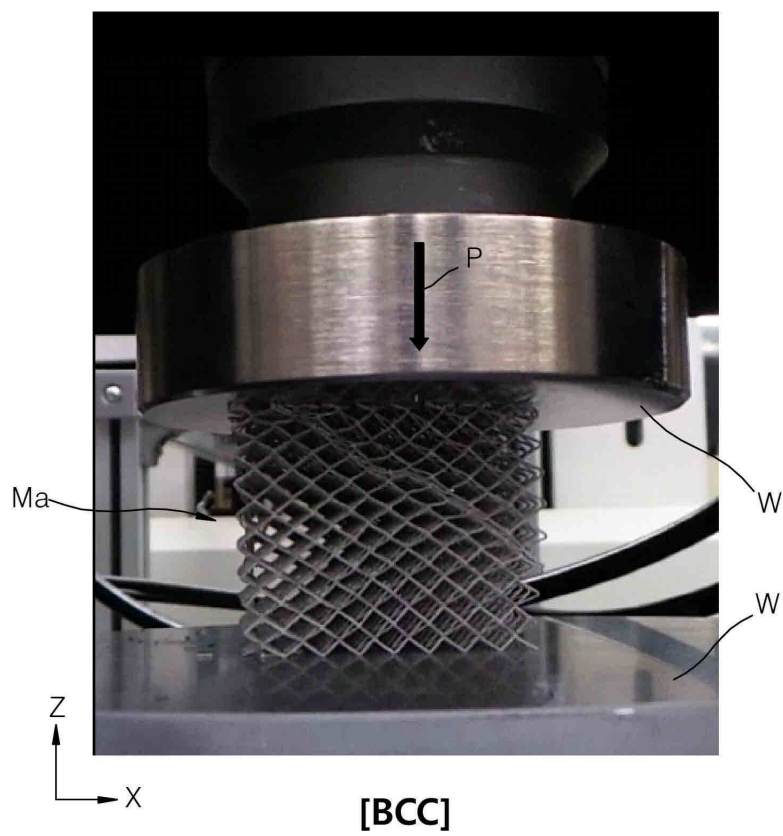
도면15



도면16



도면17



도면18

