(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년09월28일
(11) 등록번호 10-1782919
(24) 등록일자 2017년09월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61F 2/28 (2006.01) *A61F 2/30* (2006.01)
A61L 27/06 (2006.01) *A61L 27/56* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7006901
(22) 출원일자(국제) 2010년08월19일
심사청구일자 2015년08월13일
(85) 번역문제출일자 2012년03월16일
(65) 공개번호 10-2012-0053039
(43) 공개일자 2012년05월24일
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/046022
(87) 국제공개번호 WO 2011/022550
국제공개일자 2011년02월24일
(30) 우선권주장
61/235,269 2009년08월19일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20060147332 A1*
KR1020020068038 A*
US20030220696 A1
JP2003513879 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
스미스 앤드 네퓨, 인크.
미합중국 테네시 (우편번호:38116)멤피스 브룩스 로드 1450
(72) 발명자
샤프 제프리
미국 38120 테네시주 멤피스 파운틴 크레스트 디 알. 379
자니 실레쉬
미국 38138 테네시주 멤피스 바인야드 웨이 7075
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 안국찬

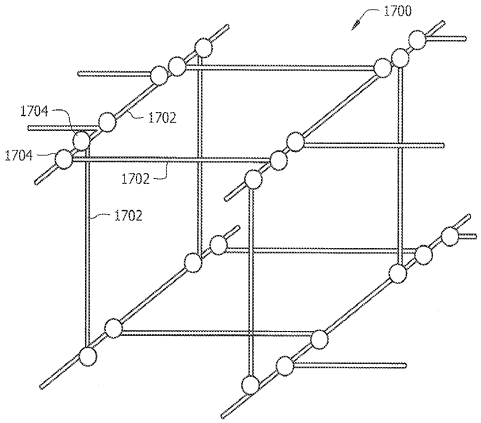
전체 청구항 수 : 총 22 항 심사관 : 이훈재

(54) 발명의 명칭 **다공성 임플란트 구조물**

(57) 요 약

의료용 임플란트로서 사용하기에 적합한 다공성 생체 친화성 구조물 및 그러한 구조물을 제조하기 위한 방법이 개시된다. 개시되는 구조물은 신속 제조 기술을 사용하여 제조될 수 있다. 개시되는 다공성 구조물은 복수의 스트럿 및 노드를 갖고, 단지 2개의 스트럿이 서로 교차하여 하나의 노드를 형성한다. 아울러, 노드는 직선이거나, 곡선이거나, 곡선 및/또는 직선인 부분일 수 있다. 스트럿 및 노드는 조직 및 세포 내생을 위해 필요한 다공도를 제공하면서 개선된 강도를 위한 연속적인 망상 구조물을 형성하기 위해 적어도 하나의 다른 셀에 융합되거나 소결될 수 있는 셀을 형성할 수 있다.

대 표 도 - 도17



(72) 발명자

길모어 로라

미국 38107 테네시주 멤피스 크럼프 애비뉴 1759

랜던 라이언

미국 38671 미시시피주 사우스헤이븐 위너스 서클 이스트 7552

명 세 서

청구범위

청구항 1

다공성 구조물이며,

복수의 스트럿으로서, 각각의 스트럿은 제1 단부, 제2 단부, 및 상기 제1 및 제2 단부들 사이의 연속적인 신장된 본체를 포함하고, 상기 본체는 두께 및 길이를 갖는, 복수의 스트럿과,

복수의 노드로서, 제1 스트럿의 일 단부와 제2 스트럿의 본체 사이의 교차부를 각각 포함하고, 단지 2개의 스트럿이 하나의 노드에서 교차하는, 복수의 노드

를 포함하는 다공성 구조물.

청구항 2

제1항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 제1 및 제2 단부는 2개의 다른 스트럿의 본체들 사이에서 연장하는 다공성 구조물.

청구항 3

제1항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 본체는 복수의 노드를 포함하는 다공성 구조물.

청구항 4

제1항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 적어도 하나의 단부의 단면은 상기 하나 이상의 스트럿의 본체의 일 부분의 단면보다 더 큰 다공성 구조물.

청구항 5

제1항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 본체의 적어도 일 부분은 곡선인 다공성 구조물.

청구항 6

제1항에 있어서, 복수의 스트럿은 서로에 대해 소결, 용융, 용접, 결합, 융합, 또는 연결되는 다공성 구조물.

청구항 7

제1항에 있어서, 복수의 스트럿 및 노드는 적어도 하나의 창을 형성하는 다공성 구조물.

청구항 8

제1항에 있어서, 금속, 세라믹, 금속-세라믹(세르멧), 유리, 유리-세라믹, 중합체, 복합재, 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 선택된 재료를 추가로 포함하는 다공성 구조물.

청구항 9

제8항에 있어서, 금속 재료는 티타늄, 티타늄 합금, 지르코늄, 지르코늄 합금, 니오븀, 니오븀 합금, 탄탈, 탄탈 합금, 니켈-크롬(예컨대, 스테인리스강), 코발트-크롬 합금 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 선택되는 다공성 구조물.

청구항 10

제1항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 단면은 다각형을 포함하는 다공성 구조물.

청구항 11

제1항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 단면의 적어도 일 부분은 곡선인 다공성 구조물.

청구항 12

다공성 구조물을 제조하기 위한 방법이며,

다공성 구조물의 모델을 생성하는 단계; 및

융합 가능한 재료를 에너지원에 노출시킴으로써 모델에 따라 다공성 구조물을 제조하는 단계를 포함하고,

상기 모델 생성 단계는,

제1 단부, 제2 단부, 및 각각의 스트럿에 대한 제1 및 제2 단부들 사이의 연속적인 신장된 본체를 구비한 하나 이상의 스트럿을 형성하는 단계,

본체에 대한 두께 및 길이를 선택하는 단계, 및

각각의 노드에 대해 제1 스트럿의 일 단부와 제2 스트럿의 본체 사이의 교차부를 구비한 적어도 하나의 노드를 형성하는 단계로서, 단지 2개의 스트럿이 하나의 노드에서 교차하는, 단계

를 포함하는 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 제1 및 제2 단부를, 2개의 다른 스트럿의 본체들 사이에서 연장하도록 형성하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 14

제12항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 본체를, 복수의 노드를 포함하도록 형성하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 15

제12항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 적어도 하나의 단부의 단면을, 상기 하나 이상의 스트럿의 본체의 일부분의 단면보다 더 크도록 형성하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 16

제12항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 본체의 적어도 일 부분을 곡선으로 형성하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 17

제12항에 있어서, 복수의 스트럿을 서로에 대해 소결, 용융, 용접, 결합, 또는 융합시키는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 18

제12항에 있어서, 복수의 스트럿 및 노드를 사용하여 다공성 구조물 내에 적어도 하나의 창을 형성하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 19

제12항에 있어서, 다공성 구조물의 제조 단계는 금속, 세라믹, 금속-세라믹(세르멧), 유리, 유리-세라믹, 중합체, 복합재, 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 하나 이상의 스트럿을 제조하기 위한 재료를 선택하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 티타늄, 티타늄 합금, 지르코늄, 지르코늄 합금, 니오븀, 니오븀 합금, 탄탈, 탄탈 합금, 니켈-크롬(예컨대, 스테인리스강), 코발트-크롬 합금 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 금속 재료를 선택하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 21

제12항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 단면을 다각형으로 형성하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 22

제12항에 있어서, 하나 이상의 스트럿의 단면의 적어도 일 부분을 곡선 부분으로 형성하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 출원은 2009년 8월 19일자로 출원된, 발명의 명칭이 "다공성 임플란트 구조물"인 미국 가특허 출원 제61/235,269호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용은 본원에 전체적으로 참조로 통합되었다.

[0002] 본 발명은 대체로 의료용 임플란트에 대해 적합한 다공성 구조물에 관한 것이고, 특히 강도, 다공도 및 연결성의 개선된 조합을 갖는 의료용 임플란트에 대해 적합한 다공성 구조물 및 그러한 개선된 다공성 구조물을 제조하기 위한 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 금속 발포 구조물이 의료용 임플란트를 포함한, 다양한 용도에서의 다공성 3차원 구조물이다. 금속 발포 구조물은 체중 지지 목적에 대한 필수적인 강도 및 골/조직 내생(in-growth)을 촉진시키는 다공성을 갖기 때문에, 의료용 임플란트, 특히 정형외과용 임플란트에 대해 적합하다. 예를 들어, 많은 정형외과용 임플란트는 회복 중에 골 내생을 촉진하기 위한 담체 구조물(scaffold structure) 및 환자 보행을 더 빠르게 하도록 의도된 체중 지지 섹션을 제공하는 다공성 섹션들을 포함한다.

[0004] 금속 발포 구조물은 다양한 방법에 의해 제조될 수 있다. 예를 들어, 하나의 그러한 방법은 분말 금속을 기공 형성제(PFA)와 혼합한 다음 혼합물을 원하는 형상으로 가압하는 것이다. PFA는 "번아웃" 공정에서 열을 사용하여 제거된다. 잔류 금속 골격이 그 다음 소결되어 다공성 금속 발포 구조물을 형성할 수 있다.

[0005] 다른 유사한 종래의 방법은 폴리우레탄 발포체에 결합제를 도포하는 단계, 결합제에 금속 분말을 도포하는 단계, 폴리우레탄 발포체를 번아웃시키는 단계, 및 금속 분말을 함께 소결시켜서 "그린" 부품을 형성하는 단계를 포함한다. 결합제 및 금속 분말은 그린 부품에 재도포되고, 그린 부품은 그린 부품이 원하는 스트럿 두께 및 다공도를 가질 때까지 재소결된다. 그린 부품은 그 다음 최종 형상으로 가공되어 재소결된다.

[0006] 그러한 종래의 방법에 의해 형성된 금속 발포체가 우수한 다공도를 제공하지만, 이는 많은 의료용 임플란트에서 체중 지지 구조물로서 역할하기에 충분한 강도를 제공하지 않을 수 있다. 아울러, 금속 발포체를 형성하기 위해 사용되는 공정은 금속과 PFA 사이의 반응에 의해 금속 발포체 내에서의 바람직하지 않은 금속 화합물의 형성으로 이어질 수 있다. 종래의 금속 발포체 제조 공정은 또한 상당량의 에너지를 소비하고 유해 증기를 생성할 수 있다.

[0007] 직접 금속 제조(DMF) 및 고체 자유 형태 제조(SFF)와 같은 신속 제조 기술(RMT)이 최근에 의료용 임플란트 또는 의료용 임플란트의 일부 내에서 사용되는 금속 발포체를 제작하기 위해 사용되었다. 대체로, RMT 방법은 구조물이 3-D 캐드 모델로부터 형성되도록 허용한다. 예를 들어, DMF 기술은 레이저 또는 전자 빔과 같은 에너지원으로 분말의 층을 조사함으로써 고화되는 분말로부터 한 번에 하나의 층으로 3차원 구조물을 제작한다. 분말은 분말 층의 선택된 부분으로 래스터 스캔 방식으로 지향되는 에너지원의 인가에 의해, 융합, 용융, 또는 소결된다. 하나의 분말 층 내에 패턴을 융합시킨 후에, 분말의 추가의 층이 분배되고, 공정은 원하는 구조물이 완성될 때까지, 융합이 층들 사이에서 발생하면서 반복된다.

[0008] 그러한 직접 제조 기술에서 사용되는 것으로 보고된 금속 분말의 예는 구리-주석, 구리-경납 및 황동-니켈계의 2상 금속 분말을 포함한다. DMF에 의해 형성된 금속 구조물은, 예를 들어, 대응하는 성형 금속 구조물의 70% 내지 80%의 밀도를 가지고, 상대적으로 조밀할 수 있거나, 역으로 80% 이상에 접근하는 다공도로 상대적으로 다공성일 수 있다.

[0009] DMF가 의료용 임플란트 내에서 체중 지지 구조물로서 역할하기에 충분히 강한 조밀한 구조물을 제공하도록 사용될 수 있지만, 그러한 구조물은 조직 및 골 내생을 증진시키기에 충분한 다공도는 갖지 않는다. 역으로, DMF는

조직 및 골 내생을 증진시키기에 충분한 다공도를 갖는 다공성 구조물을 제공하도록 사용될 수 있지만, 그러한 다공성 구조물은 체중 지지 구조물로서 역할하기 위해 필요한 강도가 결여된다. 다른 레이저 RMT 기술이 강도, 다공도, 및 연결성을 요구하는 정형외과용 임플란트에 대해 유사하게 불충분하다.

[0010] 금속 발포 임플란트 및 종래의 DMF 방법을 사용하여 제조된 임플란트의 결함의 결과로서, 몇몇 의료용 임플란트는 하나 이상의 상이한 목적을 위해 각각 설계된 복수의 구조물을 요구한다. 예를 들어, 몇몇 의료용 임플란트가 골 및 조직 내생을 증진시키기 위한 다공성 구조물 및 체중 지지 구조물을 모두 요구하기 때문에, 다공성 플러그가 중실 구조물의 리세스 내에 위치될 수 있고, 2개의 구조물들은 그 다음 소결에 의해 접합될 수 있다. 명백하게, 단일 구조물을 사용하는 것이 2개의 구분된 구조물을 사용하여 이들을 함께 소결시키는 것에 비해 바람직하다.

[0011] 상기에 비추어, 특히 다양한 정형외과 용도에 대해, 요구되는 강도 및 원하는 다공도를 제공하는 다공성 임플란트 구조물에 대한 필요가 여전히 있다. 본 발명은 체중 지지 구조물에 대해 적합한 강도 및 조직 내생 구조물에 대해 적합한 다공도를 갖는 개선된 다공성 구조물 및 그러한 개선된 다공성 구조물을 제조하기 위한 방법을 제공한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 하나의 목적은 개선된 강도 및 다공도를 갖는 의료용 임플란트로서 사용하기에 적합한 다공성 생체친화성 구조물을 제공하는 것이다.

[0013] 본 발명의 다른 목적은 개선된 강도 및 다공도를 갖는 의료용 임플란트로서 사용하기에 적합한 다공성 생체 친화성 구조물을 제조하기 위한 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 상기 목적을 만족시키기 위해, 본 발명의 일 태양에 따르면, 제1 단부 및 제2 단부를 각각 포함하는 복수의 스트럿; 제1 및 제2 단부들 사이의 연속적인 신장된 본체 - 본체는 두께 및 길이를 가짐 -; 및 제1 스트럿의 일 단부와 제2 스트럿의 본체 사이의 교차부를 각각 포함하는 복수의 노드를 포함하는 다공성 구조물이 제공된다.

[0015] 바람직한 실시예에서, 하나 이상의 스트럿의 제1 및 제2 단부는 2개의 다른 스트럿의 본체들 사이에서 연장한다. 다른 바람직한 실시예에서, 하나 이상의 스트럿의 본체는 복수의 노드를 포함한다.

[0016] 본 발명의 다른 태양에 따르면, 복수의 스트럿 - 하나 이상의 스트럿은 길이 및 두께를 갖는 곡선 부분을 포함함 -; 상기 곡선 부분들 중 2개가 접하여 교차하는 복수의 접합부; 및 상기 접합부들 중 3개 이상에 의해 형성되는 개방부를 각각 포함하는 복수의 변형된 노드를 포함하는 다공성 구조물이 있다.

[0017] 바람직한 실시예에서, 다공성 구조물은 길이 및 두께를 갖는 직선 부분을 포함하는 적어도 하나의 스트럿을 포함한다. 다른 바람직한 실시예에서, 다공성 구조물은 제1 단부 및 제2 단부를 갖는 적어도 하나의 스트럿; 제1 및 제2 단부들 사이의 연속적인 신장된 본체 - 본체는 두께 및 길이를 가짐 -; 및 제1 스트럿의 일 단부와 제2 스트럿의 본체 사이의 교차부를 포함하는 적어도 하나의 폐쇄 노드를 포함하고, 스트럿은 직선 부분, 곡선 부분 또는 이들 모두로 구성될 수 있다.

[0018] 본 발명의 다른 태양에 따르면, 다공성 구조물을 제조하기 위한 방법이 있다. 하나의 그러한 방법은 다공성 구조물의 모델을 생성하는 단계를 포함하고, 생성 단계는 다공성 구조물을 형성하기 위한 복수의 스트럿 및 복수의 노드를 형성하는 단계 및 금속 분말을 에너지원에 노출시킴으로써 모델에 따라 다공성 구조물을 제조하는 단계를 포함한다. 형성 단계는 제1 단부 및 제2 단부; 및 각각의 스트럿에 대한 제1 및 제2 단부들 사이의 연속적인 신장된 본체를 제공하는 단계, 본체에 대한 두께 및 길이를 선택하는 단계, 및 각각의 노드에 대해 제1 스트럿의 일 단부와 제2 스트럿의 본체 사이의 교차부를 제공하는 단계를 포함한다.

[0019] 바람직한 실시예에서, 방법은 2개의 다른 스트럿의 본체들 사이에서 연장하는 하나 이상의 스트럿의 제1 및 제2 단부를 형성하는 단계를 포함한다. 다른 바람직한 실시예에서, 하나 이상의 스트럿의 본체를 형성하는 단계는 복수의 노드를 포함한다.

[0020] 본 발명의 다른 태양에 따르면, 다공성 구조물을 제조하기 위한 제2 방법은 다공성 구조물의 모델을 생성하는 단계; 및 금속 분말을 에너지원에 노출시킴으로써 모델에 따라 다공성 구조물을 제조하는 단계를 포함하고, 생

성 단계는 다공성 구조물의 하나 이상의 셀에 대한 적어도 하나의 프레임 형상 및 크기를 선택하는 단계 - 프레임 형상은 아르키메데스 형상, 플라톤 형상, 완벽 볼록 다면체(strictly convex polyhedron), 각기둥, 엇각기둥 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 선택된 기하학적 형상을 포함함 -; 프레임에 하나 이상의 스트럿을 추가하는 단계 - 스트럿은 곡선 부분을 포함하고, 상기 추가 단계는 선택된 형상의 하나 이상의 면 내에 또는 그 둘레에 하나 이상의 스트럿의 곡선 부분을 내접시키거나 외접시킴으로써 수행됨 -; 프레임 및 하나 이상의 스트럿에 대한 두께를 선택하는 단계를 포함한다.

[0021] 바람직한 실시예에서, 생성 단계는 모델의 하나 이상의 셀로부터 프레임의 일부를 제거하는 단계를 포함한다. 다른 바람직한 실시예에서, 제조 단계는 선택된 치수, 적어도 하나의 셀 형상 및 적어도 하나의 셀 크기에 기초하여 다공성 구조물에 대한 $N_{(1, x)}$ 층간 패턴을 형성하는 단계 - N은 다공성 구조물의 바닥에서의 제1 층에 대한 1로부터 다공성 구조물의 상부에서의 상부 층에 대한 x까지의 범위임 -; 분말 생체 친화성 재료의 N번째 층을 적층하는 단계; 분말 생체 친화성 재료의 적층된 N번째 층 내에 N번째 패턴을 융합 또는 소결시키는 단계; 및 N = 1 내지 N = x에 대해 적층 및 융합 또는 소결 단계를 반복하는 단계를 포함한다.

[0022] 개선에서, 방법은 다공성 구조물의 모델을 생성하는 단계를 추가로 포함할 수 있고, 적어도 몇몇 노드에 대해, 단지 2개의 스트럿이 동일한 위치에서 교차한다.

[0023] 다른 개선에서, 방법은 적어도 하나의 스트럿 또는 스트럿 부분이 곡선인 다공성 구조물의 모델을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 개시되는 다공성 구조물은 직접 금속 제조 공정과 같은 신속 제조 기술을 사용하여 제조될 수 있다. 스트럿은 다른 스트럿에 소결(sinter), 용융(melt), 용접(weld), 결합(bond), 융합(fuse), 또는 달리 연결될 수 있다. 스트럿 및 노드는 복수의 창(fenestration)을 형성할 수 있다. 아울러, 스트럿 및 노드는 서로 융합, 용융, 용접, 결합, 소결, 또는 달리 연결되어 셀을 형성할 수 있고, 셀은 다른 셀에 융합, 용융, 용접, 결합, 소결, 또는 달리 연결되어 연속적인 망상 구조물을 형성할 수 있다.

[0025] 몇몇 개선에서, 셀의 적어도 하나, 일부 또는 모든 스트럿이 균일한 스트럿 직경을 가질 수 있다. 몇몇 개선에서, 셀의 스트럿들 중 하나, 일부, 또는 전부가 불균일한 스트럿 직경을 가질 수 있다. 몇몇 개선에서, 셀은 균일한 그리고 불균일한 스트럿 직경을 갖는 스트럿들의 조합을 가질 수 있다. 몇몇 개선에서, 셀의 균일한 직경의 스트럿들 중 적어도 하나, 일부, 또는 전부는 유사하거나, 상이하거나, 동일한 스트럿 직경, 종방향 형상, 단면 형상, 크기, 형상 프로파일, 스트럿 두께, 재료 특징, 강도 프로파일, 또는 다른 특성을 공유할 수 있거나 그렇지 않을 수 있다. 몇몇 개선에서, 셀 내의 하나, 일부, 또는 모든 스트럿은 소정의 스트럿 길이를 따라 유사하거나, 상이하거나, 동일한 비율로 직경이 성장 또는 수축할 수 있다.

[0026] 몇몇 개선에서, 셀 내의 스트럿은 2개의 노드 사이에서 연장할 수 있다. 이러한 개념의 추가의 개선에서, 스트럿은 2개의 노드 사이에 배치된 중간 부분에서의 최소 직경을 포함하여, 스트럿 길이를 따라 변하는 단면 직경을 가질 수 있다. 이러한 개념의 추가의 개선에서, 스트럿은 2개의 대향하는 단부를 가질 수 있고, 각각의 단부는 노드 및 2개의 단부 사이에 배치된 중간 부분에 연결된다. 스트럿은 중간 부분으로부터 각각의 노드를 향해 연장할 때 벌어지거나 외측으로 테이퍼질 수 있어서, 중간 부분의 직경은 대체로 2개의 대향하는 단부들 중 하나 또는 모두의 직경보다 더 작다. 몇몇 경우에, 스트럿은 포물선 플롯 형상으로 벌어질 수 있거나, 절두 원추형으로 테이퍼질 수 있다.

[0027] 다른 개선에서, 셀 내의 적어도 하나, 일부 또는 모든 스트럿은 곡선이다. 이러한 개념의 추가의 개선에서, 다공성 구조물 내의 셀들 중 하나, 일부, 또는 전부는 적어도 하나의 곡선 스트럿을 포함한다. 이러한 개념의 추가의 개선에서, 다공성 구조물을 구성하는 모든 스트럿은 곡선이다. 이러한 개념의 추가의 개선에서, 곡선 스트럿은 완전한 링 또는 링 세그먼트를 형성할 수 있다. 링 또는 링 세그먼트는 다면 셀의 개방 면 또는 창을 형성하도록 상호 연결될 수 있다. 몇몇 경우에, 단일 링이 2개의 인접한 다면 셀들을 연결하는 공유된 벽 부분을 형성할 수 있다. 몇몇 경우에, 하나 이상의 링 세그먼트가 단독으로 또는 직선 스트럿 부분과 조합하여, 2개의 인접한 다면 셀들을 연결하는 공유된 벽 부분을 형성할 수 있다. 또 다른 개선에서, 각각의 셀의 면의 개수는 약 4 내지 약 24의 범위일 수 있다. 더 바람직하게는, 각각의 셀의 면의 개수는 약 4 내지 약 16의 범위일 수 있다. 특별히 효과적인 것으로 발견된 하나의 기하학적 특성은 도데카헤드론(dodecahedron) 또는 12면 셀이다. 그러나, 아래에서 설명되고 도시되는 바와 같이, 다공성 구조물의 개별 셀 또는 셀들의 기하학적 특성은 폭 넓게 변할 수 있고, 기하학적 특성은 다공성 구조물의 셀마다 무작위로 변할 수 있다.

[0028] 다른 개선에서, 셀, 스트럿, 노드, 및/또는 접합부의 구성은 자연 골 조직을 더 밀접하게 모사하도록 다공성 구

조물 전체를 통해 무작위로 변할 수 있다.

[0029] 다른 개선에서, 각각의 셀은 테트라헤드론(tetrahedron), 트렁케이티드 테트라헤드론(truncated tetrahedron), 큐브옥타헤드론(cuboctahedron), 트렁케이티드 헥사헤드론(truncated hexahedron), 트렁케이티드 옥타헤드론(truncated octahedron), 롬비큐브옥타헤드론(rhombicuboctahedron), 트렁케이티드 큐브옥타헤드론, 스너브 헥사헤드론(snub hexahedron), 스너브 큐브옥타헤드론, 아이코시도데카헤드론(icosidodecahedron), 트렁케이티드 도데카헤드론, 트렁케이티드 아이코사헤드론(truncated icosahedron), 롬비코시도데카헤드론(rhombicosidodecahedron), 트렁케이티드 아이코시도데카헤드론, 스너브 도데카헤드론, 스너브 아이코시도데카헤드론, 큐브(cube), 옥타헤드론, 도데카헤드론, 아이코사헤드론, 각기둥(prism), 유사 각기둥(prismatoid), 엇각기둥(antiprism), 정각기둥(uniform prism), 직각 각기둥(right prism), 평행육면체(parallelpiped), 큐보이드(cuboid), 폴리토프(polytope), 허니콤(honeycomb), 4각형 피라미드(square pyramid), 5각형 피라미드(pentagonal pyramid), 3각형 큐폴라(triangular cupola), 4각형 큐폴라(square cupola), 5각형 큐폴라(pentagonal cupola), 5각형 로턴다(pentagonal rotunda), 늘인(elongated) 3각형 피라미드, 늘인 4각형 피라미드, 늘인 5각형 피라미드, 비틀어 늘인(gyroelongated) 4각형 피라미드, 비틀어 늘인 5각형 피라미드, 3각형 다이피라미드(triangular dipyramid), 5각형 다이피라미드, 늘인 3각형 다이피라미드, 늘인 4각형 다이피라미드, 늘인 5각형 다이피라미드, 비틀어 늘인 4각형 다이피라미드, 늘인 3각형 큐폴라, 늘인 4각형 큐폴라, 늘인 5각형 큐폴라, 늘인 5각형 로턴다, 비틀어 늘인 3각형 큐폴라, 비틀어 늘인 4각형 큐폴라, 비틀어 늘인 5각형 큐폴라, 비틀어 늘인 5각형 로턴다, 자이로바이파스티기움(gyrobifastigium), 3각형 오쏘바이큐폴라(triangular orthobicupola), 4각형 오쏘바이큐폴라(square orthobicupola), 4각형 자이로바이큐폴라(square gyrobicupola), 5각형 오쏘바이큐폴라(pentagonal orthobicupola), 5각형 자이로바이큐폴라(pentagonal gyrobicupola), 5각형 오쏘큐폴라로턴다(pentagonal orthocupolarotunda), 5각형 자이로큐폴라로턴다(pentagonal gyrocupolarotunda), 5각형 오쏘바이로턴다(pentagonal orthobirotunda), 늘인 3각형 오쏘바이큐폴라(elongated triangular orthobicupola), 늘인 3각형 자이로바이큐폴라, 늘인 4각형 자이로바이큐폴라, 늘인 5각형 오쏘바이큐폴라, 늘인 5각형 자이로바이큐폴라, 늘인 5각형 오쏘큐폴라로턴다, 늘인 5각형 자이로큐폴라로턴다, 늘인 5각형 오쏘바이로턴다, 늘인 5각형 자이로바이로턴다, 비틀어 늘인 3각형 바이큐폴라, 비틀어 늘인 4각형 바이큐폴라, 비틀어 늘인 5각형 바이큐폴라, 비틀어 늘인 5각형 큐폴라로턴다, 비틀어 늘인 5각형 바이로턴다, 오그멘티드 3각형 각기둥(augmented triangular prism), 바이오그멘티드 3각형 각기둥(biaugmented triangular prism), 트라이오그멘티드 3각형 각기둥(triaugmented triangular prism), 오그멘티드 5각형 각기둥, 바이오그멘티드 5각형 각기둥, 오그멘티드 6각형 각기둥, 파라바이오그멘티드 6각형 각기둥(parabiaugmented hexagonal prism), 메타바이오그멘티드 6각형 각기둥(metabiaugmented hexagonal prism), 트라이오그멘티드 6각형 각기둥, 오그멘티드 도데카헤드론, 파라바이오그멘티드 도데카헤드론, 메타바이오그멘티드 도데카헤드론, 트라이오그멘티드 도데카헤드론, 메타바이디미니시트 아이코사헤드론(metabidiminished icosahedron), 트라이디미니시트 아이코사헤드론(tridiminished icosahedron), 오그멘티드 트라이디미니시트 아이코사헤드론(augmented tridiminished icosahedron), 오그멘티드 트렁케이티드 테트라헤드론(augmented truncated tetrahedron), 오그멘티드 트렁케이티드 큐브(augmented truncated cube), 바이오그멘티드 트렁케이티드 큐브, 오그멘티드 트렁케이티드 도데카헤드론, 파라바이오그멘티드 트렁케이티드 도데카헤드론, 메타바이오그멘티드 트렁케이티드 도데카헤드론, 트라이오그멘티드 트렁케이티드 도데카헤드론, 자이레이트 롬비코시도데카헤드론(gyrate rhombicosidodecahedron), 파라바이자이레이트 롬비코시도데카헤드론(parabigyrate rhombicosidodecahedron), 메타바이자이레이트 롬비코시도데카헤드론(metabigyrate rhombicosidodecahedron), 트라이자이레이트 롬비코시도데카헤드론(trigyrate rhombicosidodecahedron), 디미니시트 롬비코시도데카헤드론(diminished rhombicosidodecahedron), 파라자이레이트 디미니시트 롬비코시도데카헤드론(paragyrate diminished rhombicosidodecahedron), 메타자이레이트 디미니시트 롬비코시도데카헤드론(metagyrate diminished rhombicosidodecahedron), 바이자이레이트 디미니시트 롬비코시도데카헤드론(bigyrate diminished rhombicosidodecahedron), 파라바이디미니시트 롬비코시도데카헤드론(parabidiminished rhombicosidodecahedron), 메타바이디미니시트 롬비코시도데카헤드론(metabidiminished rhombicosidodecahedron), 자이레이트 바이디미니시트 롬비코시도데카헤드론(gyrate bidiminished rhombicosidodecahedron), 및 트라이디미니시트 롬비코시도데카헤드론(tridiminished rhombicosidodecahedron), 스너브 다이스페노이드(snub disphenoid), 스너브 4각형 엇각기둥(snub square antiprism), 스페노코론(sphenocoron), 오그멘티드 스페노코로나(augmented sphenocorona), 스페노메가코로나(sphenomegacorona), 헤베스페노메가코로나(hebesphenomegacorona), 다이스페노신굴럼(disphenocingulum), 바이루나바이로턴다(bilunabirotunda), 3각형 헤베스페노로턴다(triangular hebesphenorotunda), 및 이들의 조합

으로 구성된 군으로부터 선택된 기하학적 형상 내에 맞춰질 수 있는 전반적인 형상을 갖는 다면형일 수 있다.

[0030] 다른 개선에서, 분말은 금속, 세라믹, 금속-세라믹[세르멧(cermet)], 유리, 유리-세라믹, 중합체, 복합재(composite) 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 선택된다.

[0031] 다른 개선에서, 금속 재료는 티타늄, 티타늄 합금, 지르코늄, 지르코늄 합금, 니오븀, 니오븀 합금, 탄탈, 탄탈 합금, 니켈-크롬(예컨대, 스테인리스강), 코발트-크롬 합금 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 선택된다.

[0032] 다른 개선에서, 다공성 구조물은 정형외과용 임플란트, 치과용 임플란트 또는 혈관 임플란트와 같은 의료용 임플란트의 적어도 일부를 형성한다.

[0033] 금속 생체 재료에서 사용하기 위한 직접 금속 제조(DMF) 공정 또는 중합체 생체 재료에서 사용하기 위한 입체 리소그래피 제조 공정과 같은 정밀 정형(near-net shape) 제조 공정을 사용하여 제조될 수 있는 세포 및 조직 내생 및 체중 지지 강도를 위한 다공성 정형외과용 임플란트 구조물이 또한 개시된다. DMF 공정이 이용되는 경우에, 분말 생체 친화성 재료가 층상으로 제공되고, 분말 생체 친화성 재료의 하나의 층의 개별 입자들이 한 번에 하나의 층으로 함께 융합되거나 소결된다. 예시적인 다공성 구조물은 복수의 3차원 셀을 포함한다. 각각의 셀은 복수의 스트럿을 포함한다. 각각의 스트럿은 하나의 노드에서 하나의 다른 스트럿에 소결되거나 융합될 수 있다. 각각의 노드는 2개 이하의 스트럿들의 접합부를 포함할 수 있다. 각각의 셀의 스트럿 및 노드는 복수의 창을 형성한다. 각각의 셀은 약 4 내지 약 24개의 창을 포함한다. 셀들 중 적어도 일부의 적어도 하나의 스트럿은 곡선이다. 각각의 셀은 연속적인 망상 구조물을 형성하기 위해 적어도 하나의 다른 셀에 융합되거나 소결될 수 있다.

[0034] 다른 장점 및 특징은 첨부된 도면과 관련하여 읽힐 때 다음의 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다. 상기는 다음의 본 발명의 상세한 설명이 더 잘 이해될 수 있도록 본 발명의 특징 및 기술적 장점을 광범위하게 개시하였다. 본 발명의 청구범위의 보호 대상을 형성하는 본 발명의 추가의 특징 및 장점이 이하에서 설명될 것이다. 개시되는 개념 및 구체적인 실시예는 본 발명의 동일한 목적을 수행하기 위한 다른 구조를 변형하거나 설계하기 위한 기반으로서 쉽게 이용될 수 있음을 본 기술 분야의 당업자는 이해하여야 한다. 그러한 등가의 구성은 첨부된 청구범위에서 설명되는 본 발명의 사상 및 범주로부터 벗어나지 않음이 또한 본 기술 분야의 당업자에 의해 구현되어야 한다. 본 발명의 특징인 것으로 믿어지는, 그의 조직 및 작동 방법에 관한 신규한 특징은 추가의 목적 및 장점과 함께, 첨부된 도면과 관련하여 고려될 때 다음의 설명으로부터 더 잘 이해될 것이다. 그러나, 각각의 도면은 예시 및 설명의 목적으로만 제공되고, 본 발명의 한도의 정의로서 의도되지 않음이 명확하게 이해되어야 한다.

[0035] 본 발명의 더 완전한 이해를 위해, 이제 첨부된 도면과 관련하여 취해지는 다음의 설명을 참조한다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1a 및 도 1b는 종래 기술의 다공성 구조물 내의 노드에서의 스트럿의 일례의 3D 도면을 도시하고, 도 1a의 스트럿들은 유사한 직경을 갖고, 도 1b의 스트럿들은 상이한 직경을 갖는다.

도 2는 종래 기술의 파단된 스트럿의 일례의 SEM(주사 전자 현미경) 사진이다.

도 3 내지 도 5는 본 발명의 스트럿 및 노드의 일 실시예의 3D 도면을 도시한다.

도 6 내지 도 8은 본 발명의 스트럿 및 노드의 다른 실시예의 3D 도면을 도시하고, 스트럿들 중 적어도 일부는 노드에서의 단면 직경에 비교하여 스트럿의 본체 부분에서 더 작은 단면 직경을 포함한다.

도 9a 및 도 9b는 도 6 내지 도 8의 실시예의 평면도를 도시한다.

도 10a 내지 도 10f는 종래 기술의 다공성 구조물의 스트럿 및 노드의 프레임의 다양한 구성의 2D 도면을 도시한다.

도 11a 내지 도 11f는 본 발명의 일 실시예에 의해 변형된 도 10a 내지 도 10f의 종래 기술의 스트럿 및 노드의 프레임의 대응하는 구성의 2D 도면을 도시한다.

도 12a 내지 도 12d는 도 11a 내지 도 11f의 하나 이상의 프레임 구성을 포함하는 본 발명의 다공성 구조물의 예시적인 실시예의 3D 도면을 도시한다.

도 13a 내지 도 13m은 직선, 곡선, 또는 이들의 조합인 스트럿에 대한 프레임을 포함하는, 노드를 형성하는 본

발명의 2개의 스트럿의 프레임의 다양한 예시적인 구성의 2D 도면을 도시한다.

도 14는 도 13a 내지 도 13m의 하나 이상의 프레임 구성을 포함하는 본 발명의 다공성 구조물의 예시적인 실시예의 2D 도면을 도시한다.

도 15a 내지 도 15c는 노드를 형성하도록 교차하는 본 발명의 다양한 곡선 프레임 및 대응하는 스트럿의 예시적인 구성의 2D 도면을 도시한다.

도 16은 직선, 곡선, 또는 이들의 조합인 스트럿에 대한 프레임을 포함하는, 도 13a 내지 도 13m의 하나 이상의 프레임 구성을 포함하는 본 발명의 다공성 구조물의 예시적인 실시예의 3D 도면을 도시한다.

도 17은 본 발명의 다공성 구조물의 일반적인 큐브 셀에 대한 예시적인 프레임의 3D 도면을 도시한다.

도 18은 도 17의 큐브 셀에 대한 프레임의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 19는 종래 기술의 다공성 구조물의 큐브 셀의 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 20은 본 발명의 다공성 구조물의 큐브 셀의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 21은 도 20의 배열의 확대도를 도시한다.

도 22는 본 발명의 다공성 구조물의 테트라헤드론 형상의 셀에 대한 예시적인 프레임의 3D 도면을 도시한다.

도 23은 본 발명의 다공성 구조물의 정사각형 기반 피라미드 셀에 대한 예시적인 프레임의 3D 도면을 도시한다.

도 24a 및 24b는 도데카헤드론 형상에 기초한 종래 기술의 다공성 구조물의 종래의 셀의 3D 도면의 다양한 도면을 도시한다.

도 25a 및 25b는 도데카헤드론 형상에 기초한 본 발명의 다공성 구조물의 셀의 일 실시예의 3D 도면의 다양한 도면을 도시한다.

도 26-28은 본 발명의 일 실시예에 의해 변형된 도 24a 및 24b의 종래의 셀의 프레임의 3D 도면을 도시한다.

도 29a 및 29b는 도 26-28로부터 형성된 본 발명의 셀의 3D 도면을 도시하고, 도 29b는 셀의 프레임의 3D 도면의 부분도이다.

도 30은 2D 도면으로 펼쳐진 도 27의 프레임을 도시한다.

도 31은 2D 도면으로 펼쳐진 트렁케이티드 테트라헤드론 셀의 프레임을 도시한다.

도 32는 본 발명의 일 실시예에 따른 곡선 스트럿으로 형성된 도 31의 프레임을 도시한다.

도 33은 2D 도면으로 펼쳐진 트렁케이티드 옥타헤드론 셀의 프레임을 도시한다.

도 34는 본 발명의 일 실시예에 따른 곡선 스트럿으로 형성된 도 33의 프레임을 도시한다.

도 35a 내지 도 35e는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 기하학적 형상 내에 내접하는 원 또는 타원의 예의 2D 도면을 도시한다.

도 36은 본 발명의 일 실시예에 따른 셀의 각각의 면 둘레에 외접된 원을 구비한 2D 도면으로 펼쳐진 트렁케이티드 테트라헤드론 셀의 프레임을 도시한다.

도 37a 및 도 37b는 도데카헤드론 형상에 기초한 본 발명의 셀의 다른 실시예의 3D 도면의 다양한 도면을 도시한다.

도 38은 도데카헤드론 형상에 기초한 본 발명의 셀의 또 다른 실시예의 3D 도면을 도시한다.

도 39a 내지 도 38c는 도데카헤드론 형상에 기초한 본 발명의 셀의 또 다른 실시예의 3D 도면의 다양한 도면을 도시한다.

도 40은 도 24 및 도 25의 셀의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 41a 및 도 41b는 도 24, 도 25, 및 도 37의 셀의 예시적인 배열의 3D 도면의 다양한 도면을 도시한다.

도 42는 하나 이상의 곡선 스트럿을 갖는 트렁케이티드 테트라헤드론 형상에 기초한 셀의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 43은 트렁케이티드 옥타헤드론에 기초한 셀의 본 발명의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 44는 큐브(밝은 회색), 트렁케이티드 큐브옥타헤드론(검정), 및 트렁케이티드 옥타헤드론(어두운 회색)에 기초한 셀의 본 발명의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 45는 큐브옥타헤드론(검정), 트렁케이티드 옥타헤드론(어두운 회색), 및 트렁케이티드 테트라헤드론(밝은 회색)에 기초한 셀의 본 발명의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 46은 도 42의 배열의 프레임 도면을 도시한다.

도 47은 도 43의 배열의 프레임 도면을 도시한다.

도 48 내지 도 50은 본 발명의 일 실시예에 의해 변형된 옥타헤드론에 기초한 프레임의 3D 도면을 도시한다.

도 51a 및 도 51b는 도 48 내지 도 50의 프레임으로부터 형성된 본 발명의 셀의 3D 도면의 다양한 도면을 도시한다.

도 52는 트렁케이티드 옥타헤드론에 기초한 프레임의 3D 도면을 도시한다.

도 53a 내지 도 53d는 본 발명의 일 실시예에 의해 변형된 도 52의 프레임으로부터 형성된 셀의 3D 도면의 다양한 도면을 도시한다.

도 54a 내지 도 54e는 도 53의 셀의 예시적인 배열의 3D 도면의 다양한 도면을 도시한다.

도 55a 내지 도 55e는 본 발명의 일 실시예에 의해 변형된 6각형 각기둥에 기초한 프레임으로부터 형성된 셀의 3D 도면을 도시한다.

도 56a 및 도 56b, 및 도 57a 및 도 57b는 도 55의 셀의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다.

도 58 내지 도 61은 본 발명의 다양한 실시예에 의해 변형된 도데카헤드론에 기초한 프레임의 3D 도면을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 도면은 반드시 축척에 맞지는 않으며, 개시되는 실시예는 때때로 도식적으로 그리고 부분 도면으로 도시됨을 이해하여야 한다. 소정의 경우에, 개시되는 방법 및 장치의 이해를 위해 필수적이지 않거나 다른 세부 사항을 인지하기 어렵게 만드는 세부 사항은 생략되었을 수 있다. 또한, 단순화의 목적으로, 전부가 아닌 단지 하나의 예시적인 경우가 표시될 수 있다. 당연히, 본 발명은 본원에서 예시되는 특정 실시예로 제한되지 않음을 이해하여야 한다.

[0038] 위에서 설명된 바와 같이, 직접 금속 제조(DMF)와 같은 신속 제조 기술(RMT)이 의료용 임플란트를 위한 다공성 구조물을 제작하기 위해 사용될 수 있다. 그러나, 다공성 구조물을 제조하기 위해 DMF 또는 다른 RMT를 사용하는 것은 3차원 다공성 구조물의 창들 사이에서 약한 영역을 생성할 수 있다. 이는 대부분 이러한 다공성 구조물을 형성하기 위해 종래 기술에서 사용되었던 셀의 형상 및 구성으로 인한 것이다. 특히, 파단이 전형적으로 스트럿들이 노드에서 함께 연결되는 영역에서 발생한다. 파단은 노드에 연결되는 스트럿의 단면적이 전형적으로 결과적인 노드의 단면적보다 더 작기 때문에, 종래 기술의 다공성 구조물 내에서 발생한다. 전형적으로 응력 상승기로 불리는, 스트럿이 그의 노드에 연결되는 영역은 구조적 손상의 일반적인 지점이다. 응력 상승기에서의 파손의 패턴은 또한 입자들의 용융상이 완전히 용융되어 함께 융합되지 않을 때 또는 주변 기판 표면이 너무 차가울 때 발생할 수 있고, 이는 고온 분말 재료가 DMF 공정 중에 비드(bead)화 되게 한다. 종래 기술의 스트럿 파단 및 다공성 구조물의 결과적인 열악한 성능의 정확한 원인에 관계없이, DMF를 포함한 RMT, 및 다른 자유 형태 제조 및 정밀 정형 공정(예컨대, 선택적 레이저 소결, 전자 빔 용융, 및 입체 리소그래피)을 사용하여 제조될 수 있는 개선된 다공성 구조물이 필요하다.

[0039] 도 1a 및 도 1b는 파단이 발생할 수 있는 경우의 도면을 제공한다. 도 1a 및 도 1b는 단일 노드에 각각 연결된 3개 또는 4개의 스트럿을 구비한 다공성 구조물의 일례를 도시하고, 도 1a의 스트럿들을 동일한 직경을 갖고, 도 1b의 스트럿들은 상이한 직경을 갖는다. 구체적으로, 도 1a에서, 대체로 동일한 직경의 3개의 스트럿(102)이 노드(104)에서 함께 연결된다. 3개의 응력 상승기(106)가 3개의 스트럿(102)들 사이의 연결부에서 생성된다. 응력 상승기(106)에서의 스트럿(102)의 단면 직경이 노드(104)의 단면 직경보다 더 작기 때문에, 응력 상승기(106)는 전형적인 스트럿 파손에 대한 위치이다. 도 1b에서, 3개의 더 작은 스트럿(108)이 노드(112)에서 더 큰 스트럿(110)에 연결된다. 노드(112)보다 실질적으로 더 작은 단면 직경을 갖는 4개의 결과적인

응력 상승기들 중 3개가 114로 도시되어 있다. 도 2는 RMT를 사용하여 제조된 구조물(200)의 SEM(주사 전자 현미경) 사진이고, 이는 스트럿 파단 표면(202)의 일례를 도시한다. 도 2에서, 도시된 샘플은 스트럿 파단 표면(202) 주위의 영역 내에서 형성 분말(204)로 폐색된다.

[0040] 도 3 내지 도 5를 참조하면, 본 발명의 다양한 실시예가 도시되어 있다. 도 3 내지 도 5에서, 스트럿(302, 402, 502)은 그들 각각의 노드(304, 404, 504)에서 다양한 조합으로 함께 연결된다. 각각의 노드(304, 404, 504)는 단지 2개의 스트럿들 사이의 연결부이다. 예를 들어, 도 5에서, 노드(504a)는 스트럿(502a, 502b)들 사이의 연결부를 포함하고; 노드(504b)는 스트럿(502b, 502c)들 사이의 연결부를 포함하고; 노드(504c)는 스트럿(502b, 502d)들 사이의 연결부를 포함한다. 각각의 노드(304, 404, 504)에서 만나거나 연결되는 스트럿(302, 402, 502)의 개수를 감소시킴으로써, 스트럿(302, 402, 502)들이 연결되는 곳의 직경 또는 단면적은 각각의 노드(304, 404, 504)에서의 단면적과 실질적으로 동일하다. 그러므로, 구조물의 강도에 대한 응력 상승기(도시되지 않음)의 효과는 도 3 내지 도 5에 도시된 구조물 내에서 경감된다. 결과적으로, 결과적인 구조물은 도 1a 및 도 1b에 도시된 종래 기술의 구조물보다 실질적으로 더 강하다.

[0041] 도 6 내지 도 8은 스트럿들 중 적어도 일부가 응력 상승기에서보다 스트럿의 본체에서 더 작은 단면 직경을 특징으로 하는, 스트럿 및 노드 조합을 포함하는 본 발명의 다공성 구조물의 대안적인 실시예를 도시한다. 스트럿(602, 702, 802)은 스트럿이 각각의 노드(604, 704, 804)에 접근하여 연결될 때 각각의 스트럿(602, 702, 802)이 더 넓은 단면 직경으로 벌어지는 플룻형 또는 원추형 형상을 특징으로 한다. 도 6 내지 도 8의 설계는 통합된 플룻형 스트럿(602, 702, 802) 및 비플룻형 스트럿(606, 706, 806)을 도시하고, 두 유형의 스트럿들은 각각의 노드(604, 704, 804)에서 연결된다.

[0042] 따라서, 플룻형 스트럿(602, 702, 802)과 비플룻형 스트럿(606, 706, 806) 사이의 각각의 연결부는 플룻형 스트럿(602, 702, 802)의 최대 단면 직경과 본질적으로 동등한 단면 직경을 갖는다. 따라서, 구조물의 응력 상승기(도시되지 않음)의 효과가 감소된다. 도 9a를 참조하면, 이는 도 8의 스트럿(802) 및 노드(804)의 평면도이다. 도 9b는 예시의 목적으로 스트럿(602) 및 노드(604)로서 표시된, 도 6 내지 도 8의 개별 노드의 평면도이다. 도 9a 및 도 9b를 참조하면, 플룻형 스트럿(602, 802)은 노드(804, 604)에서 만나는 단부(606, 806)에서의 더 크거나 최대인 단면 직경을 그리고 중간 부분에서 더 작거나 최소인 단면 직경을 갖는다. 따라서, 플룻형 스트럿(602, 702, 802)과 비플룻형 스트럿(606, 706, 806) 사이의 접합부에서의 응력 상승기(도시되지 않음)의 효과가 감소된다. 바람직하게는, 단지 2개의 스트럿, 예컨대 602와 606이 강도를 추가하기 위해 임의의 주어진 노드, 예컨대 604에서 만난다.

[0043] 도 10a 내지 도 10f는 종래 기술의 다공성 구조물 내의 스트럿 및 노드의 프레임의 다양한 구성의 2D 도면을 도시한다. 단순화의 목적으로, 스트럿은 3D로 제시되지 않았고, 각각의 스트럿은 실선, 굵은 실선, 또는 점선인 상이한 선, 예컨대 그의 프레임에 의해 제시되어 있다. 이러한 도면은 단순히 예시적이며, 제한적으로 의도되지 않는다. 종래 기술에서, 스트럿이, 직선, 곡선 또는 불규칙일 수 있는지에 관계없이, 다공성 구조물이 노드(1002)에서 만나는 2개 초과의 스트럿을 갖는 것이 전형적이다. 도 10a가 하나의 노드에서 만나는 2개의 스트럿을 도시할 수 있지만, 이러한 구성의 응력 상승기는 4개의 스트럿이 서로 연결되거나 교차하는 노드에서의 응력 상승기의 효과를 갖는다. 예를 들어, 미국 특허 출원 공개 제2006/0147332호 및 제2010/0010638호는 다공성 구조물을 형성하기 위해 채용되는 이러한 종래 기술 구성의 예를 도시한다.

[0044] 도 10a 내지 도 10f의 종래 기술 구성과 대조적으로, 본 발명은 단지 2개의 스트럿이 하나의 노드에서 교차하는 것을 보장함으로써 노드에서의 응력 상승기의 효과를 감소시킨다. 결과적으로, 몇몇 실시예는 스트럿들이 교차하는 곳의 직경 또는 단면적을 각각의 노드에서의 단면적과 실질적으로 동일하게 하여, 구조물의 강도에 대한 응력 상승기의 효과를 감소시킨다. 도 11a 내지 도 11f는 단지 2개의 스트럿이 하나의 노드에서 교차하는 것을 보장하기 위해 종래 기술의 대응하는 구성을 변형시키기 위한 본 발명의 예시적인 실시예를 도시한다. 도 11a 내지 도 11f에서 보이는 바와 같이, 각각의 노드(1102)는 단지 2개의 교차하는 스트럿을 갖는다. 단순화의 목적으로, 도 11a 내지 도 11f 내의 많은 노드들 중 하나만이 숫자 1102로 표시되어 있다. 특히, 도 11a 내지 도 11f는 노드(1102)에서, 하나의 스트럿의 단부가 다른 스트럿의 본체와 교차하는 것을 도시한다. 아울러, 본 발명의 일 실시예에 따른 종래 기술 구성의 변형은 강도를 추가하면서 추가의 다공성을 제공하는 각각의 구성에서 개방된 변형된 기공(1104)을 형성하고, 이는 종래 기술에 대한 큰 개선이다. 도 12a 내지 도 12d는 도 11a 내지 도 11f의 하나 이상의 구성으로 형성된 본 발명의 다공성 구조물의 예시적인 실시예의 3D 도면을 도시하고, 여기서 프레임, 예컨대 선은 스트럿을 형성하도록 두께가 주어진다. 도 12a 내지 도 12d에서, 다공성 구조물은 노드(1204)에서 서로 교차하는 스트럿(1202)을 갖고, 여기서 단지 2개의 노드가 하나의 노드에서 교차한다.

[0045] 도 11a 내지 도 11f에 의해 입증된 바와 같이, 도 10a 내지 도 10f의 종래의 노드(1002)는 단지 2개의 스트럿이 하나의 노드에서 만나는 것을 보장하기 위해 효과적으로 "개방"된다. 노드에서 응력 상승기의 효과를 감소시키는 것에 추가하여, 도 10a 내지 도 10f의 종래의 노드(1002)의 도 11a 내지 도 11f의 노드(1102)로의 이러한 "개방"은 제조 공정 중에 열 변동을 감소시키는 추가의 이점을 갖는다. 임의의 다른 열 공정에서와 같이, 재료의 열 변동을 제어, 예컨대 냉각할 수 있는 것은 원하는 재료 특성을 얻는데 있어서 중요하다.

[0046] 도 13a 내지 도 13m을 참조하면, 본 발명은 또한 다공성 구조물 내로 곡선 스트럿을 통합함으로써 응력 상승기의 효과를 감소시키는 실시예를 제공한다. 도 13a 내지 도 13m은 직선, 곡선, 또는 이들의 조합인 스트럿에 대한 프레임을 포함하는, 하나의 노드를 형성하는 본 발명의 2개의 스트럿의 프레임의 이러한 다양한 예시적인 구성의 2D 도면을 도시한다. 도시된 바와 같이, 2개의 스트럿만이 노드(1302)에서 서로 교차한다. 적어도 도 13a 내지 도 13c에서, 스트럿들은 노드(1302)에서 서로 접하여 교차하여, 증가된 기계적 강도 및 결합을 제공한다. 도 14는 직선, 곡선, 또는 이들의 조합인 스트럿에 대한 프레임을 포함하는, 도 13a 내지 도 13m의 하나 이상의 프레임 구성을 포함하는 본 발명의 다공성 구조물의 예시적인 실시예의 2D 도면을 도시한다. 도 14에 의해 도시된 바와 같이, 곡선이거나 직선인 단지 2개의 스트럿들이 각각의 노드에서 만난다. 도 15a 내지 도 15c는 노드(1502)를 형성하도록 교차하는 다양한 곡선 프레임 및 대응하는 스트럿의 본 발명의 예시적인 구성의 2D 도면을 도시한다. 도 15a 내지 도 15c에서, 점선은 프레임(1504)을 나타내고, 실선은 대응하는 스트럿(1506)을 나타낸다. 도시된 바와 같이, 노드(1502a)는 1508에서 그의 중심을 갖는 원형 스트럿이 1510에서 그의 중심을 갖는 원형 스트럿과 접하여 교차하거나 만나는 곳에서 형성된다. 노드(1502b)는 1508에서 그의 중심을 갖는 원형 스트럿이 1512에서 그의 중심을 갖는 원형 스트럿과 접하여 교차하거나 만나는 곳에서 형성된다. 유사하게, 도 15b는 1516에서 그의 중심을 갖는 원형 스트럿과 접하여 교차하여 노드(1502c)를 형성하는 1514에서 그의 중심을 갖는 원형 스트럿을 도시한다. 유사하게, 도 15c는 1520에서 그의 중심을 갖는 원형 스트럿과 접하여 교차하여 노드(1502d)를 형성하는 1518에서 그의 중심을 갖는 원형 스트럿을 도시한다. 도 16은 직선, 곡선, 또는 이들의 조합인 스트럿에 대한 프레임을 포함하는, 도 13a 내지 도 13m의 하나 이상의 프레임 구성을 포함하는 본 발명의 다공성 구조물의 예시적인 실시예의 3D 도면을 도시한다.

[0047] 도 17은 12개의 스트럿(1702) 및 16개의 노드(1704)에 의해 형성된 대체로 큐브형인 셀(1700)에 대한 예시적인 프레임의 3D 도면을 도시한다. 다시, 단순화의 목적으로, 스트럿 및 노드 중 일부만이 표시되어 있다. 종래의 큐브 설계(도시되지 않음)에서와 같은 3개의 스트럿들 사이의 연결부를 형성하는 8개의 노드와 대조적으로 단지 2개의 스트럿(1702)들 사이의 연결부를 형성하는 16개의 노드(1704)를 사용함으로써, 셀(1700)은 더 강한 노드(1704)와, 스트럿(1702)과 노드(1704) 사이의 더 강한 연결부를 제공한다. 결과적으로, 본 발명의 일 실시예의 이러한 신규한 구성은 스트럿(1702)과 노드(1704) 사이의 단면 직경의 변동이 없다. 결과적으로, 구조물의 강도에 대한 도 1a 및 도 1b의 응력 상승기(106, 114)에서 도시된 것과 같은 응력 상승기의 부정적인 효과가 경감된다. 도 18은 도 17에 도시된 것과 유사한, 복수의 연결된 셀(1802)로부터 형성된 다공성 구조물(1800)을 도시한다. 유사하게, 도 19 및 도 20은 도 19의 종래 기술의 셀의 배열과 도 20의 본 발명의 셀의 배열의 일 실시예 사이의 다른 비교를 도시한다. 앞서 설명된 바와 같이, 2개 초과의 스트럿들이 노드에서 교차하게 함으로써, 종래 기술의 다공성 구조물은 응력 상승기의 증가된 효과로 인해 약하다. 다른 한편으로, 본 발명의 도 20의 배열은 단지 2개의 스트럿들이 하나의 노드에서 교차하기 때문에, 개선된 강도를 갖는 필수적인 다공도를 제공한다. 또한, 도 20의 배열은 규칙적인 종래 기술의 구성과 달리, 해면골의 특징과 유사한, 더욱 소주상인 특징을 갖는 추가의 이점을 갖는다. 또한, 계산된 방식으로 형성되는 동안 소주상을 보는 장점은 본 발명에 따라 형성되는 다공성 구조물에 대한 다른 이점을 제공한다: 다공성 구조물의 광범위한 무작위화에 대한 감소된 필요성. 결과적으로, 도 20의 배열은 도 19의 종래 기술 구성보다 뼈의 특징과 더 유사하다. 도 21은 도 20의 배열의 확대도이고, 점선(2102)은 스트럿들이 만나서 노드를 형성하는 곳을 더 잘 도시하기 위해 스트럿의 프레임을 나타낸다.

[0048] 유사하게, 도 22는 본 발명의 셀의 다른 실시예를 도시한다. 셀(2200)은 테트라헤드론 형상 셀 또는 3각형 피라미드에 기초하고, 이는 단지 6개의 스트럿(2202)과 8개의 노드(2204)를 사용하여 형성된다. 각각의 노드(2204)는 단지 2개의 스트럿(2202)을 함께 연결한다. 도 23은 정사각형 피라미드인 유사한 셀(2300)을 도시한다. 도 23을 참조하면, 8개의 스트럿(2302) 및 11개의 노드(2304)가 셀(2300)을 형성하도록 사용된다. 도데카헤드론, 아이코사헤드론, 8각형 각기둥, 5각형 각기둥, 큐보이드 및 다양한 무작위 패턴과 같은, 셀에 대한 다른 기하학적 형상이 아래에서 설명된다. 또한, 도 17, 도 18, 도 22, 및 도 23은 이러한 프레임으로부터 형성될 수 있는 스트럿의 프레임을 도시하고, 각각의 스트럿의 두께는 선택될 수 있다. 이와 같이, 각각의 스트럿에 대한 두께는 스트럿마다 균일하거나 변할 수 있다. 아울러, 스트럿은 도 6 내지 도 8의 플룻형 스트럿을 포

함할 수 있다. 또한, 스트럿은 형상이 원통형일 필요는 없다. 아래에서 추가로 설명되는 바와 같이, 스트럿의 단면은 직사각형 또는 정사각형, 또는 임의의 다른 형상, 예컨대, 용도에 대해 적합한 기하학적 형상 또는 불규칙 형상일 수 있다.

[0049] 도 17, 도 18, 도 22, 및 도 23에 대해 위에서 설명된 바와 같이, 다양한 형상의 다양한 셀 설계가 위에서 설명된 다양한 기술, 예컨대 DMF를 사용하여 생성될 수 있다. 대체로, 거의 모든 3차원 다면 설계가 채용될 수 있다. 예를 들어, 아르키메데스 형상, 플라톤 형상, 완벽 볼록 다면체, 각기둥, 엇각기둥 및 이들의 다양한 조합과 같은 전반적인 기하학적 형상을 갖는 셀이 본 발명의 고려 내에 있다. 다른 실시예에서, 각각의 셀의 면의 개수는 약 4 내지 약 24의 범위일 수 있다. 더 바람직하게는, 각각의 셀의 면의 개수는 약 4 내지 약 16의 범위일 수 있다. 특히 효과적인 것으로 발견된 하나의 기하학적 특성은 도데카헤드론 또는 12면 셀이다. 그러나, 아래에서 설명되고 도시되는 바와 같이, 다공성 구조물의 개별 셀 또는 셀들의 기하학적 특성은 폭넓게 변할 수 있고, 기하학적 특성은 다공성 구조물의 셀마다 무작위로 변할 수 있다.

[0050] 예를 들어, 도 24a 및 도 24b는 각각의 노드(2404)가 3개의 스트럿(2402)들 사이의 연결부인 종래 기술의 다공성 구조물로부터 종래에 설계된 도데카헤드론 셀(2400)을 도시한다. 다시, 미국 특허 출원 공개 제2006/0147332호 및 제2010/0010638호는 이러한 종래의 셀로부터 형성된 다공성 구조물의 예를 개시한다. 주어진 다공도를 구비하고 원하는 체적을 갖는 다공성 구조물이 원하는 체적이 달성될 때까지, 하나의 셀(2400)을 다른 셀(2400)에 부착함으로써 복수의 셀(2400)을 사용하여 형성될 수 있다. 아울러, 종래 기술의 셀 구성을 사용하는 구조물은 자연 해면상 구조의 무작위성과 유사하지 않기 때문에 불리할 수 있다. 즉, 이는 소주골의 특징과 적절하게 유사하지 않다. 더 중요하게는, 도 24a 및 도 24b를 참조하면, 더 높은 응력이 각각의 노드(2404)에 가해지고, 이는 스트럿(2402)들이 120° 의 각도로 서로 교차하여, 노드(2404)의 면과 각각의 노드(2404)에서의 2개 초과의 스트럿(2402)들 사이의 연결부 상의 노치 또는 홈의 형성으로 인해 응력 집중 인자를 증가시키기 때문이다.

[0051] 도 25a 및 도 25b는 종래 기술의 이러한 문제점에 대한 해결책을 제공하는 본 발명의 일 실시예를 도시한다. 도 25a 및 도 25b에 의해 도시된 바와 같이, 셀(2500)은 링 또는 후프를 형성하는 곡선 스트럿(2502)을 사용함으로써 도 24a 및 도 24b의 종래의 노드(2404)를 제거하여, 이러한 노드에 기인하는 응력 집중 인자를 제거하였다. 또한, 셀(2500)은 도 24a 및 도 24b의 종래의 노드(2404)를 추가의 다공도를 제공하도록 개방되거나 다공성일 수 있는 변형된 노드(2504)로 교체하고, 이는 정형외과용 임플란트를 위한 조직/골 내생을 향상시키는 것과 같은, 많은 용도에 대한 추가의 이점이다. 따라서, 셀(2500)은 증가된 다공도에서의 추가의 강도를 제공하지만, 종래의 셀(2400)은 더 약하고 덜 다공성이다.

[0052] 도 26 내지 도 28은 도 25a 및 도 25b의 셀을 형성하기 위한 일 실시예를 도시한다. 도 26은 도 24a 및 도 24b에 대해 설명된 바와 같은 종래 기술의 셀에 대한 도데카헤드론 프레임(2600)을 도시한다. 도 27은 도 26의 도데카헤드론 프레임(2600) 위에 중첩된 도 28의 프레임(2800)을 포함하는 프레임(2700)을 도시한다. 도 29a는 프레임(2800)에 대한 두께를 선택함으로써 형성된 도 25a 및 도 25b의 것과 유사한 셀을 도시한다. 도 29a에서, 셀(2900)은, 이러한 실시예에서, 링, 루프, 환, 또는 후프를 형성할 수 있는 12개의 곡선 스트럿(2902)으로부터 구성된다. 곡선 스트럿(2902)들은 도 29b에서 더 쉽게 보이는 3각형의 변형된 노드(2904)에서 함께 접합된다. 도 29b를 참조하면, 더 두꺼운 원은 셀(2900)의 곡선 스트럿(2902)들 중 4개를 나타내고, 더 얇은 원은 스트럿(2902)에 의해 형성된 변형된 노드(2904)를 강조한다. 각각의 변형된 노드(2904)는 2개의 상이한 곡선 스트럿(2902)들 사이의 3개의 융합된 연결부 또는 소결 접합부(2906)를 포함한다. 즉, 곡선 스트럿(2902)들은 각각의 접합부(2906)에서 서로 접하여 교차한다. 각각의 스트럿(2902)의 두께에 의존하여, 변형된 노드(2904) 또한 3개의 접합부(2906)들 사이에 배치된 개방부(2908)를 구비하여 다공성일 수 있거나 3개의 접합부(2906)들 사이에 배치된 개방부가 없이 폐색될 수 있다. 바람직하게는, 변형된 노드(2904)는 곡선 스트럿(2902)의 창(2910)에 의해 제공되는 다공도와 관련하여 추가의 다공도를 제공하도록 3개의 접합부(2906)들 사이에 배치된 개방부(2908)를 갖는다. 도 29b를 참조하면, 스트럿(2906)들이 서로 접하여 교차하지만, 예컨대 그들의 프레임이 접하여 만나지만, 스트럿의 두께는 개별 접합부(2906)를 거리(2912)에 의해 표시된 바와 같이 상대적으로 길게 만들 수 있다. 이러한 길고, 대체로 접하는 소결 접합부(2906)는 증가된 기계적 강도 및 결합을 제공한다.

[0053] 도 30을 참조하면, 이는 종래의 프레임(3008) 및 셀(2900)의 프레임(3010)을 구비한, 도 27의 펼쳐지거나 평탄화된 2차원 도면을 도시한다. 도 30에 의해 도시된 바와 같이, 개별 접합부(3006)의 위치 및 개수는 종래의 구성(3008)의 종래의 노드(3004)에 비교하여, 본 발명에 의해 제공되는 곡선 스트럿(3002)을 사용할 때 상이하다. 예를 들어, 접합부(3006)는 대체로 곡선 스트럿(3002)의 본체의 중심 주위에 위치되고, 종래의 노드(3002)는 종

래의 스트럿의 단부에 위치된다. 또한, 이러한 특정 실시예에서, 곡선 스트럿(3002)들이 만나는 접합부(3006)의 개수는 직선 스트럿들이 프레임(3008)에 대해 만나는 종래의 노드(3004)의 개수의 3배이다. 따라서, 접합부의 증가된 개수는 증가된 기계적 강도를 제공한다.

[0054] 도 31 내지 도 34는 전형적인 다면체에 기초한 셀에 대한 프레임이 어떻게 도 29의 셀(2900)과 유사한 셀을 형성하기 위해 곡선 스트럿으로 변형될 수 있는지를 도시한다. 구체적으로, 도 31은 2D 도면으로 펼쳐진 트렁케이티드 테트라헤드론 셀의 프레임(3100)을 도시한다. 도 32에서, 프레임(3202)은 곡선 스트럿(3202)으로 형성되도록 본 발명의 일 실시예에 의해 변형된 도 31의 프레임(3100)을 나타낸다. 유사하게, 도 33은 2D 도면으로 펼쳐진 트렁케이티드 옥타헤드론 셀의 프레임(3300)을 도시하고, 도 34의 프레임(3402)은 곡선 스트럿(3402)으로 형성되도록 본 발명의 일 실시예에 의해 변형된 도 31의 프레임(3300)을 나타낸다. 예컨대, 도 30에 대해 위에서 설명된 바와 같이, 프레임(3200, 3400)에 의해 형성된 셀은 각각 프레임(3100, 3300)에 비해 증가된 기계적 강도 및 다공도를 갖는다.

[0055] 도 35a 내지 도 35e는 전형적인 다면체 프레임을 곡선 스트럿으로 변형시키는 하나의 방법을 도시한다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 다면체는 다면체 내에, 원, 또는 타원 또는 장원과 같은 곡선 특징을 포함하는 다른 형상을 내접시킴으로써 변형될 수 있다. 구체적으로, 도 35a는 정사각형 내에 내접하는 원이고, 도 35b는 6각형 내에 내접하는 원이고, 도 35c는 3각형 내에 내접하는 원이고, 도 35d는 8각형 내에 내접하는 원이고, 도 35e는 평행사변형 내에 내접하는 장원(oval)이다. 도 35a-35e는 이용 가능한 상이한 구성을 예시할 뿐이고, 본 발명의 범주를 제한하려는 의도는 아니다.

[0056] 도 36은 전형적인 다면체 프레임을 곡선 스트럿으로 변형시키는 다른 방법을 도시한다. 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 다면체는 원, 또는 타원 또는 장원과 같은 곡선 특징을 포함하는 다른 형상으로 다면체를 외접함으로써 변형될 수 있다. 도 36은 셀의 각각의 면 둘레에 외접하는 원(3602)을 구비한 트렁케이티드 테트라헤드론 셀의 프레임(3600)을 도시한다. 프레임(3600)의 일부 또는 모든 부분은 본 발명에 따른 다공성 구조물을 제조하기 위해 사용될 수 있는 새로운 셀 프레임을 형성하도록 제거될 수 있다.

[0057] 도 37 내지 도 39는 직선 및 곡선 스트럿을 포함하는 본 발명의 실시예를 도시한다. 구체적으로, 도 37a 및 도 37b는 도 26의 도데카헤드론 프레임(2600)의 도 28의 프레임(2800)과의 조합인, 도 27의 프레임(2700)으로부터 형성된 셀(3700)을 도시한다. 셀(3700)은 응력 상승기들의 혼합을 일으키는, 곡선 스트럿의 추가로 인해 증가된 강도를 갖는다. 도시된 바와 같이, 셀(3700)은 직선 스트럿(3702b)으로 형성된 종래의 노드 및 곡선 스트럿(3702a)들의 3개의 접합부에 의해 형성된 노드를 포함하는 변형된 노드(3704)를 갖는다. 도 38은 접합부(3808) 및 변형된 노드(3810)를 형성하도록 곡선 스트럿(3806)으로 셀의 다른 스트럿을 변형하면서, 직선 스트럿(3802)에 의해 형성된 하나 이상의 종래의 노드(3804)를 유지함으로써 형성된 셀(3800)을 도시한다. 도 38에서, 몇몇 스트럿은 용도에 의존하여, 다른 스트럿보다 선택적으로 더 두껍다.

[0058] 도 38을 참조하면, 셀(3800)은 적어도 하나의 곡선 스트럿(3802), 및 바람직하게는 2개의 다른 곡선 스트럿(3802)과 접합될 때 변형된 노드(3804a)를 형성하는 복수의 곡선 스트럿(3802)을 갖는다. 다른 실시예에서, 변형된 노드는 곡선 스트럿, 곡선 스트럿 섹션, 직선 스트럿, 또는 직선 스트럿 섹션, 또는 이들의 조합을 함께 접합시킴으로써 형성될 수 있다. 직선 및 곡선 스트럿을 함께 접합시킴으로써 형성된 노드의 일례가 변형된 노드(3904b)로서 도 39a 내지 도 39c에 도시되어 있다. 변형된 노드(3804a)는 바람직하게는 3개의 접합부(3806)에 의해 형성된 3각형이다. 셀(3800)은 종래 기술에서 실시된 각도를 교차시킴으로써 형성된 노치를 포함할 수 있는 직선 스트럿(3810) 또는 직선 스트럿 섹션들을 접합시키는 몇몇 종래의 노드(3808)를 포함할 수 있다. 변형된 노드(3804a)는 앞서 설명되고 3804a에 의해 표시된 바와 같이 다공성이거나, 3804b로 표시된 바와 같이 폐색될 수 있다. 폐색된 변형 노드(3804b) 및 다공성 변형 노드(3804a)는 곡선 또는 "링형" 스트럿들 사이의 3개의 이상의 접합부(3806)를 함께 접선 소결시킴으로써 형성될 수 있다. 폐색된 노드(3804b), 다공성 변형 노드(3804a), 종래의 노드(3808), 직선 스트럿(3810), 곡선 스트럿(3802), 및 이들의 일부 또는 섹션의 임의의 조합이 더 강하고, 더 해면상으로 보이는 셀 구조물을 생성하기 위해 상이한 소정의 또는 무작위 방식으로 사용될 수 있다. 도 39a 내지 도 39c를 참조하면, 셀(3900)은 그러한 조합의 일례이다. 셀(3900)은 "링형"인 곡선 스트럿(3902a) 및 스트럿(3902b)을 갖는다. 이는 또한 직선 스트럿(3906) 및 종래의 노드(3908)를 갖는다. 스트럿들의 조합은 다공성 변형 노드(3904a) 및 폐색된 변형 노드(3904b)를 형성한다.

[0059] 따라서, 다공성 구조물 내의 셀(3800)들이 균질일 수 있지만, 이들은 해면골의 모양과 더 밀접하게 유사하도록 서로에 대해 무작위 및/또는 소정의 방식으로 배열될 수 있다. 몇몇 경우에, 다공성 구조물을 생성하기 위해 소정의 패턴으로 체계적으로 배열되고 그리고/또는 무작위적인 방식으로 배열될 수 있는 하나 이상의 불균질 셀

구성을 이용하는 것이 바람직할 수 있다. 다양한 배열이 본 기술 분야의 당업자에게 명백할 바와 같이 컴퓨터 지원 설계(CAD) 소프트웨어 또는 다른 등가의 소프트웨어를 사용하여 설계될 수 있다.

[0060] 도 40 및 도 41은 도 24, 도 29, 및 도 37로부터의 셀(2400, 2900, 3700)이 각각 어떻게 조합, 예컨대 부착, 접합, 접착, 적층, 또는 반복되는지의 예시적인 구성을 도시한다. 구체적으로, 도 40은 도 24 및 도 29로부터의 셀(2400) 및 셀(2900)을 각각 포함하는 배열(4000)을 도시한다. 배열(4000)에서, 셀(2400)이 셀(2900)에 부착되는 면에서, 종래의 노드(2404)가 변형된 노드(2904) 내에 부분적으로 위치된다. 따라서, 셀(2400) 및 셀(2900)의 다양한 조합, 또는 본 발명에 따라 형성된 다른 셀을 사용함으로써, 다수의 변형된 노드(2504)가 종래의 노드를 변형된 노드와 정합시킴으로써 선택적으로 완전히 또는 부분적으로 폐색될 수 있다. 도 41a 및 도 41b는 셀(2400, 2900, 3700)을 포함하는 배열(4100)을 도시한다. 다시, 도 40 및 도 41은 예시적이며, 본 발명의 실시예에 따라 형성되는 이러한 셀 또는 다른 셀로 만들어질 수 있는 조합을 제한하지 않는다.

[0061] 도 42는 복수의 셀(4202)을 함께 접합시킴으로써 형성된 다공성 구조물(4200)을 도시하고, 여기서 셀(4202)의 형상은 트렁케이티드 테트라헤드론에 기초한다. 완전한 링을 형성하거나 그렇지 않을 수 있는 하나 이상의 곡선 스트럿(4204)이 도 42에서 트렁케이티드 테트라헤드론인 선택된 다면체 형상의 각각의 면 내에 내접하거나 그 둘레에 외접한다. 대안적으로, 트렁케이티드 테트라헤드론 형상 또는 다른 선택된 다면체 형상은 도 29의 셀(2900)의 링 스트럿과 같은 완벽하게 곡선인 링 스트럿과 밀접하게 근사하도록 많은 수의 짧은 스트럿을 사용하여 형성될 수 있다.

[0062] 도 43 내지 도 45는 본 발명의 실시예에 따라 형성된 셀의 예시적인 배열의 3D 도면을 도시한다. 구체적으로, 도 43은 트렁케이티드 옥타헤드론에 기초한 셀이 공간 충진 쪽매맞춤(space-filling tessellation)에 의한 것인 바이트렁케이티드 입방형 허니콤 구조물(4300)을 형성하도록 적층될 수 있는 하나의 방법을 도시한다. 양 회색 음영 내의 구조물(4300)의 셀은 트렁케이티드 옥타헤드론이다. 단순화의 목적으로, 각각의 셀은 곡선 스트럿으로 변형되지 않고, 점선 원은 하나 이상의 트렁케이티드 옥타헤드론의 하나 이상의 면이 본 발명의 실시예에 따라 변형될 수 있는 것, 예컨대 증가된 강도 및 다공도를 구비한 다공성 구조물을 형성하기 위한 곡선 스트럿을 도시하도록 역할한다. 유사하게, 도 44는 큐브(밝은 회색), 트렁케이티드 큐브옥타헤드론(검정), 및 트렁케이티드 옥타헤드론(어두운 회색)의 조합에 기초한 셀이 캔티트렁케이티드(cantitruncated) 입방형 허니콤 구조물(4400)을 형성하도록 적층될 수 있는 하나의 방법, 예컨대 공간 충진 쪽매맞춤을 도시한다. 다시, 점선 원은 다공성 구조물(4400)의 하나 이상의 다면체가 어떻게 본 발명의 실시예에 따라 변형될 수 있는지, 예컨대, 증가된 강도 및 다공도를 구비한 다공성 구조물을 형성하기 위한 곡선 스트럿을 나타냄이 이해된다. 유사하게, 도 45는 큐브옥타헤드론(검정), 트렁케이티드 옥타헤드론(어두운 회색), 및 트렁케이티드 테트라헤드론(밝은 회색)의 조합에 기초한 셀이 트렁케이티드 알터네이티드(alternated) 입방형 허니콤 구조물(4500)을 형성하도록 적층될 수 있는 하나의 방법, 예컨대 공간 충진 쪽매맞춤을 도시한다. 다시, 점선 원은 구조물(4500)의 하나 이상의 다면체가 본 발명의 실시예에 따라 변형될 수 있는 방법, 예컨대 증가된 강도 및 다공도를 구비한 다공성 구조물을 형성하기 위한 곡선 스트럿을 나타냄이 이해된다.

[0063] 도 46은 도 43의 바이트렁케이티드 입방형 허니콤 구조물(4300)의 프레임 도면을 도시한다. 도 47은 도 45의 캔티트렁케이티드 입방형 허니콤 구조물(4500)의 프레임 도면을 도시한다. 도 46 및 도 47에 의해 도시된 바와 같이, 다면체로 형성된 다공성 구조물은 무작위적이지 않고, 따라서 소주골의 특징과 적절하게 유사하지 않기 때문에, 특히 뼈를 위한 이식 목적에 대해 적합하지 않다. 다른 한편으로, 생각할 수 있는 바와 같이, 도 46 및 도 47의 프레임의 소정의 또는 모든 셀을 변형시키는 것은 소주골과 유사한 다공성 구조물을 생성한다.

[0064] 곡선 스트럿이 채용될 때, 적어도 하나의 곡선 스트럿 부분이 대체로 다면체의 면과 적어도 부분적으로 내접 또는 외접하는 링의 일 부분을 형성할 수 있다. 그러한 다면체 형상은 등편각 또는 꼭짓점-이행성(vertex-transitive), 아이소톡살(isotoxal) 또는 모서리-이행성, 다면성(isohedral) 또는 면-이행성, 규칙적, 준규칙적(quasi-regular), 반규칙적(semi-regular), 균일성, 또는 노블(noble) 중 임의의 하나일 수 있다. 개시된 곡선 스트럿 부분은 또한 다음의 아르키메데스 형상 중 하나 이상의 하나 이상의 면 내에 또는 그 둘레에 적어도 부분적으로 내접하거나 외접할 수 있다: 트렁케이티드 테트라헤드론, 큐브옥타헤드론, 트렁케이티드 큐브(즉, 트렁케이티드 헥사헤드론), 트렁케이티드 옥타헤드론, 롬비큐브옥타헤드론(즉, 소형 롬비큐브옥타헤드론), 트렁케이티드 큐브옥타헤드론(즉, 대형 롬비큐브옥테헤드론), 스너브 큐브[즉, 스너브 헥사헤드론, 스너브 큐브옥타헤드론 - 하나 또는 2개의 카이랄(chiral) 형태], 아이코시도데카헤드론, 트렁케이티드 도데카헤드론, 트렁케이티드 아이코사헤드론[즉, 버키볼(buckyball) 또는 축구공 형상], 롬비코시도데카헤드론(즉, 소형 롬비코시도데카헤드론), 트렁케이티드 아이코시도데카헤드론(즉, 대형 롬비코시도데카헤드론), 스너브 도데카헤드론 또는 스너브 아이코시도데카헤드론(하나 또는 2개의 카이랄 형태). 아르키메데스 형상이 동일한 꼭짓점 내에서

만나는 2가지 이상의 유형의 규칙적 다각형으로 구성된 고도로 대칭인, 반규칙적 볼록 다면체이므로, 이들은 대체로 체적 공간을 충진하기 위한 반복 패턴으로 사용하기가 쉽게 적층 및 배열 가능한 것으로 분류될 수 있다.

[0065] 몇몇 실시예에서, 본 발명에 따른 곡선 스트럿 부분은 다공성 구조물을 형성하도록 제공되고, 곡선 스트럿 부분은 대체로 하나 이상의 플라톤 형상(예컨대, 테트라헤드론, 큐브, 옥타헤드론, 도데카헤드론, 및 아이코사헤드론), 균일한 다면체(예컨대, 각기둥, 엇각기둥과 같은 유사 각기둥, 균일 각기둥, 직각 각기둥, 평행육면체, 및 큐보이드), 폴리토프, 다각형, 다면체, 폴리폼(polyform), 및/또는 허니콤의 하나 이상의 다각형 면 내에 또는 그 둘레에 적어도 부분적으로 내접하거나 외접하는 링 스트럿 부분을 형성한다. 엇각기둥의 예는 4각형 엇각기둥, 8각형 엇각기둥, 5각형 엇각기둥, 10각형 엇각기둥, 6각형 엇각기둥, 및 12각형 엇각기둥을 포함하지만 이들로 제한되지 않는다.

[0066] 또 다른 실시예에서, 다공성 구조물은 완벽 볼록 다면체[예컨대, 존슨 형상(Johnson shape)]의 형상을 포함하는 셀로부터 형성될 수 있고, 곡선 스트럿 부분은 대체로 완벽 볼록 다면체의 하나 이상의 면 내에 또는 그 둘레에 적어도 부분적으로 내접하거나 외접하는 링 스트럿 부분을 형성하고, 완벽 볼록 다면체의 각각의 면은 규칙적 다각형이고, 완벽 볼록 다면체는 균일하지 않다 (즉, 이는 플라톤 형상, 아르키메데스 형상, 각기둥, 또는 엇각기둥이 아니다). 그러한 실시예에서, 완벽 볼록 다면체의 각각의 면은 동일한 다각형이어야 하거나, 동일한 다각형들은 각각의 꼭짓점 주위에서 접합하는 요건이 없다. 몇몇 예에서, 4각형 피라미드, 5각형 피라미드, 3각형 피라미드, 4각형 큐폴라, 5각형 큐폴라, 및 5각형 로턴다와 같은 피라미드, 큐폴라, 및 로턴다가 고려된다. 또한, 늘인 3각형 피라미드 (또는 늘인 테트라헤드론), 늘인 4각형 피라미드 (또는 오그멘티드 큐브), 늘인 5각형 피라미드, 비틀어 늘인 4각형 피라미드, 비틀어 늘인 5각형 피라미드 (또는 디미니시트 아이코사헤드론), 3각형 다이피라미드, 5각형 다이피라미드, 늘인 3각형 다이피라미드, 늘인 4각형 다이피라미드 (또는 바이오그멘티드 큐브), 늘인 5각형 다이피라미드, 비틀어 늘인 4각형 다이피라미드와 같은 변형된 피라미드 및 다이피라미드가 채용될 수 있다. 늘인 3각형 큐폴라, 늘인 4각형 큐폴라(디미니시트 롬비큐브옥타헤드론), 늘인 5각형 큐폴라, 늘인 5각형 로턴다, 비틀어 늘인 3각형 큐폴라, 비틀어 늘인 4각형 큐폴라, 비틀어 늘인 5각형 큐폴라, 비틀어 늘인 5각형 로턴다, 자이로바이파스티기움, 3각형 오쏘바이큐폴라(자이레이트 큐브옥타헤드론), 4각형 오쏘바이큐폴라, 4각형 자이로바이큐폴라, 5각형 오쏘바이큐폴라, 5각형 자이로바이큐폴라, 5각형 오쏘큐폴라로턴다, 5각형 자이로큐폴라로턴다, 5각형 오쏘바이로턴다(자이레이트 아이코시도데카헤드론), 늘인 3각형 오쏘바이큐폴라, 늘인 3각형 자이로바이큐폴라, 늘인 4각형 자이로바이큐폴라(자이레이트 롬비큐브옥타헤드론), 늘인 5각형 오쏘바이큐폴라, 늘인 5각형 자이로바이큐폴라, 늘인 5각형 오쏘큐폴라로턴다, 늘인 5각형 자이로큐폴라로턴다, 늘인 5각형 오쏘바이로턴다, 늘인 5각형 자이로바이로턴다, 비틀어 늘인 3각형 바이큐폴라(하나 또는 2개의 카이랄 형태), 비틀어 늘인 4각형 바이큐폴라(하나 또는 2개의 카이랄 형태), 비틀어 늘인 5각형 바이큐폴라(하나 또는 2개의 카이랄 형태), 비틀어 늘인 5각형 큐폴라로턴다(하나 또는 2개의 카이랄 형태), 및 비틀어 늘인 5각형 바이로턴다(하나 또는 2개의 카이랄 형태)와 같은 변형된 큐폴라 및 로턴다 형상이 이용될 수 있다. 오그멘티드 3각형 각기둥, 바이오그멘티드 3각형 각기둥, 트라이오그멘티드 3각형 각기둥, 오그멘티드 5각형 각기둥, 바이오그멘티드 5각형 각기둥, 오그멘티드 6각형 각기둥, 파라바이오그멘티드 6각형 각기둥, 메타바이오그멘티드 6각형 각기둥, 및 트라이오그멘티드 6각형 각기둥과 같은 오그멘티드 각기둥이 또한 본 발명에서 실시될 수 있다. 오그멘티드 도데카헤드론, 파라바이오그멘티드 도데카헤드론, 메타바이오그멘티드 도데카헤드론, 트라이오그멘티드 도데카헤드론, 메타바이디미니시트 아이코사헤드론, 트라이디미니시트 아이코사헤드론, 및 오그멘티드 트라이디미니시트 아이코사헤드론과 같은 변형된 플라톤 형상이 채용될 수 있다. 또한, 오그멘티드 트렁케이티드 테트라헤드론, 오그멘티드 트렁케이티드 큐브, 바이오그멘티드 트렁케이티드 큐브, 오그멘티드 트렁케이티드 도데카헤드론, 파라바이오그멘티드 트렁케이티드 도데카헤드론, 메타바이오그멘티드 트렁케이티드 도데카헤드론, 트라이오그멘티드 트렁케이티드 도데카헤드론, 자이레이트 롬비코시도데카헤드론, 파라바이자이레이트 롬비코시도데카헤드론, 메타바이자이레이트 롬비코시도데카헤드론, 트라이자이레이트 롬비코시도데카헤드론, 디미니시트 롬비코시도데카헤드론, 파라자이레이트 디미니시트 롬비코시도데카헤드론, 메타자이레이트 디미니시트 롬비코시도데카헤드론, 바이자이레이트 디미니시트 롬비코시도데카헤드론, 파라바이디미니시트 롬비코시도데카헤드론, 메타바이디미니시트 롬비코시도데카헤드론, 자이레이트 바이디미니시트 롬비코시도데카헤드론, 및 트라이디미니시트 롬비코시도데카헤드론과 같은 변형된 아르키메데스 형상이 고려된다. 스너브 다이스페노이드[샴(Siamese) 도데카헤드론], 스너브 4각형 엇각기둥, 스페노코로나, 오그멘티드 스페노코로나, 스페노메가코로나, 헤베스페노메가코로나, 다이스페노신굴럼, 바이루나바이로턴다, 및 3각형 헤베스페노로턴다 및 다른 다양한 불균일 볼록 다면체 형상이 고려된다.

[0067] 몇몇 실시예에서, 본 발명의 셀 창의 평균 단면은 0.01 내지 2000 마이크로미터의 범위 내이다. 더 바람직하게는, 셀 창의 평균 단면은 50 내지 1000 마이크로미터의 범위 내이다. 가장 바람직하게는, 셀 창의 평균 단면은

100 내지 500 마이크로미터의 범위 내이다. 셀 창은 (1) 개방된 변형 기공, 예컨대, 도 38의 3804a 또는 도 11a 내지 도 11f의 1104와 같은 스트럿에 의해, 접합부, 예컨대, 도 38의 3806 또는 도 11a 내지 도 11f의 노드(1102)에 의해 생성된 임의의 개방부, 또는 (2) 스트럿 자체, 예컨대 도 29b의 2910에 의해 내접하는 임의의 개방부를 포함할 수 있지만 이들로 제한되지 않는다. 예를 들어, 셀 창이 대체로 원형인 실시예에서, 창의 평균 단면은 그러한 특정 창의 평균 직경일 수 있고, 셀 창이 대체로 직사각형 또는 정사각형인 실시예에서, 창의 평균 단면은 하나의 면으로부터 대향 면으로 이어지는 평균 거리일 수 있다.

[0068] 상기 원리를 다른 실시예에 적용하면, 도 51a 및 도 51b는 도 49 및 도 50에 도시된 본 발명의 일 실시예에 따라 변형된 도 48에 도시된 옥타헤드론 프레임으로부터 형성된 셀(5100)을 도시한다. 도 49에서, 프레임(4900)은 도 48의 프레임(4800)의 면 내에 원을 내접시킴으로써 형성된다. 도 50에서, 프레임(5000)은 도 49의 프레임(4900)으로부터 프레임(4800)을 제거함으로써 형성된다. 도 49에 도시된 바와 같이, 프레임(5000)은 대체로 옥타헤드론 프레임(4800) 내에 맞춰진다. 도 51a 및 도 51b는 도 50의 프레임(5000)에 대한 형상 및 두께를 선택함으로써 형성된, 완성된 셀(5100)을 도시한다. 도 51a 및 도 51b를 참조하면, 셀(5100)은 대체로 링 형태로 제공될 수 있는 8개의 곡선 스트럿(5102)을 포함한다. 8개의 곡선 스트럿(5102)은 12개의 상이한 접합부(5106)에서 서로 연결된다. 대체로 직사각형 형상을 각각 갖는 6개의 다공성 변형 노드(5104)가 4개의 상이한 접합부(5106) 및 대응하는 스트럿(5102)에 의해 형성된다. 도 51a 및 도 51b에 의해 도시된 바와 같이, 도 25a 및 도 25b의 셀(2500)의 곡선 스트럿과 달리, 곡선 스트럿(5102)은 도 25a 및 도 25b의 셀(2500)과 유사한 셀의 원형 단면이 아닌 직사각형 또는 정사각형 단면을 갖는다. 직사각형 또는 정사각형 단면을 구비한 셀은 원형 단면을 구비한 셀과 상이한 조도를 구비한 다공성 구조물을 제공한다. 다른 실시예의 스트럿은 단면에 대해 상이한 형상을 가질 수 있음이 고려된다. 따라서, 셀의 스트럿들은 동일한 단면을 가질 수 있거나, 스트럿들의 단면의 형상은 무작위적으로 선택될 수 있거나, 단면 형상은 원하는 강도, 다공도, 및/또는 조도를 달성하기 위해 선택적으로 결정될 수 있다.

[0069] 다른 대안으로서, 도 53a 내지 도 53d는 본 발명의 일 실시예에 의해 변형된 도 52에 도시된 트렁케이티드 테트라헤드론 프레임에 기초한 또 다른 셀(5300)을 도시한다. 도 53a 내지 도 53d를 참조하면, 셀(5300)은 도 51a 및 도 51b의 셀(5100)과 유사한 방식으로 형성된다. 즉, 프레임(5200)은 원형 스트럿을 포함하는 제2 프레임을 형성하도록 원과 내접하고, 프레임(5200)이 제거되어 원형 프레임을 남긴다. 셀(5300)은 프레임(5300)에 대한 단면 영역의 두께 및 형상을 선택함으로써 완성된다. 위에서 설명된 바와 같이, 스트럿의 단면의 두께 및 형상은 균일할 수 있거나, 이는 무작위적으로 또는 균일한 단면을 구비한 스트럿 또는 플룻형인 스트럿을 포함하여 소정의 방식으로 변할 수 있다. 셀(5300)은 트렁케이티드 테트라헤드론 프레임(5200)의 4개의 대형 6각형 면과 대응하는 4개의 대형 곡선 스트럿(5302a), 및 트렁케이티드 테트라헤드론 프레임(5200)의 4개의 소형 3각형 면과 대응하는 4개의 소형 곡선 스트럿(5202b)을 포함한다. 대안적으로, 셀은 트렁케이티드 테트라헤드론 프레임(5200)의 대형 면(5202) 및 소형 면(5204) 둘레에 원을 외접시킴으로써 형성될 수 있다. 이러한 대안적인 실시예의 2D 도면이 도 36에 도시되어 있다. 도면에서 명확하게 도시되지는 않았지만, 몇몇 실시예에서, 내접 및 외접하는 곡선 스트럿의 조합이 채용될 수 있음이 또한 고려된다. 도 53a 내지 도 53d에 도시된 바와 같이, 다공성 3각형 변형 노드(5304)는 스트럿(5202a, 5202b)들을 함께 연결하는 3개의 접합부(5306)들 사이에 형성되지만, 본 기술 분야의 당업자는 도 38에 도시된 바와 같은 폐색된 변형 노드(3804b)가 또한 채용될 수 있음을 인식할 것이다. 또한, 도 53a 내지 도 53d에 도시된 바와 같이, 대형 곡선 스트럿(5302a)은 원형 단면을 갖고, 소형 곡선 스트럿(5302b)은 직사각형 단면을 갖는다. 도 54a 내지 도 54e는 하나의 예시적인 방식으로 도 53의 셀(5300)들을 적층시킴으로써 형성된 다공성 구조물의 다양한 각도를 도시한다. 몇몇 실시예에서, 도 53의 셀(5300)은 본 기술 분야의 당업자에게 공지된 바와 같이 상이한 방식으로 적층될 수 있음이 고려된다.

[0070] 도 55a 내지 도 55e는 셀(5500)이 상부 및 하부 6각형을 구비하며 6개의 수직 측면을 포함하는 6각형 각기둥[Prismatic(각기둥형)] 프레임에 기초하는 또 다른 실시예를 도시한다. 6개의 소형 곡선 스트럿(5502a)은 6개의 측면에 대해 사용되고, 대형 상부 및 하부 곡선 스트럿(5502b)은 상면 및 하면에 대해 사용된다. 도 55a 내지 도 55e에 도시된 셀(5500)에서, 8개의 곡선 스트럿(5302a, 5302b)은 폐색된 변형 노드(5504)에 의해 연결되지만, 도 25에 도시된 것과 같은 다공성 변형 노드가 또한 채용될 수 있음이 본 기술 분야의 당업자에게 명백할 것이다. 도 55a 내지 도 55e에 도시된 특정 실시예에서, 6개의 측면에 대해 사용되는 6개의 소형 곡선 스트럿(5502a)은 2개의 대형 상부 및 하부 곡선 스트럿(5302b)보다 약간 더 작은 단면적을 갖는다. 그러나, 균일하거나 실질적으로 균일한 단면적을 구비한 스트럿들이 또한 본 발명의 범주로부터 벗어남이 없이 채용될 수 있음이 당업자에게 명백할 것이다. 도 56a 및 도 56b는 하나의 예시적인 방식으로 도 55a 내지 도 55e의 셀(5500)들을 적층시킴으로써 형성된 다공성 구조물의 다양한 각도를 도시한다. 도 56a 및 도 56b에서, 셀(5500)들은 층(5602)을 형성하도록 서로 인접하여 위치되고, 층들은 소정의 또는 무작위 방식으로 서로 중첩하여 위치된다.

도 57a 및 도 57b는 유사하게 도 56a 및 도 56b에 도시된 바와 동일한 방식으로 적층된 더 많은 개수의 셀(5500)들을 도시한다. 보이는 바와 같이, 셀(5500)들은 층(5702)으로 적층된다. 몇몇 실시예에서, 도 55의 셀(5500)들은 본 기술 분야의 당업자에게 공지된 바와 같이 상이한 방식으로 적층될 수 있음이 고려된다.

[0071] 도 58 내지 도 61은 본 발명의 다른 실시예에 따라 변형된 도데카헤드론 프레임(5800, 5900, 6000, 6100)을 도시한다. 종래의 노드(5802, 5902, 6002, 6102)를 제거하거나 감소시키기 위해 곡선 스트럿 또는 곡선 부분을 구비한 스트럿을 사용하는 대신에, 도 58 내지 도 61의 특정 실시예는 종래의 노드 중 적어도 하나가 적어도 도 11a 내지 도 11f에 의해 도시된 바와 같이 하나의 노드에서 교차하는 단지 2개의 노드를 갖도록 보장함으로써 종래의 노드를 조정한다. 도 58 내지 도 61에 도시된 바와 같이, 프레임(5800, 5900, 6000, 6100)은 적어도 하나의 변형된 노드(5804, 5904, 6004, 6104)를 갖는다.

[0072] 몇몇 실시예에서, 셀, 스트럿, 노드, 및/또는 접합부의 구성은 자연 골 조직을 더 밀접하게 모사하도록 다공성 구조물 전체에 걸쳐 무작위적으로 변할 수 있다. 특히, 도 25a 및 도 25b, 도 29a, 도 37a 및 도 37b, 도 38, 도 39a 내지 도 39c, 도 42, 도 51a 및 도 51b, 도 53a 내지 도 53d, 또는 도 55a 및 도 55b에 도시된 셀과 같은 본 발명에 따라 형성된 셀은 미국 특허 출원 제61/260,811호에 설명된 방법에 따라 적층 또는 반복될 수 있고, 이의 개시 내용은 본원에 전체적으로 참조로 통합되었다. 또한, 미국 특허 출원 제61/260,811호의 방법은 또한 단지 2개의 스트럿들이 하나의 노드에서 교차하도록 종래의 노드를 변형시키기 위해 채용될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 본 발명에 따라 형성된 다공성 구조물은 정형외과용 임플란트, 치과용 임플란트 또는 혈관 임플란트와 같은 의료용 임플란트에서 사용될 수 있다.

[0073] 다음의 문단에서 상세하게 설명되는 바와 같이, 본 발명은 또한 위에서 설명된 다공성 구조물을 제조하기 위한 방법을 제공한다. 바람직하게는, 본 발명의 개선된 다공성 구조물은 직접 금속 제조(DMF)와 같은 신속 제조 기술(RMT)을 포함한, 자유 형태 제조 방법을 사용함으로써 형성된다. 대체로, 자유 형태 제조 기술에서, 원하는 구조물이 컴퓨터 제어식 데이터베이스로부터 직접 형성될 수 있고, 이는 다양한 물품 및 구조물을 제조하기 위해 요구되는 시간 및 비용을 크게 감소시킨다. 전형적으로, RMT 또는 자유 형태 제조는 기계의 컴퓨터 부품의 데이터베이스 내에서 선택된 모델에 따라 한 번에 하나의 층으로 구조물을 형성하기 위해 분말을 용융 또는 소결시키기 위한 레이저 빔과 같은 에너지원을 갖는 컴퓨터 지원 기계 또는 장치를 채용한다.

[0074] 예를 들어, RMT는 그러한 부품을 제작하기 위해 공간 내의 규정된 지점으로 에너지 및/또는 재료를 순차적으로 전달함으로써 대성을 제조하기 위한 추가식 제조 기술이다. 특히, 대상은 한 번에 하나의 층으로 분배되는 레이저 융합 가능한 분말로부터 층상화 방식으로 제작될 수 있다. 분말은 대상의 단면에 대응하는 분말 층의 부분으로 래스터 스캔 방식으로 지향되는 레이저 에너지의 인가에 의해, 융합, 용융, 재용융 또는 소결된다. 하나의 특정 층 상에서 분말을 융합시킨 후에, 분말의 추가의 층이 분배되고, 공정은 대상이 완성될 때까지 반복된다.

[0075] 선택적 레이저 소결 기술의 상세한 설명은 미국 특허 제4,863,538호; 제5,017,753호; 제5,076,869호; 및 제4,944,817호에서 찾을 수 있고, 이들의 개시 내용은 본원에 전체적으로 참조로 통합되었다. 현재의 관례는 컴퓨터의 지원으로 생성된 수학적 모델을 사용하여 컴퓨터에 의해 제조 공정을 제어하는 것이다. 결과적으로, 선택적 레이저 재용융 및 소결 기술과 같은 RMT는 다양한 재료로부터 높은 해상도 및 치수 정확성의 고체 또는 3D 구조물의 직접 제조를 가능케 하였다.

[0076] 본 발명의 일 실시예에서, 다공성 구조물은 금속, 세라믹, 금속-세라믹(세르멧), 유리, 유리-세라믹, 중합체, 복합재 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 선택되는 분말로부터 형성된다. 다른 실시예에서, 금속 분말이 사용되고, 티타늄, 티타늄 합금, 지르코늄, 지르코늄 합금, 니오븀, 니오븀 합금, 탄탈, 탄탈 합금, 니켈-크롬(예컨대, 스테인리스강), 코발트-크롬 합금 및 이들의 조합으로 구성된 군으로부터 선택된다.

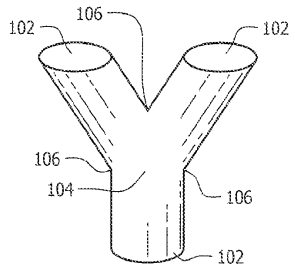
[0077] 본 기술 분야의 당업자에 의해 공지된 바와 같이, 본 발명의 내용에 따라 셀 또는 구조물의 모델을 생성하는 것은 컴퓨터 지원 설계(CAD) 소프트웨어 또는 다른 유사한 소프트웨어로 행해질 수 있다. 일 실시예에서, 모델은 종래 기술의 구성에서 시작하여, (1) 도 3 내지 도 8, 도 11a 내지 도 11f, 도 12a 내지 도 12d, 도 17 내지 도 20 또는 도 22 내지 도 23의 구성과 같이, 하나의 노드에서 교차하는 스트럿의 개수를 조정하거나, (2) 도 13a 내지 도 13m, 도 14, 도 15a 내지 도 15c, 도 16 또는 도 58 내지 도 61의 구성과 같이 스트럿에 곡선 부분을 도입함으로써, 종래 기술의 구성의 스트럿 및 노드를 변형시킴으로써 형성된다. 다른 실시예에서, 곡선 "링형" 스트럿이 도 25a 및 도 25b, 도 29a, 도 37a 및 도 37b, 도 38, 도 39a 내지 도 39c, 도 42, 도 51a 및 도 51b, 도 53a 내지 도 53d, 또는 도 55a 및 도 55b에 도시된 셀을 형성하도록 추가될 수 있다. 도 26을 참조하면, 일 실시예에서, 이러한 셀은 도데카헤드론과 같은 다면체에 기초한 프레임(2600)에서 시작함으로써

형성될 수 있다. 도 27을 참조하면, 다음 단계는 프레임(2600) 상에 중첩된 프레임(2800)인 프레임(2700)을 형성하도록 프레임(2600)의 각각의 면 내에 원을 내접시키는 것이다. 이후에, 프레임(2600)이 프레임(2700)으로부터 제거되어, 프레임(2800)만을 남길 수 있다. 프레임(2800)의 단면의 두께 및 형상은 도 29a의 셀(2900)과 같은, 완성된 셀을 형성하도록 선택될 수 있다. 위에서 설명된 바와 같이, 프레임(2600)의 면들 중 일부는 원으로 내접될 수 있고 그리고/또는 프레임(2600)의 일부가 제거될 수 있거나, 프레임(2600)이 전혀 제거되지 않는다. 그러한 조합에 의해 형성된 셀이 도 37a 및 도 37b, 도 38 및 도 39a 내지 도 39c에 도시되어 있다. 도 48 내지 도 53 및 도 55에 의해 도시된 바와 같이, 동일한 단계가 다면체에 기초한 임의의 유형의 프레임에 적용될 수 있다. 또한, 컴퓨터 소프트웨어의 지원으로, 적층, 접착, 또는 반복 알고리즘이 본 발명의 단위 셀 또는 스트럿 및 노드로부터 형성된 원하는 치수를 구비한 다공성 구조물의 모델을 생성하도록 적용될 수 있다. 하나의 그러한 적층 알고리즘은 도 43 내지 도 45에 의해 도시된 공간 충진 쪽매맞춤이다. 위에서 언급된 바와 같이, 본원에 전체적으로 참조로 통합된 미국 특허 출원 제61/260,811호에 개시된 방법은 본 발명의 셀을 적층시키기 위해 또는 제어된 무작위화에 의해 본 발명의 내용에 따라 스트럿을 형성하기 위해 적용될 수 있다.

[0078] 본 발명 및 그의 장점이 상세하게 설명되었지만, 다양한 변화, 대체 및 변경이 첨부된 청구범위에 의해 한정되는 본 발명의 사상 및 범주로부터 벗어남이 없이 본원에서 이루어질 수 있음을 이해하여야 한다. 또한, 본 출원의 범주는 명세서에서 설명된 공정, 기계, 제조, 물질의 조성, 수단, 방법 및 단계의 특정 실시예로 제한되도록 의도되지 않는다. 본 기술 분야의 당업자가 본 발명의 내용으로부터 쉽게 이해할 바와 같이, 본원에서 설명된 대응하는 실시예와 실질적으로 동일한 기능을 수행하고 실질적으로 동일한 결과를 달성하는 기존에 존재하거나 이후에 개발될 공정, 기계, 제조, 물질의 조성, 수단, 방법, 또는 단계가 본 발명에 따라 이용될 수 있다. 따라서, 첨부된 청구범위는 그러한 공정, 기계, 제조, 물질의 조성, 수단, 방법, 또는 단계를 그의 범주 내에 포함하도록 의도된다.

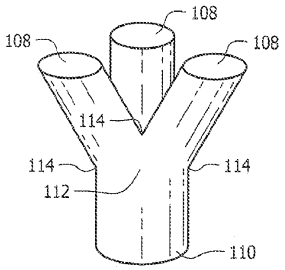
도면

도면1a



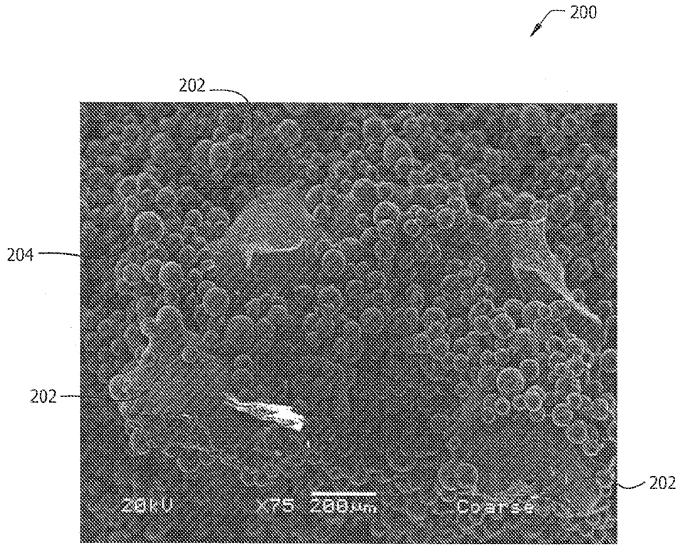
(종래 기술)

도면1b

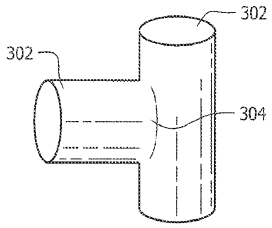


(종래 기술)

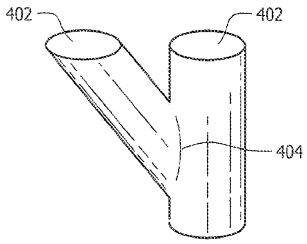
도면2


200
202
204
202
202
20kV
X75
200μm
Coarse

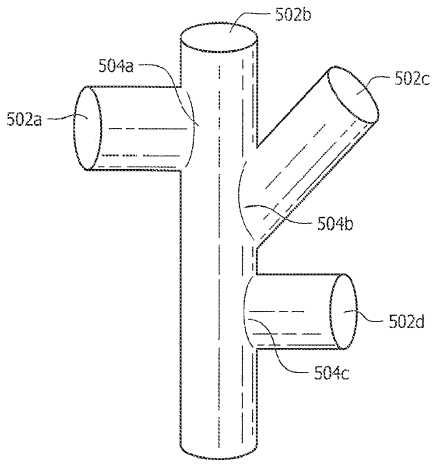
도면3


302
302
304

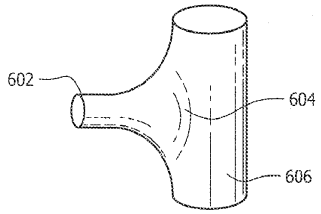
도면4


402
402
404

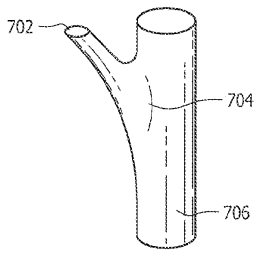
도면5



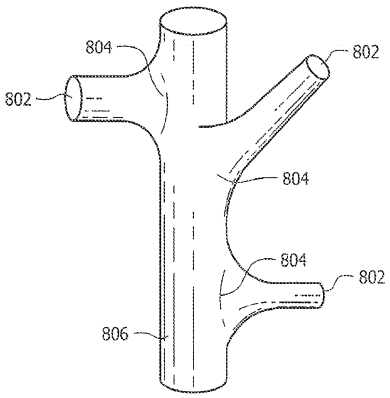
도면6



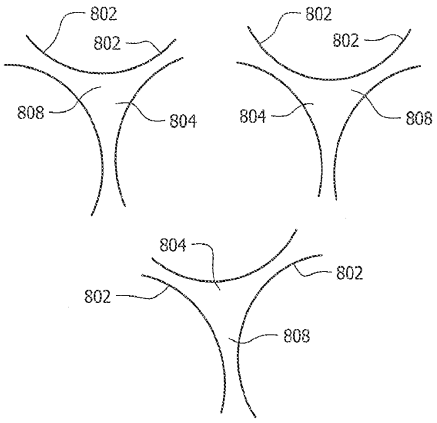
도면7



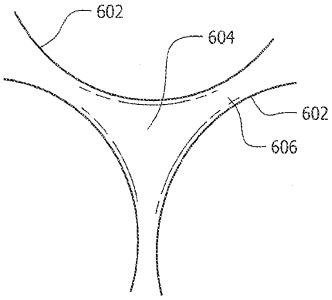
도면8



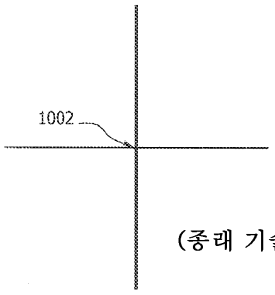
도면9a



도면9b

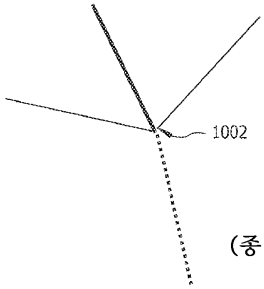


도면10a



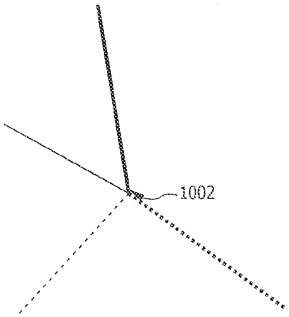
(종래 기술)

도면10b



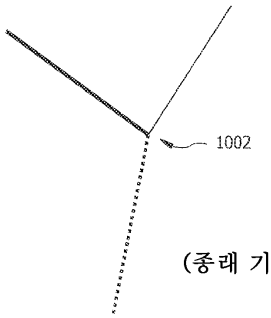
(종래 기술)

도면10c



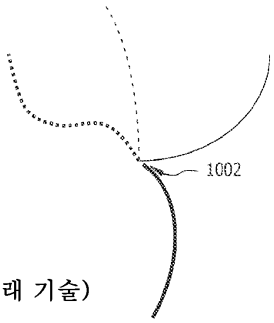
(종래 기술)

도면10d



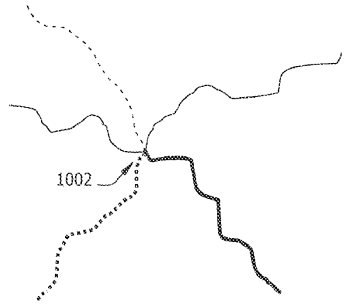
(종래 기술)

도면10e



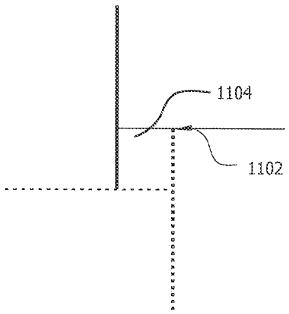
(종래 기술)

도면10f

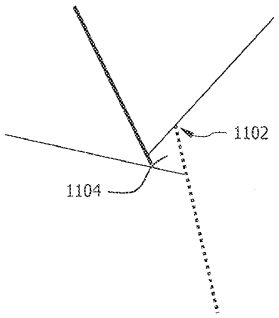


(종래 기술)

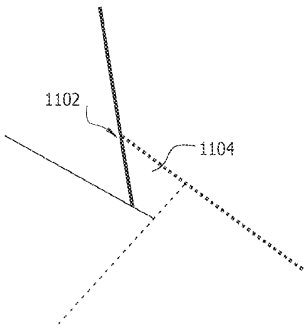
도면11a



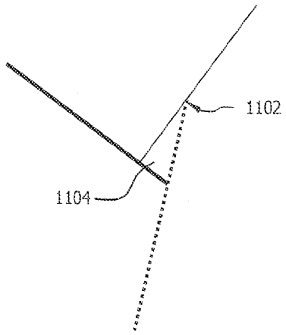
도면11b



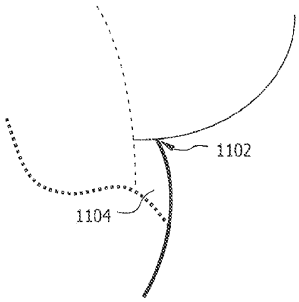
도면11c



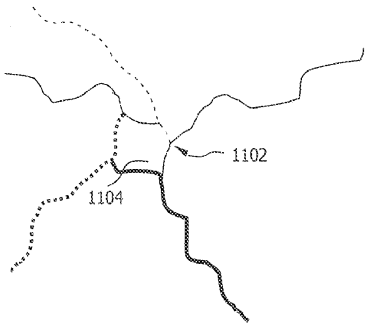
도면11d



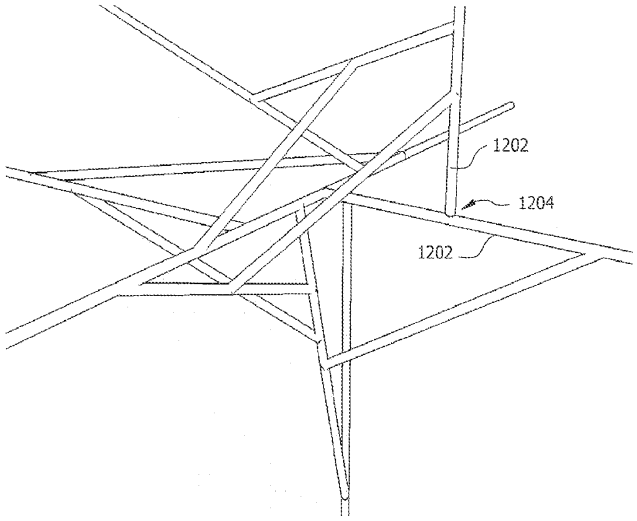
도면11e



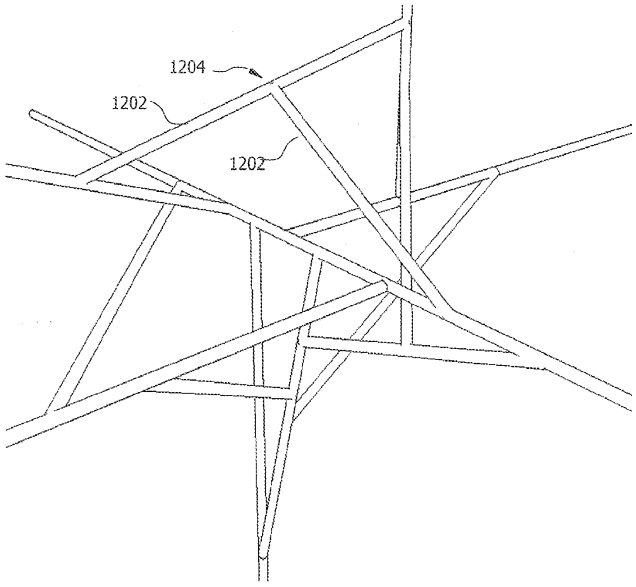
도면11f



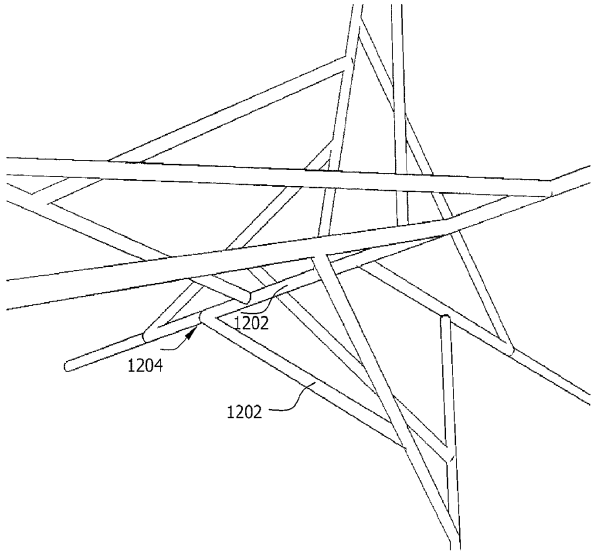
도면12a



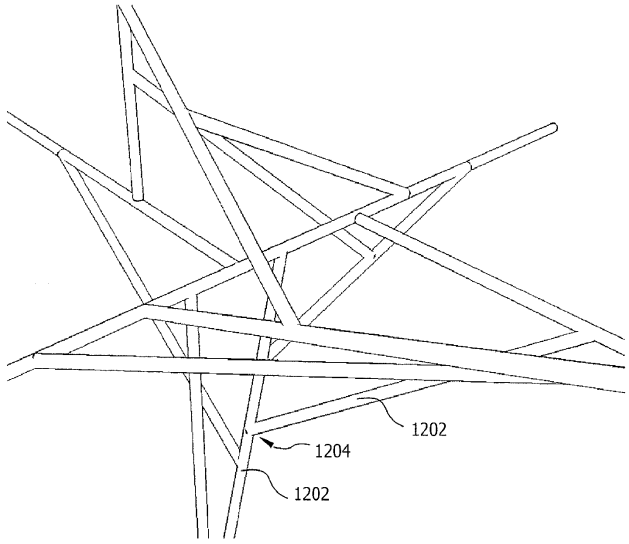
도면12b



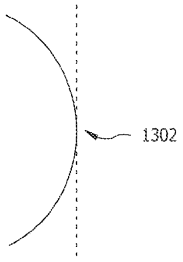
도면12c



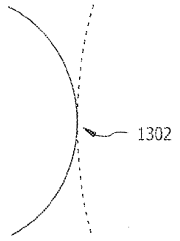
도면12d



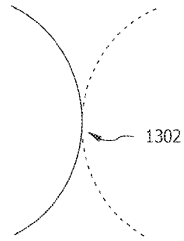
도면13a



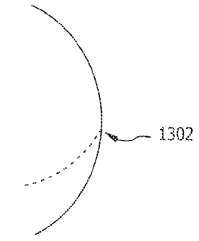
도면13b



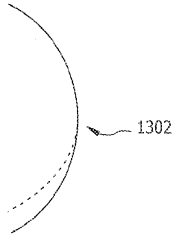
도면13c



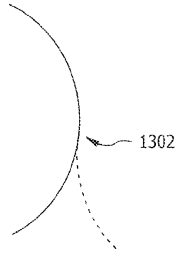
도면13d



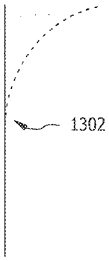
도면13e



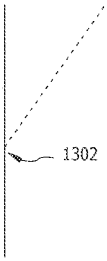
도면13f



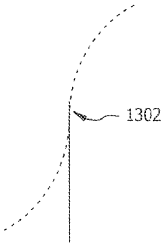
도면13g



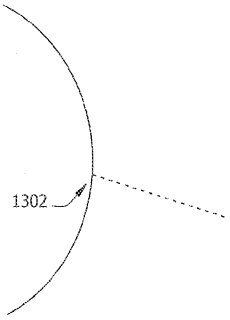
도면13h



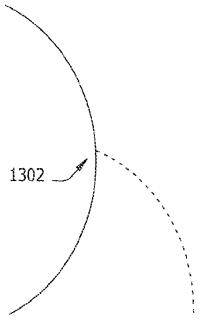
도면13i



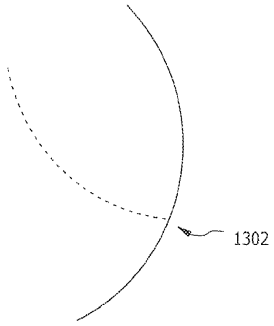
도면13j



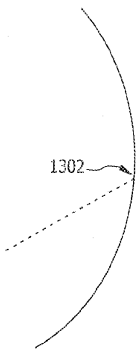
도면13k



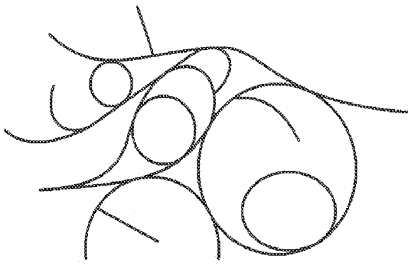
도면13l



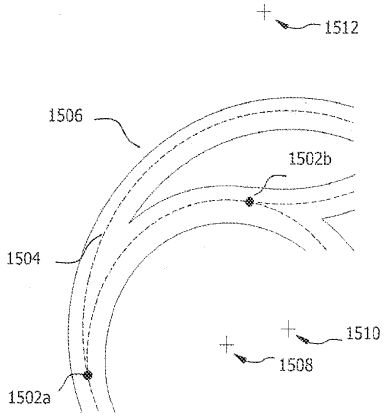
도면13m



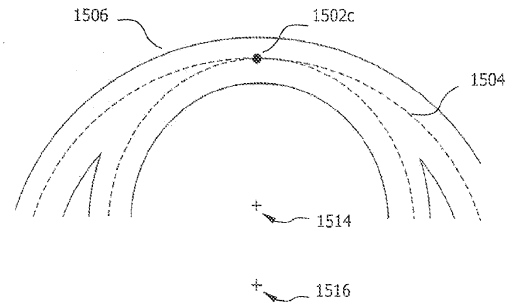
도면14



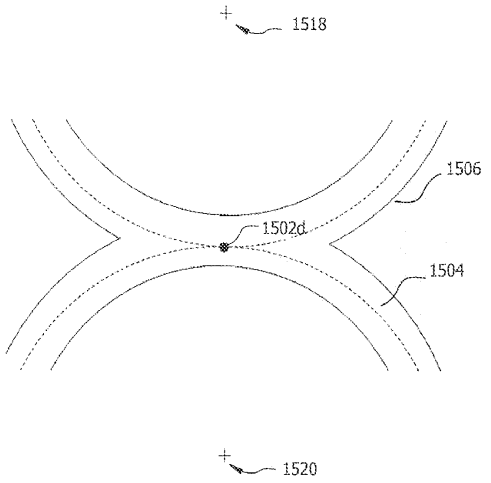
도면15a



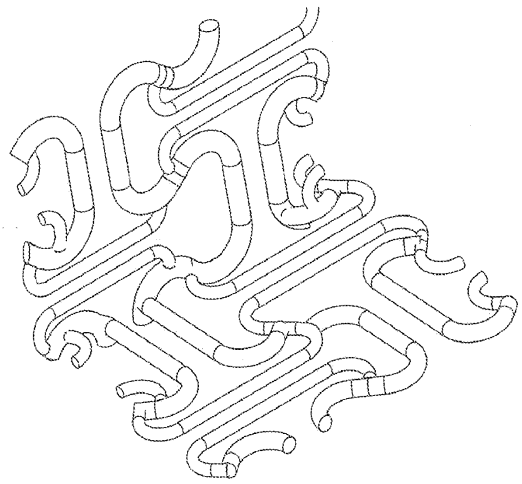
도면15b



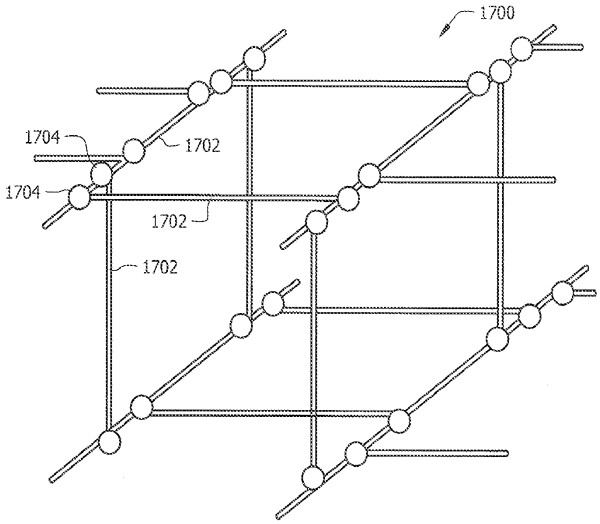
도면15c



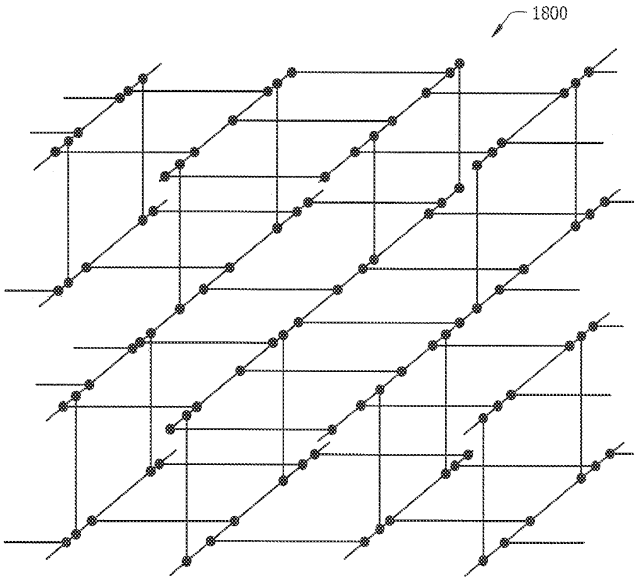
도면16



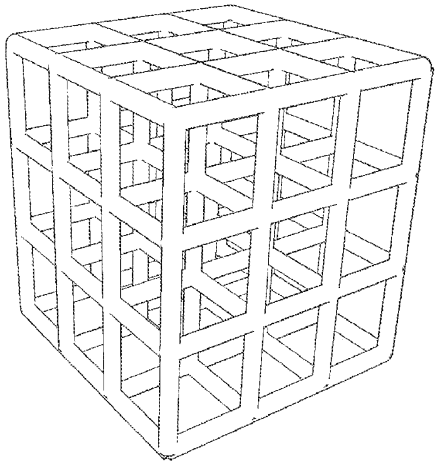
도면17



도면18

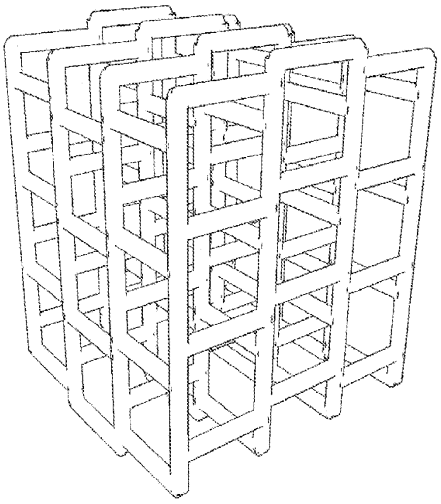


도면19

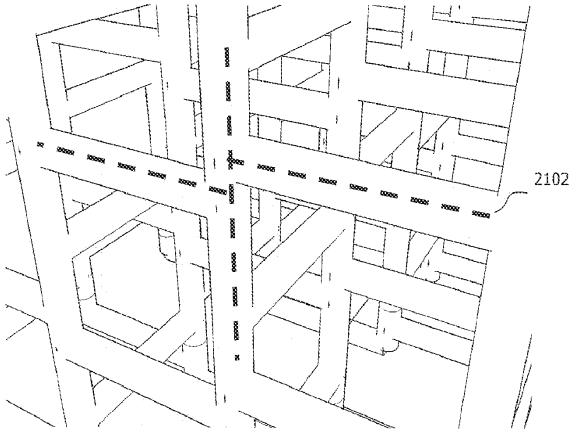


(종래 기술)

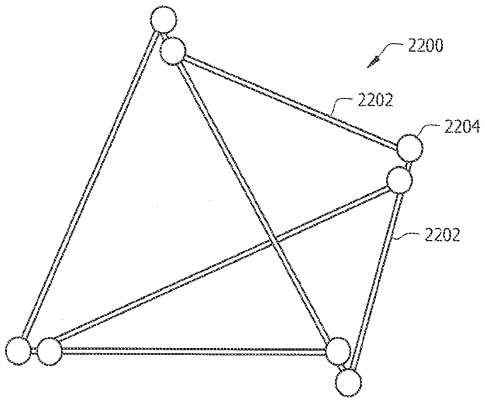
도면20



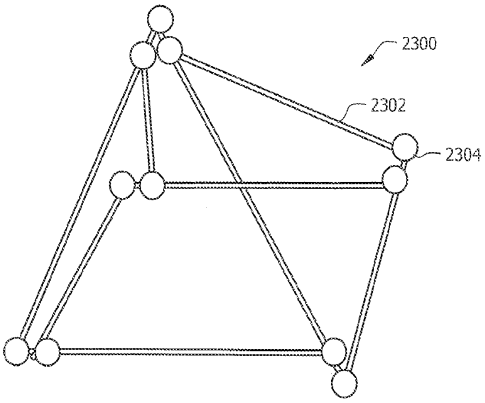
도면21



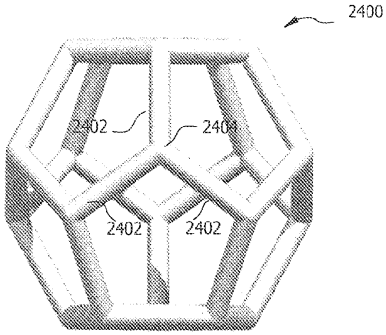
도면22



도면23

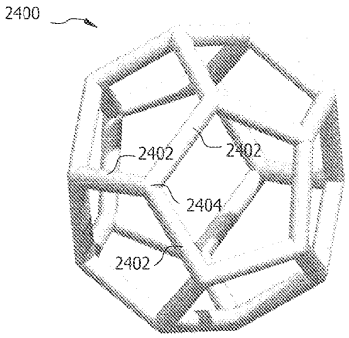


도면24a



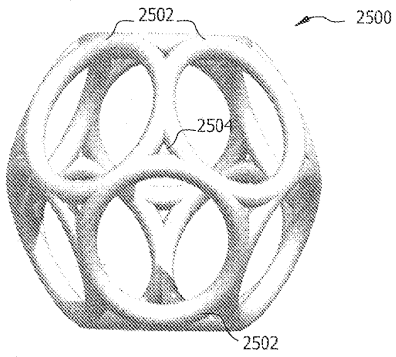
(종래 기술)

도면24b

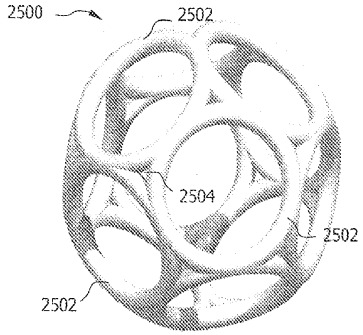


(종래 기술)

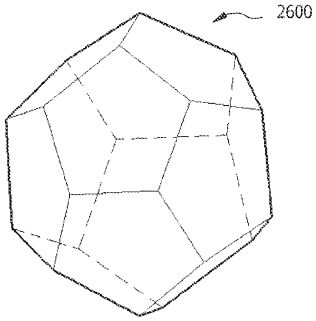
도면25a



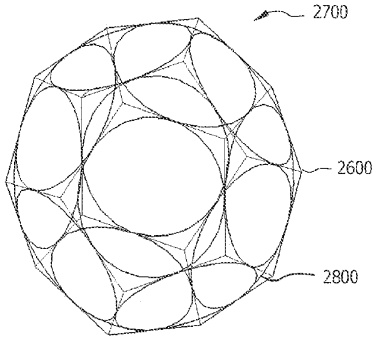
도면25b



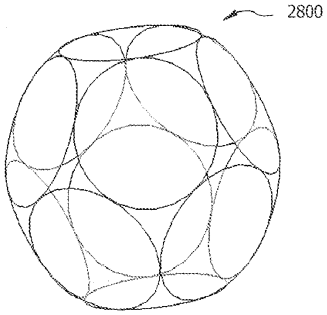
도면26



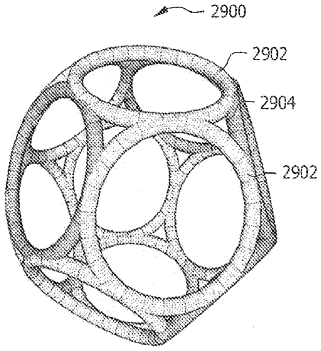
도면27



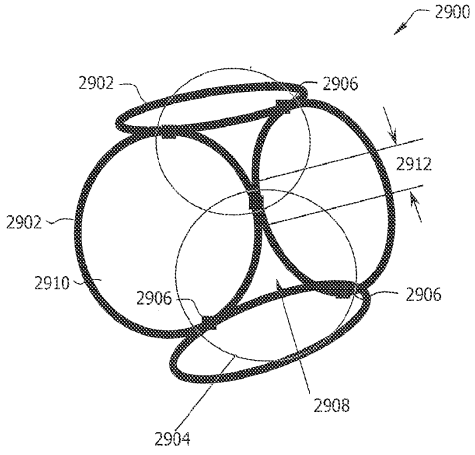
도면28



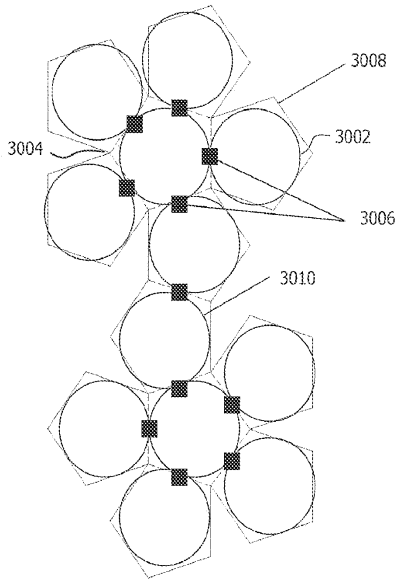
도면29a



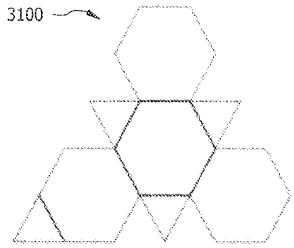
도면29b



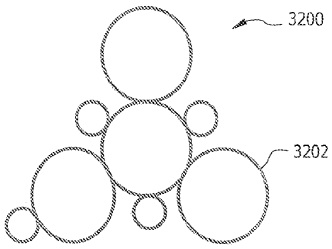
도면30



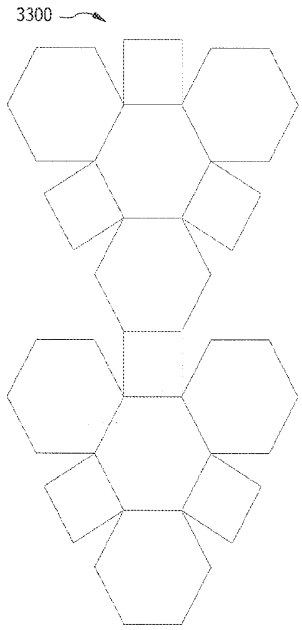
도면31



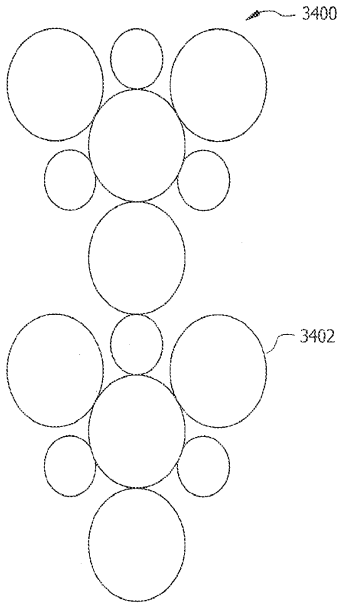
도면32



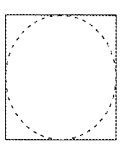
도면33



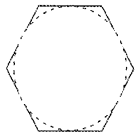
도면34



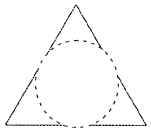
도면35a



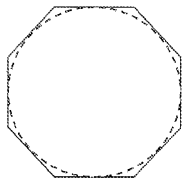
도면35b



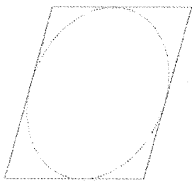
도면35c



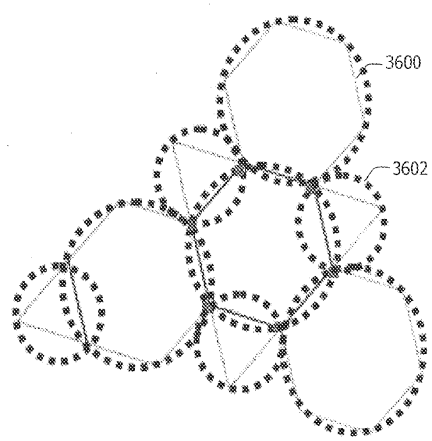
도면35d



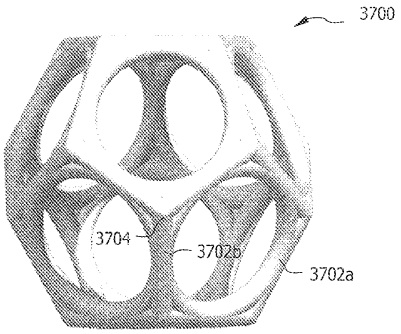
도면35e



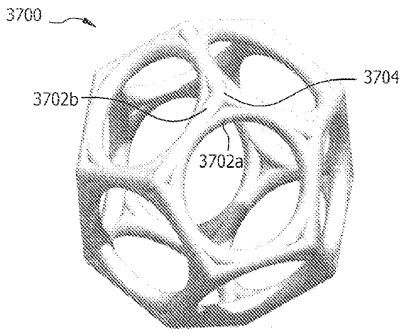
도면36



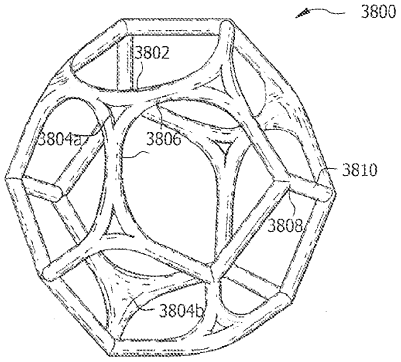
도면37a



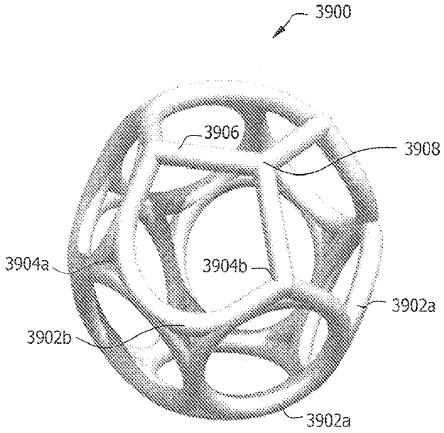
도면37b



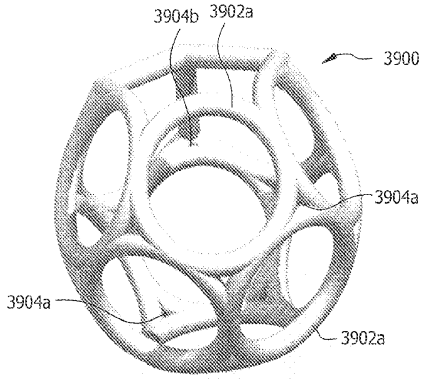
도면38



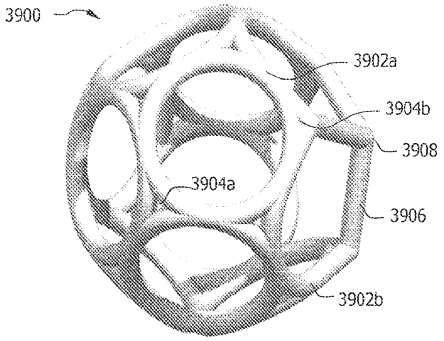
도면39a



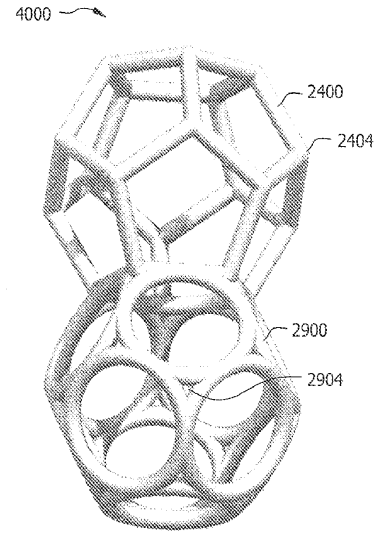
도면39b



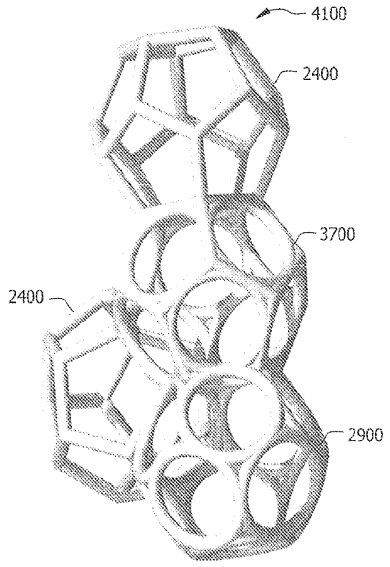
도면39c



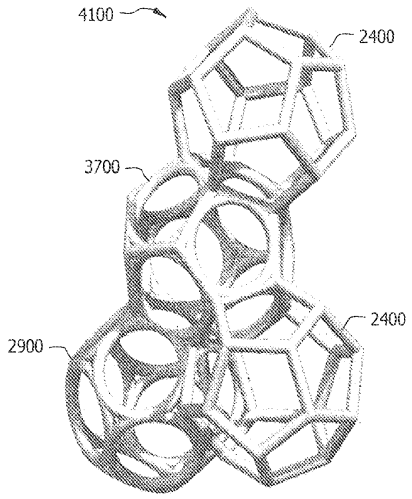
도면40



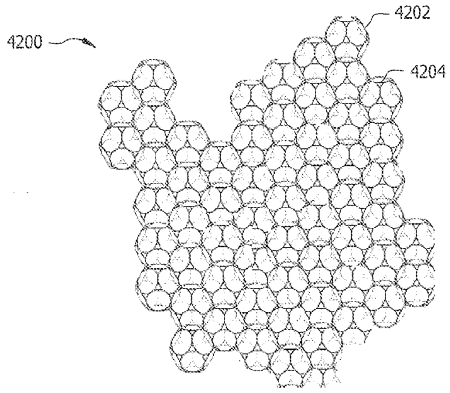
도면41a



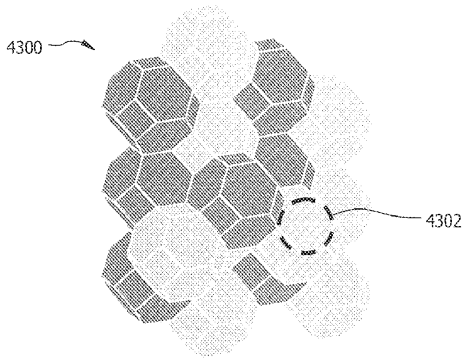
도면41b



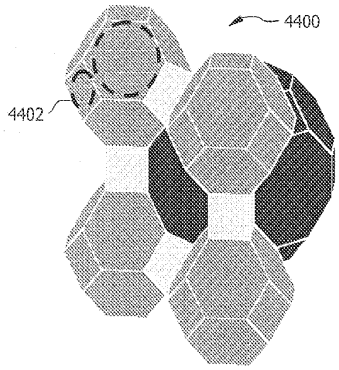
도면42



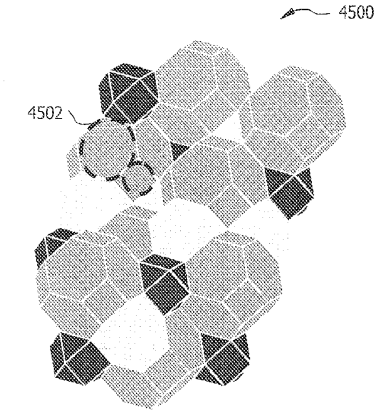
도면43



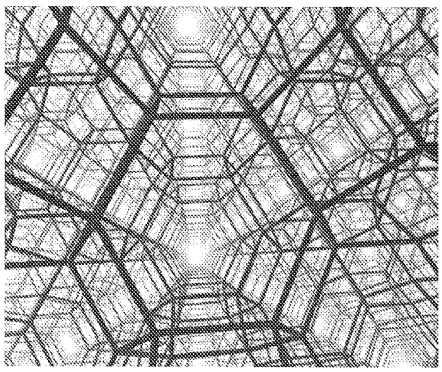
도면44



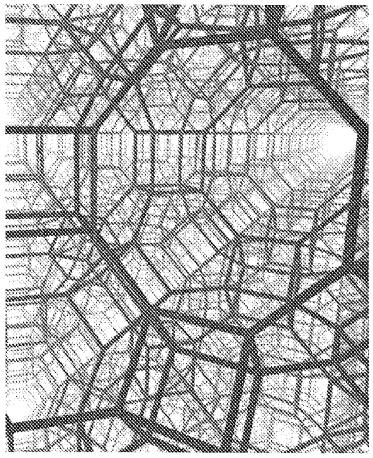
도면45



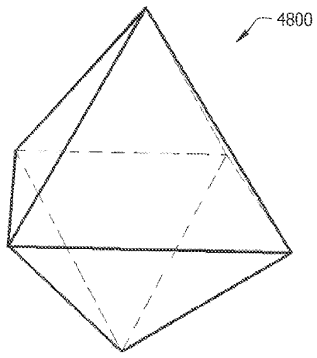
도면46



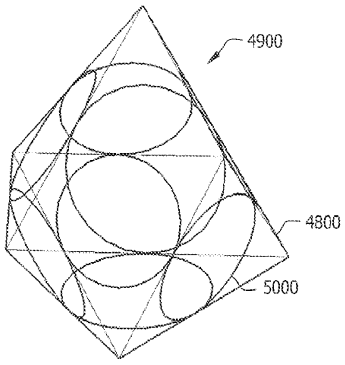
도면47



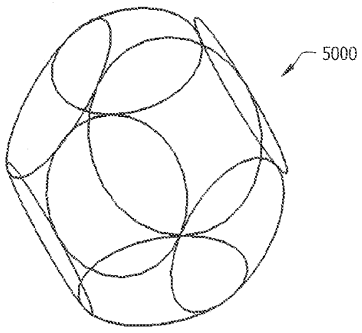
도면48



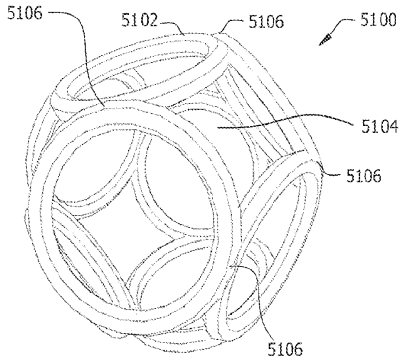
도면49



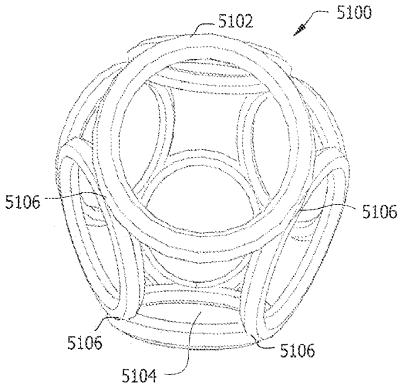
도면50



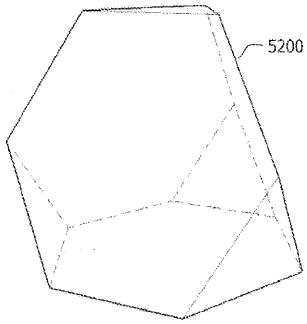
도면51a



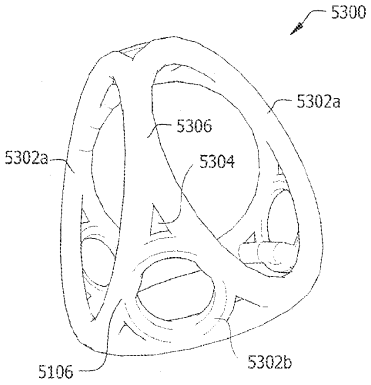
도면51b



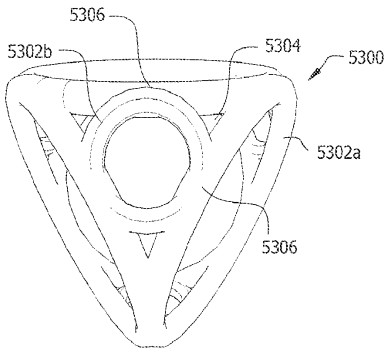
도면52



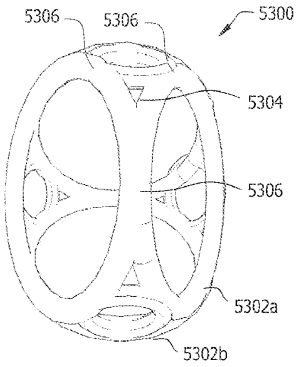
도면53a



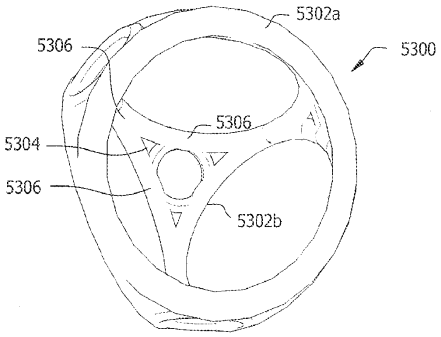
도면53b



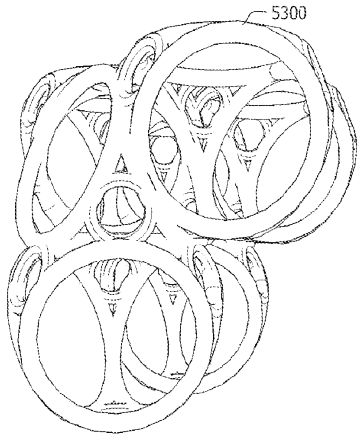
도면53c



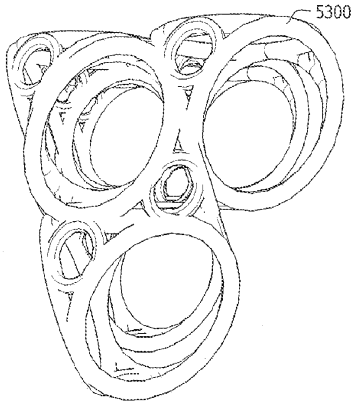
도면53d



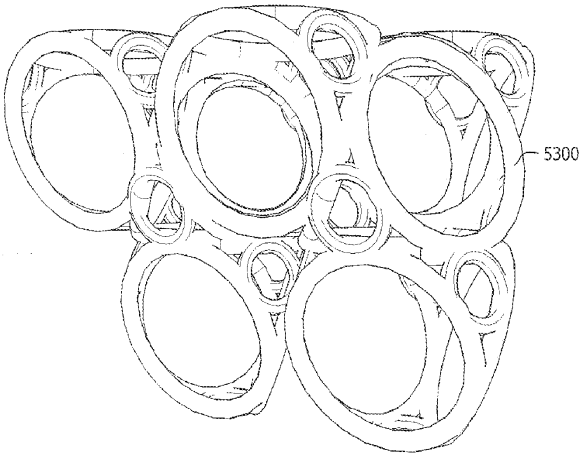
도면54a



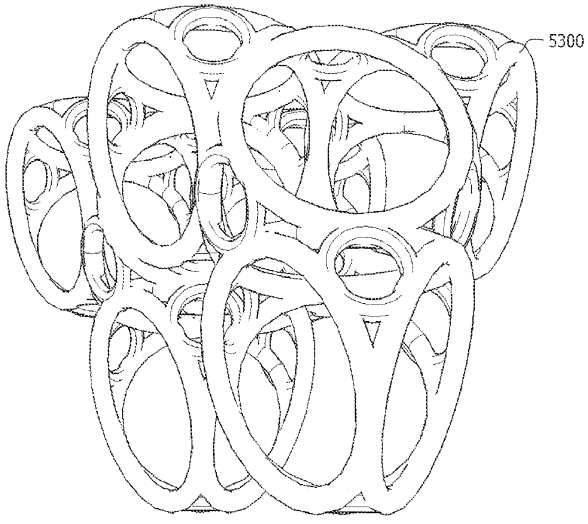
도면54b



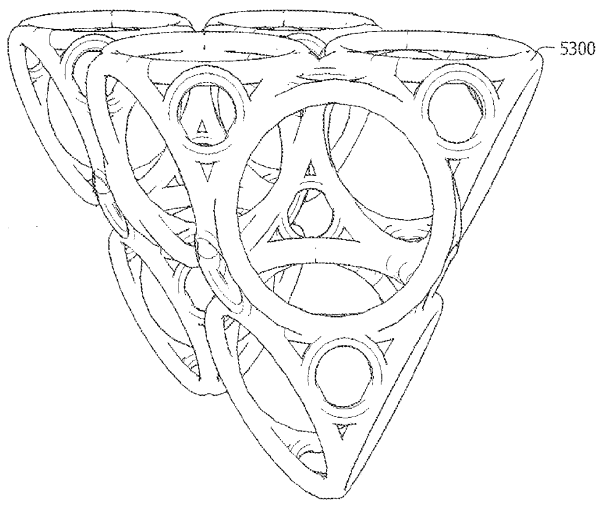
도면54c



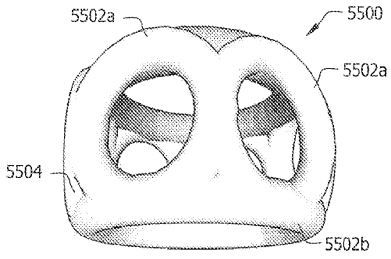
도면54d



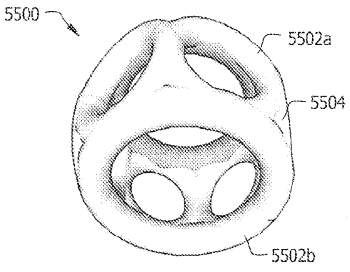
도면54e



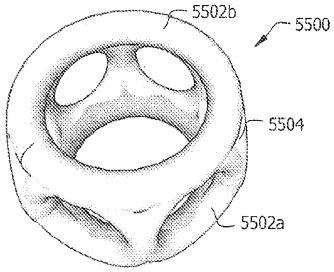
도면55a



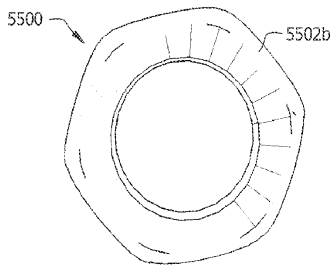
도면55b



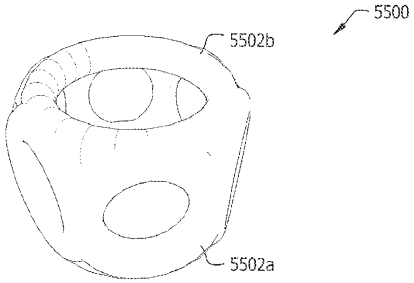
도면55c



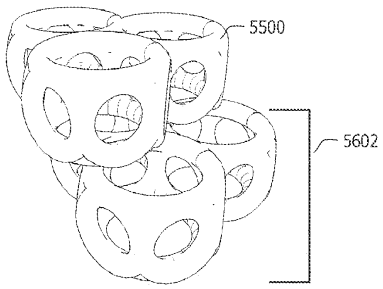
도면55d



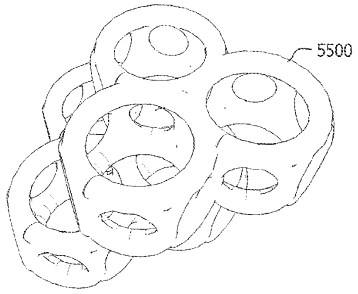
도면55e



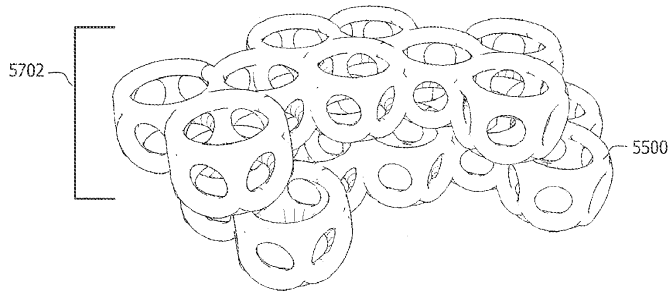
도면56a



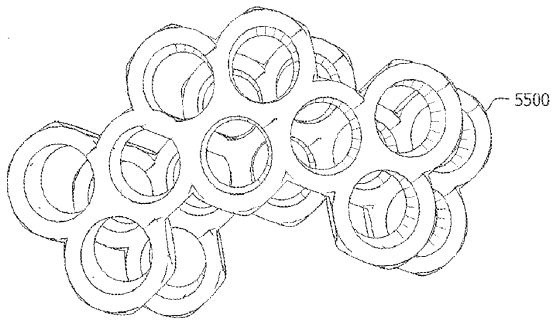
도면56b



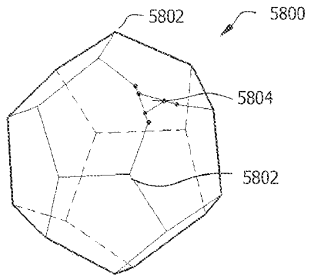
도면57a



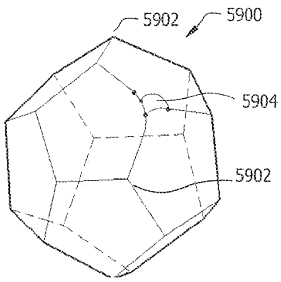
도면57b



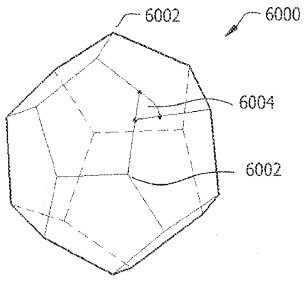
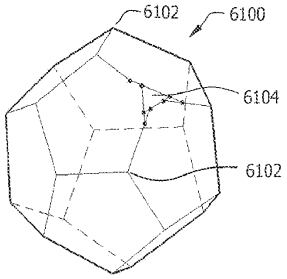
도면58



도면59



도면60



도면61