

2022년 12월 29일 (29.12.2022) WIPO | PCT



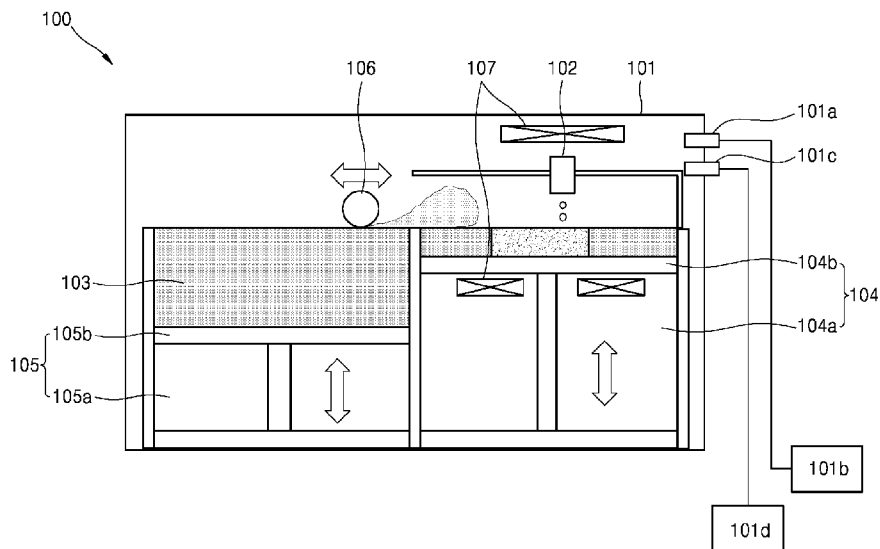
(10) 국제공개번호

WO 2022/270844 A1

- | | | |
|--------------|---|---|
| (51) 국제특허분류: | <i>H01F 41/02</i> (2006.01)
<i>H01F 1/057</i> (2006.01)
<i>C22C 28/00</i> (2006.01) | <i>B22F 10/32</i> (2021.01)
<i>B22F 10/64</i> (2021.01)
<i>B33Y 10/00</i> (2015.01) |
| (21) 국제출원번호: | PCT/KR2022/008705 | (74) 대리인: 이인행 등 (LEE, In Haeng et al.); 06739 서울특별시 서초구 남부순환로364길 8-9 가람빌딩 2층 올민국 제특허법률사무소, Seoul (KR). |
| (22) 국제출원일: | 2022 년 6 월 20 일 (20.06.2022) | (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW. |
| (25) 출원언어: | 한국어 | (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, |
| (26) 공개언어: | 한국어 | |
| (30) 우선권정보: | 10-2021-0080578 2021 년 6 월 22 일 (22.06.2021) KR
10-2022-0073658 2022 년 6 월 16 일 (16.06.2022) KR | |
| (71) 출원인: | 한국생산기술연구원 (KOREA INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY) [KR/KR]; 31056 충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89, Chungcheongnam-do (KR). | |
| (72) 발명자: | 정효연 (JUNG, Hyo Yun); 44735 울산광역시 남구 범영로 29, 107동 803호, Ulsan (KR). 손용 (SON, | |

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING RE-FE-B-BASED MAGNET USING 3D PRINTING

(54) 발명의 명칭: 3차원 프린팅을 이용한 RE-FE-B계 자석의 제조방법



(57) Abstract: According to one embodiment of the present invention, a method for manufacturing an Re-Fe-B-based magnet using 3D printing comprises: a powder layer forming step of supplying spherical Re-Fe-B-based magnetic powders to a work table so as to form a magnetic powder layer having a predetermined thickness, wherein Re is a rare earth element including any one of neodymium (Nd), cerium (Ce), lanthanum (La), dysprosium (Dy), and terbium (Tb) or a combination of rare earth elements; a powder bonding step of spraying a liquid binder to the magnetic powder layer so as to bond the magnetic powders in the magnetic powder layer to each other, thereby forming a powder bonding layer; and a magnetic field application step of applying a magnetic field to the powder bonding layer, wherein a bulk magnetic body is formed by repeating the powder layer forming step, the powder bonding step, and the magnetic field application step at least once as one cycle, and the powder layer forming step, the powder bonding step, and the magnetic field application step are performed in a vacuum atmosphere or an inert atmosphere.

[다음 쪽 계속]

WO 2022/270844 A1



ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(57) 요약서: 본 발명의 일 실시예에 의하면, 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B 계 자석의 제조방법은, 구형의 Re-Fe-B 계(Re는 네오디뮴(Nd), 세륨(Ce), 란타넘(La), 디스프로슘(Dy), 테르븀(Tb) 중 어느 하나를 포함하는 희토류 원소 또는 희토류 원소의 조합) 자성 분말을 작업 테이블로 공급하여 소정의 두께를 가지는 자성 분말층을 형성하는 분말층 형성단계; 자성 분말층으로 액상 결합제를 분사하여 자성 분말층 내의 자성 분말을 서로 결합시켜 분말 결합층을 형성하는 분말 결합 단계; 및 상기 분말 결합층으로 자기장을 인가하는 자기장 인가 단계;를 포함하며, 분말층 형성 단계, 분말 결합 단계 및 자기장 인가 단계를 일 주기로 하여 1회 이상 반복하여 벌크 자성체를 형성하되, 분말층 형성 단계, 분말 결합 단계 및 자기장 인가 단계는 진공 분위기 혹은 불활성 분위기에서 수행된다.

명세서

발명의 명칭: 3차원 프린팅을 이용한 RE-FE-B계 자석의 제조방법 기술분야

- [1] 본 발명은 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 관한 것으로서, 더 상세하게는 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 최근 글로벌 환경 규제 및 사용자 편의 기능 강화로 자동차 전장화가 가속화되면서 전동 모터에 대한 산업적 수요가 증가되고 있다. 전동 모터에는 모터의 성능을 결정하는 핵심소재로서 영구자석이 필수적이다. 모터 코킹토크 감소를 위한 다양한 형상의 자석에 대한 수요도 증가하고 있다. 하지만, 미중 무역전쟁 속에서 희토류 공급이 감소하게 되어 자석의 원가가 상대적으로 높아지고 있다.
- [3] 이에 따라, 고가의 중희토류 원소의 저감을 통한 저가격화 및 자석 형상의 자유도를 만족하면서 다양한 자석의 물성을 확보할 수 있는 차량 모터용 영구자석의 개발이 필요한 실정이다.
- [4] 희토류를 포함하는 영구자석으로서 널리 사용되는 Nd-Fe-B 본드 자석은 Nd-Fe-B 분말을 결합제와 혼합한 후 압축 성형을 이용하여 제조한다. 이 경우, 비자성 물질인 결합제의 함량이 30% 이상으로 높고, 비정형 형상을 가지는 분말의 불완전 충전으로 인해 내부에 공극이 많아 자분 충전율이 낮다. 자분 충전율이 낮을 경우에는 자성 열화에 치명적인 내산화 및 내식성이 나빠지는 문제점이 있다.
- [5] 레이저 펄팅(Laser melting)을 기반으로 하는 3D 프린팅으로 Nd-Fe-B 자석을 제조하는 경우, 펄팅 후 응고 과정 중에 목적하는 Nd-Fe-B상이 형성되지 않는 문제가 있었다. 또한 대기 중에 3D 프린팅이 수행될 경우, Nd 원소의 높은 산화력으로 Nd가 산화되는 문제가 발생하게 된다. 더욱이 3D 프린팅을 수행하는 단계에서 미세한 크기의 분말이 단층으로 적층됨에 따라 표면적의 증가로 인해 Nd 분말의 표면산화가 더 심각해질 수 있으며 더 나아가 연소문제까지도 발생할 수 있다. 이에 결합제의 양을 최소화하면서 Nd 원소의 산화문제를 해결할 수 있는 새로운 3D 프린팅 방법의 개발이 필요하다.
- [6] <선행기술문헌>
- [7] 중국 공개특허공보 CN105312580호
- [8] 중국 공개특허공보 CN104441667호
- [9] 중국 공개특허공보 CN106571219호

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [10] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한

것으로서, 결합제의 양을 최소화하면서 산화력이 큰 원소, 예를 들어 Nd와 같은 원소의 산화문제를 해결할 수 있는 새로운 3D 프린팅 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제 해결 수단

- [11] 본 발명의 일 관점에 의하면, 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법이 제공된다.
- [12] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법은, 구형의 Re-Fe-B계(Re는 네오디뮴(Nd), 세륨(Ce), 란타넘(La), 디스프로슘(Dy), 테르븀(Tb) 중 어느 하나를 포함하는 희토류 원소 또는 희토류 원소의 조합) 자성 분말을 작업 테이블로 공급하여 소정의 두께를 가지는 자성 분말층을 형성하는 분말층 형성단계; 자성 분말층으로 액상 결합제를 분사하여 자성 분말층 내의 자성 분말을 서로 결합시켜 분말 결합층을 형성하는 분말 결합 단계; 및 상기 분말 결합층으로 자기장을 인가하는 자기장 인가 단계;를 포함하며, 분말층 형성 단계, 분말 결합 단계 및 자기장 인가 단계를 일 주기로 하여 1회 이상 반복하여 벌크 자성체를 형성하되, 분말층 형성 단계, 분말 결합 단계 및 자기장 인가 단계는 진공 분위기 혹은 불활성 분위기에서 수행된다.
- [13] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법은, 벌크 자성체를 형성하는 단계 이후에 제 1 열처리를 통해 벌크 자성체 내 결합제를 적어도 일부 제거하여 벌크 자성체 내에 개기공(open pore)을 형성하는 단계; 벌크 자성체 표면에 입계확산 물질을 도포하는 단계; 및 입계확산 열처리를 통해 입계확산 물질을 개기공(open pore)을 통해 벌크 자성체 내부의 결정립계로 확산시키는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [14] 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 있어서, 구형의 Re-Fe-B계(Re는 네오디뮴(Nd), 세륨(Ce), 란타넘(La), 디스프로슘(Dy), 테르븀(Tb) 중 어느 하나를 포함하는 희토류 원소 또는 희토류 원소의 조합) 자성 분말의 평균 입도는 5 내지 100 μ m 범위를 가질 수 있다.
- [15] 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 있어서, 자기장의 인가는 분말 결합층 내의 자성 분말들이 액상 결합제의 경화에 의해 고착화되기 전에 수행될 수 있다.
- [16] 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 있어서, 자기장의 인가 시 자기장에 의해 분말 결합층 내 자성 분말들이 자기장의 방향에 대응하여 회전하여 정렬되는 단계가 수행될 수 있다.
- [17] 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 있어서, 액상 결합제의 분사량은 5 내지 200 μ l 범위를 가질 수 있다.
- [18] 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 있어서, 자성 분말층은 서로 평균 입도가 상이한 자성 분말이 혼합될 수 있다.

- [19] 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 있어서, 자성 분말층은 패킹 밀도가 4.6g/cm^3 를 초과할 수 있다.
- [20] 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 있어서, 자성 분말층은 평균 입도(D)가 $38\mu\text{m}$ 미만인 분말이 0 내지 33.3 중량%, 평균 입도(D)가 $38\mu\text{m}$ 이상 $53\mu\text{m}$ 미만인 분말이 33.3 내지 88.3 중량%, 잔부는 평균 입도(D)가 $53\mu\text{m}$ 이상 $100\mu\text{m}$ 미만인 분말일 수 있다.
- [21] 상기 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법에 있어서, 제 1 열처리는 100°C 내지 500°C 범위를 가질 수 있다.
- [22] 본 발명의 다른 관점에 의하면, 진공 분위기 혹은 불활성 분위기에서 3D 프린팅이 가능한 결합제 분사형 3D 프린팅 장치가 제공된다.
- [23] 액상 결합제를 자성 분말층으로 분사하는 결합제 분사 헤드; 구동장치에 의해 승하강이 가능한 작업 테이블을 포함하며 내부에 자성 분말이 수용되고 결합제 분사 헤드에서 분사되는 액상 결합제에 의해 자성 분말이 결합된 분말 결합층이 형성되는 프린팅부; 분말 결합층으로 자기장을 인가하며 진공 챔버 내부에 수용되는 자기장 인가부; 및 결합제 분사 헤드, 프린팅부, 자기장 인가부를 수용하고 내부를 진공 분위기 혹은 불활성 분위기로 유지할 수 있는 밀폐된 진공 챔버;를 포함한다.
- [24] 상기 결합제 분사형 3D 프린팅 장치에 있어서, 상기 프린팅부는, 분말이 수용되고 상방이 개방된 박스 형상의 조형 챔버와, 조형 챔버 내부에 승하강 가능하게 구비되어 액상 결합제에 의해 상면의 복수의 분말결합층이 순차적으로 적층되어 자성체 조형물이 조형되는 제 1 작업 테이블을 포함하는 조형 모듈; 조형 모듈로 공급될 분말이 수용되고 상방이 개방된 박스 형성의 소재 공급 챔버와, 소재 공급 챔버 내부에 승하강 가능하게 구비되어 조형 모듈로 공급될 양 만큼 분말을 소재 공급 챔버 상단으로 돌출되게 밀어올리는 제 2 작업 테이블; 및 제 2 작업 테이블 상의 자성 분말을 조형 모듈 방향으로 밀어서 제 1 작업 테이블 상에 자성 분말을 소정 두께로 도포하는 도포 모듈;을 포함한다.

발명의 효과

- [25] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제조비용이 적게 들고, 형상의 자유도, 강성, 와전류 특성 및 열저감성이 우수한 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법을 제시할 수 있다. 구체적으로 구형의 Re-Fe-B계 자성 분말을 원료로 사용하여 자성 분말의 높은 충진율을 확보하는 효과가 있고, 산화성이 높은 자성 분말을 진공 분위기 혹은 불활성 분위기의 챔버에서 균질한 분말층으로 형성한 후 결합제를 선택적으로 분사하여 성형함으로써 형상자유도를 확보할 수 있다. 또한 자기장 인가 장치를 통해 분말결합층 내 구형의 자성 분말을 자유 회전시켜 자장 정렬시킬 수 있다. 또한 3D 프린팅된 벌크 자성체의 열처리를 통해 형성된 개기공을 입계확산 통로로

활용하여 입계확산 후 자석 성능 확보하여 새로운 자석 제조 공정으로 활용이 가능하다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

- [26] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3D 프린팅 장치의 구조를 개략적으로 도해하는 도면이다.
- [27] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법을 공정순서에 따라 도시한 도면이다.
- [28] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석을 제조하는 방법을 단계별로 제시한 공정 흐름도이다.
- [29] 도 4는 가스분무법에 의해 제조된 평균 입도에 따른 Nd-Fe-B 분말의 형상을 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다.
- [30] 도 5는 자성 분말층으로 분사된 결합체의 거동을 나타내는 도면이다.
- [31] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 Nd-Fe-B 벌크 자성체의 외관을 관찰한 결과이다.
- [32] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 Nd-Fe-B 벌크 자성체의 X-선 회절 분석 결과이다.
- [33] 도 8은 Nd-Fe-B 자성 분말의 평균 입도(D)에 따른 패킹 밀도를 계산한 그래프이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [34] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.
- [35] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려 이들 실시예들은 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 또한, 도면에서 각 층의 두께나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장된 것이다.
- [36] 이하, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 이상적인 실시예들을 개략적으로 도시하는 도면들을 참조하여 설명한다. 도면들에 있어서, 예를 들면, 제조 기술 및/또는 공차(tolerance)에 따라, 도시된 형상의 변형들이 예상될 수 있다. 따라서, 본 발명 사상의 실시예는 본 명세서에 도시된 영역의 특정 형상에 제한된 것으로 해석되어서는 아니 되며, 예를 들면 제조상 초래되는 형상의 변화를 포함하여야 한다.
- [37] 종래에는 고성능 Nd-Fe-B 본드자석을 개발하기 위해서, Nd-Fe-B 리본 파쇄분말의 자성 복합체를 압축성형하여 제조하였다. 이 경우, 결합체의 함량이 높고, 비정형의 입자가 불완전하게 충전되어 내부에 공극이 많아 자분 충전율이

- 나뻗었다. 그렇기 때문에 자성 열화에 치명적일 수밖에 없었다.
- [38] 이를 해결하기 위해서, 본 발명에서는 구형의 자성 분말을 활용하여 결합제 분사방식의 제조방법을 통해 70% 이상의 고충진 밀도를 확보하고, 내산화, 내식성을 개선하고, 형상의 자유도를 증가시켜 자석의 성능을 향상시키고자 하였다.
- [39] 결합제 분사 방식의 3D 프린팅 공정은 잉크젯 프린팅 기술에 기반한 조형기술로서, 3D 프린팅 장치를 활용하여 저비용으로 높은 생산성을 올릴 수 있으며, 분말 충진율, 자석의 성능, 강성, 형상의 자유도를 모두 향상시킬 수 있다. 이에 대해 하기 도면들을 참조하여 상세하게 설명하고자 한다.
- [40] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3D 프린팅 장치의 구조를 개략적으로 도해하는 도면이다.
- [41] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 3D 프린팅 장치(100)는 진공 챔버(101), 결합제 분사 헤드(102), 프린팅부(104,105,106) 및 자기장 인가부(107)를 포함한다.
- [42] 프린팅부는 구동장치(미도시)에 의해 승하강이 가능한 작업 테이블을 포함하는 프레임 구조체로서, 조형 모듈(104), 소재 공급 모듈(105) 및 도포 모듈(106)을 포함할 수 있다.
- [43] 프린팅부는 내부에 자성 분말(103)이 수용되고, 상기 결합제 분사 헤드(102)에서 분사되는 액상 결합제에 의해 자성 분말을 결합시키는 결합제 분사(Binder-Jet) 방식으로 자성 분말(103)을 특정 형상의 자성체로 조형할 수 있다.
- [44] 조형 모듈(104)은 결합제 분사 헤드(102)에서 분사되는 액상 결합제에 의해 내부에서 자성체가 조형될 수 있다. 조형 모듈(104)은 자성 분말(103)이 수용되고 자성체 조형물이 조형되는 내부 공간으로서 상방이 개방된 박스 형상의 조형 챔버(104a)와, 조형 챔버(104a) 내부에 승하강 가능하게 구비되어 액상 결합제에 의해 상면에 복수의 분말결합층이 순차적으로 적층되어 자성체 조형물이 조형되는 제 1 작업 테이블(104b)을 포함한다.
- [45] 소재 공급 모듈(105)은 조형 모듈(104)과 나란하게 일렬로 설치되어, 조형 모듈(104)로 공급될 자성 분말(103)을 수용하는 기능을 수행한다. 구체적으로 소재 공급 모듈(105)은 자성 분말(103)을 수용하는 내부 공간이 형성되며 상방이 개방된 박스 형상의 소재 공급 챔버(105a)와, 소재 공급 챔버(105a) 내부에 승하강 가능하게 구비되어 조형 모듈(104)로 공급될 양 만큼 자성 분말(103)을 소재 공급 챔버(105a) 상단으로 돌출되게 밀어올리는 제 2 작업 테이블(105b)을 포함한다.
- [46] 도포 모듈(106)은 소재 공급 모듈(105) 내 제 2 작업 테이블(105b) 상의 자성 분말(103)을 조형 모듈(104) 방향으로 밀어서 조형 모듈(104) 내 제 1 작업 테이블(104b) 상에 자성 분말(103)을 소정 두께로 도포하는 기능을 수행한다. 도포 모듈(106)은 도 1과 같이 롤러 형태를 가질 수 있으나, 본 발명은 이에

한정되지 않으며 브러쉬 형태 등 기타 분말을 균일하게 도포할 수 있는 구성이면 적용이 가능하다.

- [47] 결합제 분사 헤드(102)는 제 1 작업 테이블(104b) 상에서 좌우 방향, 높이 방향 중 적어도 어느 한 방향으로 이동 가능하게 설치되어, 액상 결합제를 잉크젯 방식으로 제 1 작업 테이블(104b) 상에 위치한 자성 분말로 분사할 수 있다. 액상 결합제가 분사된 자성 분말은 액상 결합제에 의해 결합되어 분말결합층을 형성하게 된다.
- [48] 액상 결합제는 수계 결합제 혹은 유기계 결합제를 포함할 수 있다. 유기계 결합제는 페놀(phenol)계 화합물 혹은 푸란(furan)계 화합물을 포함할 수 있다.
- [49] 자기장 인가부(107)은 자기장을 발생시켜 제 1 작업 테이블(104a) 상에 형성되는 분말결합층으로 소정 크기의 자기장을 인가하는 장치이다. 자기장 인가부(107)은 영구자석, 전자석 혹은 자기장 유도 코일 등을 포함할 수 있다. 자기장 인가부(107)로부터 인가된 자기장에 의해 분말결합층 내 자성 분말의 회전 및 정렬이 이루어지게 되며, 이에 따라 최종적으로 제조되는 벌크 자성체의 자기 이방성을 구현할 수 있다.
- [50] 자기장 인가부(107)는 분말 결합층에 자기장이 직접 인가될 수 있는 위치에 배치될 수 있다. 예를 들어, 도 1과 같이 조형 모듈(104)의 상부에 배치되어 상부로부터 분말결합층에 자기장을 인가하거나 혹은 제 1 작업 테이블(104b)의 배면에 위치하여 제 1 작업 테이블(104b)의 배면으로부터 분말결합층에 자기장을 인가할 수 있다. 도 1에는 편의상 조형 모듈(104)의 상부에 배치된 자기장 인가부 및 제 1 작업 테이블(104b)의 배면에 위치된 자기장 인가부가 모두 표시되어 있으나 자기장 인가부는 모두 구비되거나 선택적으로 이 중 어느 하나만 구비될 수 있다.
- [51] 프린팅부, 결합제 분사 헤드, 자기장 인가부는 자성체 조형물(혹은 벌크 자성체)이 진공 분위기 혹은 불활성 가스 분위기에서 조형될 수 있도록 밀폐된 진공 챔버(101) 내부에 형성된다. 진공 챔버(101)는 내부를 진공 분위기로 만들기 위해서 배기구(101a)를 통해 진공 펌프(101b)와 연결될 수 있다. 또한 가스 투입구(101c)를 통해 진공 챔버(101) 내부로 불활성 가스 예를 들어 Ar, He, N₂ 등을 공급할 수 있다. 가스 투입구(101c)는 가스 라인을 통해 Ar, He, N₂ 등 불활성 가스를 저장하는 가스 저장부(101d)에 연결될 수 있다.
- [52] 자성 분말은 Re-Fe-B계(Re는 네오디뮴(Nd), 세륨(Ce), 란타넘(La), 디스프로슘(Dy), 테르븀(Tb) 중 어느 하나를 포함하는 희토류 원소 또는 희토류 원소의 조합) 합금 분말을 포함할 수 있다.
- [53] 이때 상기 자성 분말의 형상은 구형을 가지며, 이에 대한 자세한 내용은 후술하도록 한다.
- [54] 본 발명의 기술사상을 따르는 3D 프린팅 장치(100)를 이용하면 자성 분말을 진공 분위기 혹은 불활성 분위기에서 유지하고 이를 이용하여 하여 3차원 자성체 조형물을 제조할 수 있다. 따라서 대기중에 노출되면 산화가 발생하여

자성 특성이 열화되는 Re-Fe-B계 자성 분말, 예를 들어 Nd-Fe-B계 자성 분말을 이용하여 분말의 산화 문제 없이 우수한 자기적 특성을 가지는 자성체 조형물을 제조할 수 있게 된다. 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법을 공정순서에 따라 도시한 도면이다.

- [55] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석은 분말화 공정, 벌크화 공정 및 후처리 공정을 통해 제조될 수 있다.
- [56] 분말화 공정을 통해 구형의 Re-Fe-B계 분말이 가스분무장치에 의해 제조될 수 있다.
- [57] 벌크화 공정은 본 발명의 일 실시예에 따른 3D 프린팅 장비를 이용하여 진공 분위기 혹은 불활성 분위기에서 벌크 자성체를 제조하는 단계이다.
- [58] 후처리 공정은 열처리를 통해 벌크 자성체 내 결합제를 적어도 일부 제거하여 내부에 마이크로 스케일(micro-scale)의 개기공(open pore)을 형성하는 디바인딩(debinding) 공정, 디바인딩 된 벌크 자성체의 결정입계로 입계확산 물질을 확산시키는 결정립계 확산처리 공정 및 최종적으로 제품의 표면을 도금 등으로 처리하는도장 단계를 포함한다. 이하 Re-Fe-B 계 자석 중 Nd-Fe-B 자석을 일례로서 제시하여 본 발명의 기술 사상에 따른 제조방법을 더욱 구체적으로 설명하도록 한다.
- [59] 종래 Nd-Fe-B계 자성 분말은, 멜트스피닝(melt spinning) 혹은 스트립 캐스팅(strip casting)으로 합금을 제조한 후 이를 분쇄하는 공정을 거쳐 제작된다. 여기서, Nd-Fe-B계 자성 분말을 벌크화하는 공정에 따라 자석 종류는 본드 자석과 소결 자석의 2가지로 구분될 수 있다.
- [60] 본드 자석은 멜트스피닝법으로 제조된 Nd-Fe-B계 합금을 분쇄하여 제작한 판상분말을 이용하여, 유기 용매에 녹인 에폭시를 분말 표면에 도포하는 컴파운딩 과정을 거쳐, 에폭시가 도포된 복합체 분말을 자장 중에서 압축성형하고, 표면 도장을 하여 자석으로 제조한다.
- [61] 소결 자석은 스트립 캐스팅을 통해 제조된 판형의 Nd-Fe-B계 합금을 수소처리 후 젯트밀로 분쇄하여 미세한 분말을 만들고 이를 금형에 장입하여 자장 인가상태에서 가압하여 성형체를 제작한다. 이후 950°C 이상의 온도로 가열하여 결정립계에 Nd-rich 상(phase)을 형성하여 액상 소결하고, 원하는 형상으로 기계 가공하여 표면처리 후 자석으로 제조된다.
- [62] 반면, 본 발명에서는 고충진 밀도 구현이 가능하도록 Nd-Fe-B계 구형 분말을 이용한다. 이는 가스분무법 혹은 분쇄 판상분말의 구형화 공정을 통해 구형 분말로 제작될 수 있다. Nd-Fe-B계 분말의 경우에는 Nd-rich 상을 가지는 구형 분말이 제조될 수 있다. 자성 분말을 벌크화하는 공정은 일례로서 도 1에 도시된 3D 프린팅 장치(100)를 이용한 결합제 분사 방식을 사용할 수 있다.
- [63] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 프린팅을 이용한 Nd-Fe-B 벌크 자석을 제조하는 방법을 단계별 제시한 공정 흐름도이다.

- [64] 진공 분위기 혹은 불활성 분위기를 유지하고 있는 3D 프린팅 장치(100)를 이용하여 Nd-Fe-B 벌크 자석을 제조한다. 도 3을 참조하면, Nd-Fe-B 자성 분말(이하 편의상 자성 분말이라 함)을 소재 공급 모듈(105)로부터 도포 모듈(106)을 이용하여 조형 모듈(104) 내 제 1 작업 테이블(104a)로 공급하여 소정의 두께를 가지는 자성 분말층을 형성하는 분말층 형성단계(S301)를 수행한다. 분말층은 브러쉬 혹은 롤러 등의 비자성 도포 모듈을 이용하여 120 μ m 이하의 균일한 두께로 형성한다.
- [65] 원료인 자성 분말은 평균 입도 5 내지 100 μ m를 가지는 구형 분말로서, 가스분무법 혹은 분쇄 판상분말의 구형화 공정을 통해 제조될 수 있다. 분말의 평균 입도가 100 μ m 초과이면 높은 충전밀도 및 마이크로 스케일(micro-scale)의 개기공의 충분한 확보가 어렵고 5 μ m 미만이면 분말 흐름성이 나빠 분말 도포가 어려운 문제가 있다.
- [66] 도 4a 내지 4d에는 가스분무법에 의해 제조된 Nd-Fe-B 분말의 형상을 주사전자현미경으로 관찰한 결과가 나타나 있다. 도 4a, 4b, 4c 및 4d는 각각 평균 입도(D)가 25 μ m 이하, 25 μ m 초과 38 μ m 미만, 38 μ m 초과 48 μ m 미만, 48 μ m 초과 63 μ m 미만인 Nd-Fe-B 구형 분말의 관찰 결과이다. 도 4에 도시된 바와 같이 관찰된 분말은 모두 거의 진원 형태의 구형을 나타냄을 알 수 있다.
- [67] Nd-Fe-B 분말의 형상이 구형임에 따라 자성 분말층 혹은 분말 결합층 내 분말 충전율을 높이기 위해 서로 다른 입도를 가지는 분말을 혼합하여 사용할 수 있다. 즉 소재 공급 모듈 내에 서로 다른 입도를 가지는 분말 수용하고 이를 조형 모듈로 공급하여 자성 분말층 및 분말 결합층을 형성함으로써 벌크 자성체 내 자성 분말의 충전율을 향상시킬 수 있다.
- [68] 표 1에는 평균입도(D)가 38 μ m 미만인 분말(분말 1), 38 μ m 이상 53 μ m 미만인 분말(분말 2), 53 μ m 이상 100 μ m 미만인 분말(분말 3), 100 μ m 이상인 분말(분말 4)을 이용하여 패킹(packing)할 경우의 패킹 밀도(packing density)를 계산한 결과가 나타나 있다. 표 1의 혼합 비율은 중량% 기준이다. 샘플 1-1, 1-2, 1-3, 1-4는 각각 분말 4, 1, 2, 3으로만 패킹한 경우이며, 샘플 1-5는 분말 분말 1, 2, 3을 1/3씩 혼합하여 패킹한 경우이며, 샘플 1-6, 1-7은 분말 2 및 분말 3을 소정의 비율로 혼합한 경우이다. 도 8은 분말 1, 분말 2 및 분말 3의 혼합된 비율(중량% 기준)에 따른 패킹 밀도(packing density)를 나타내는 그래프이다.

[69] [표1]

샘플	(분말 1) $D < 38$	(분말 2) $38\mu\text{m} \leq D < 53\mu\text{m}$	(분말 3) $53\mu\text{m} \leq D < 100\mu\text{m}$	(분말 4) $D \geq 100\mu\text{m}$	Packing density [g/cm ³]
1-1	-	-	-	100 %	4.17
1-2	100 %	-	-	-	4.38
1-3	-	100 %	-	-	4.42
1-4	-	-	100 %	-	4.60
1-5	33.3 %	33.3 %	33.3 %	-	4.71
1-6	-	33.3 %	66.6 %	-	4.64
1-7	-	66.6 %	33.3 %	-	4.76

[70] 표 1을 참조하면, 입도 크기가 서로 다른 분말을 혼합하여 패킹하는 경우에 팩킹 밀도가 4.6g/cm³보다 큰 값으로서 평균 입도가 동일한 분말만으로 패킹한 경우 비해 팩킹 밀도가 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이는 Nd-Fe-B 분말의 형상이 구형임에 따라 소정 입도를 가지는 분말 사이의 빈공간을 입도가 상대적으로 작은 분말이 충전하는 효과가 발생하기 때문으로 판단된다. 가장 높은 팩킹 밀도는 샘플 1-7로서 4.76g/cm³을 나타내었다. 도 8을 통해 팩킹 밀도가 4.6g/cm³를 초과하는 분말 1, 분말 2 및 분말 3의 혼합 비율을 확인할 수 있다. 도 8로부터 팩킹 밀도가 4.6g/cm³를 초과하기 위해서는 자성 분말층은 평균 입도(D)가 38 μm 미만인 분말이 0 내지 33.3 중량%, 평균 입도(D)가 38 μm 이상 53 μm 미만인 분말이 33.3 내지 88.3 중량%, 잔부는 평균 입도(D)가 53 μm 이상 100 μm 미만으로 구성됨을 도출할 수 있다.

[71] 자성 분말층을 형성한 다음 자성 분말층으로 액상 결합제를 분사하여 상기 자성 분말층 내의 자성 분말을 서로 결합시켜 분말 결합층을 형성하는 분말 결합 단계(S302)를 수행한다.

[72] 도 5에는 자성 분말층으로 분사된 액상 결합제의 거동을 나타내는 도면이 도시되어 있다. 도 5를 참조하면, 자성 분말(501)이 적층된 자성 분말층으로 액상 결합제(502)가 분사된 후(도 5의 화살표 좌측도면), 분사된 액상 결합제(502)는

모세관 현상에 의해 분말(501)과 분말(501) 사이의 공간으로 빠르게 흡수되어 분말의 표면의 적어도 일부를 도포함으로써 분말과 분말을 서로 결합시키게 되며(도 5의 화살표 우측도면), 이렇게 분말을 한층씩 쌓아 벌크(bulk)화 할 수 있다.

- [73] 이때 상기 액상 결합제는 5 내지 200pL(pico-litter) 수준으로 분사한다. 이때 분사되는 결합제의 양이 5pL 미만으로 지나치게 적을 경우에는 분말들을 결합시키는 결합력이 너무 낮아 결합제로서의 기능을 수행하지 못할 수 있다. 반면, 결합제의 양이 200pL를 초과하여 지나치게 많을 경우에는 자성 입자간 유격이 커짐으로 자성의 열화 및 후 공정에서 심각한 변형을 유발할 수 있다. 따라서 유기 결합제의 양은 자성 분말의 입자 구성에 따라 5 내지 200pL범위를 가지는 것이 바람직하다
- [74] 본 발명에 의하면 결합제는 분사 헤드에 의해 미량이 자성 분말층으로 분사되어 자성 분말들을 결합시키며 따라서 분말결합층 내에서 결합제가 차지하는 비율은 종래의 결합제와 자성 분말을 압축성형에서 제조하는 본드 자석에 비해 현저하게 작은 값을 나타낸다. 이는 자성체 내에 비자성 재료가 차지하는 비율을 현저하게 낮춰 자성 분말의 고충진 밀도를 구현할 수 있음을 의미한다.
- [75] 분말 결합 단계(S302) 이후에 분말 결합층에 자기장을 인가하는 단계가 수행된다(S303). 분말 결합층 내에서 결합제가 경화되어 자성 분말이 고착되기 전에 자성 분말에 자기장을 인가하여 높은 정렬도로 자성 분말을 자장 정렬시킴으로써 우수한 자기적 이방성을 가지는 자석을 제조할 수 있다.
- [76] 구체적으로, 액상 결합제가 자성 분말층으로 분사된 후 액상 결합제가 경화되어 분말 결합층 내에서 분말들이 고착화되기 전에 자기장이 인가됨에 따라 구형의 자성 분말들은 인가된 자기장의 방향에 따라 자유 회전하게 된다. 따라서 이러한 구형 자성 분말들은 자기장에 의해 정렬이 이루어지게 된다. 이러한 자기장에 의한 정렬로 인하여 자기 이방성의 확보가 가능하게 된다. 분말의 형상이 구형이므로 기존 공정과 같이 판상 혹은 무정형의 자성 분말들이 자기장의 인가에 대응하여 회전하는 것에 비해 훨씬 용이하게 회전함에 따라 자장 정렬을 유도할 수 있게 된다.
- [77] 이때 인가되는 자기장의 세기는 10kOe 내지 30kOe 범위를 가질 수 있다. 10kOe 미만에 의할 경우에는 자기장의 크기가 작아 자성 분말들의 자기장 정렬을 이루고자 하는 구동력이 부족하여 불충분한 회전이 되는 문제가 있다. 30kOe를 초과할 경우, 분말 포화 자화에 따른 분말간 강한 상호 인력으로 분말 회전을 통한 자기장 정렬이 어려워지는 문제가 있다.
- [78] 분말층 형성 단계(S301), 분말 결합 단계(S302) 및 자기장 인가 단계(S303)를 일 주기로 하여 1회 이상 반복하여 자기 이방성이 우수한 벌크 자성체를 형성할 수 있다.
- [79] 본 발명의 기술사상에 의할 경우, 진공 분위기 혹은 불활성 분위기에서 3D

프린팅이 진행됨에 따라 진공 챔버(101) 내에서의 산소 농도는 0.1 중량% 이하로 유지된다. 만약 대기 중에서 3D 프린팅이 진행된다면 기존 0.01 중량% 이하로 산소농도가 제어된 자성 분말 내 산소 농도가 프린팅 후 0.02 중량%를 초과하여 자기적 성능이 떨어지게 된다. 그러나 본 발명의 기술사상에 의할 경우, 분말입자 내 산소 농도는 0.02 중량% 이하로 제어됨에 따라 산화에 의해 자기적 특성이 열화되는 것을 방지할 수 있다.

[80] 일 실시예로서 가스분무법으로 제조한 Nd-Fe-B 분말을 이용하여 도 1에 제시된 3D 프린팅 장치로 Nd-Fe-B 벌크 자성체를 제조하였다. 이때 3D 프린팅 장치의 진공 챔버 내부는 아르곤(Ar) 가스를 이용하여 불활성 분위기를 유지하였다.

[81] 표 2에는 Nd-Fe-B 원분말(샘플 2-1)과, 아르곤 분위기로 유지되는 3D 프린팅 장치의 진공 챔버 내에서 채취한 Nd-Fe-B 분말(샘플 2-2)과, 대기 중에 노출된 Nd-Fe-B 분말(샘플 2-3)의 성분을 CS (Carbon Sulfur) 분석기 및 ON (Oxygen Nitrogen) 미소성분 분석기로 측정한 결과가 나타나 있다. 표 2의 분석 결과는 모두 중량%이다. 또한 도 6에는 제조된 Nd-Fe-B 벌크 자성체의 외관이 나타나 있으며, 도 7에는 상기 벌크 자성체의 X-선 회절 분석 결과가 나타나 있다.

[82] [표2]

샘플	C	S	O	N
2-1	0.016	0.001	0.011	0.079
2-2	0.018	0.001	0.015	0.098
2-3	0.02	0.007	0.068	0.179

[83] 표 2를 참조하면, 샘플 2-2의 경우에는 산소의 함량이 0.015 중량% 임에 비해 샘플 2-3의 경우에는 0.068 중량%로 측정되었다. 즉 원분말인 샘플 2-1과 비교할 때, 진공 챔버 내에서 아르곤 분위기에서 유지된 샘플 2는 산화된 양이 미미하나 대기 중에 노출된 샘플 3의 경우에는 산화가 심하게 진행되어 분말 내 산소 함량이 현저하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 대기 중에서 Nd-Fe-B 벌크 자성체를 제조할 경우, 높은 산소 함량으로 인해 자기적 특성이 열악할 것을 예상할 수 있다. 이에 비해 본 발명의 기술사상에 따라 제조된 Nd-Fe-B 벌크 자성체는 이러한 산화에 따른 문제가 발생되지 않아 우수한 자성을 나타낼 수 있게 된다. 도 6를 참조하면 제조된 Nd-Fe-B 벌크 자성체는 3차원 설계된 정육면체의 형상을 잘 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 도 7의 X-선 회절 결과로부터 적층된 벌크 자성체는 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상을 형성하였음을 알 수 있다.

[84] 벌크 자성체를 형성한 이후에 제 1 열처리를 통해 상기 벌크 자성체 내 유기 결합제를 적어도 일부 제거하는 결합제 제거단계(S304)가 수행될 수 있다. 제 1 열처리는 100 내지 500°C 범위에 내에서 수행될 수 있다. 벌크 자성체 내 결합제의 적어도 일부를 제거하는 단계를 수행하는 과정 중에 분말 간의 일부

영역에서는 소결이 일어날 수 있다.

- [85] 벌크 자성체 내에서 결합제가 제거된 영역은 분말 사이의 빈 공간인 기공(pore)으로 존재하게 되며 따라서 제 1 열처리가 완료된 후에는 벌크 자성체는 내부에는 외부 영역과 연결되는 개기공(open pore)이 형성되게 된다.
- [86] 이때 개기공은 마이크로 스케일(micro-scale)을 가질 수 있다. 마이크로 스케일은 분말 사이에 형성된 개기공의 이격 거리가 10 내지 100 μm 범위를 가지는 정도로 정의된다.
- [87] 제 1 열처리에 의해 내부에 개기공이 형성된 벌크 자성체의 표면에 입계확산 물질을 도포하는 단계(S305) 및 입계확산 열처리를 통해 상기 입계확산 물질을 상기 벌크 자성체 내부의 결정립계로 확산시켜 자성을 강화하는 단계(S306)를 수행할 수 있다.
- [88] Nd-Fe-B계 자석의 경우, 보자력은 계면 부위에서의 물리적, 조직학적 특성에 의해 크게 좌우되며, 따라서 보자력을 향상시키기 위하여 Dy와 같은 중희토류 원소를 결정입계에 집중적으로 분포시킴으로서 Nd-Fe-B계 자석의 결정립이 자기이방성이 높은 층으로 둘러싸이는 코어-셸 구조를 형성시킬 수 있다.
- [89] 제 1 열처리에 의해 내부에 개기공이 형성된 벌크 자성체의 표면에 입계확산 물질(예를 들어 Dy를 포함하는 중희토류)을 도포하고 입계확산 열처리를 수행하는 경우, 벌크 자성체 내부의 개기공을 통해 외부의 입계확산 물질이 용이하게 벌크 자성체 내부로 확산할 수 있게 된다. 따라서 벌크 자성체 내부의 결정립계에 자기이방성이 큰 셸을 형성함으로써 보자력을 높일 수 있다.
- [90] 종래의 Nd-Fe-B 계 소결 자석은 벌크 형태로 성형하는 과정에서 자성 금형에 장입하고 자장 인가 상태에서 가압하여 성형체를 제조한 후 이를 950°C 이상의 온도에서 액상소결하여 제조하였다. 따라서 본 발명의 벌크 자성체와 같이 마이크로 스케일의 균질한 개기공을 구비하기 어려웠으며 따라서 입계확산 물질을 소결체 내부로 확산시키기 위해서는 높은 온도 혹은 장시간의 열처리가 필요하였다.
- [91] 이에 비해 본 발명의 벌크 자성체는 구형 분말의 3D 프린팅 과정에서 결합제로 사용한 유기물의 적어도 일부를 제거함으로써 구형 분말 사이에 일정한 두께의 개기공을 벌크 자성체 전반에 쉽게 형성할 수 있으며, 이러한 개기공은 입계확산 물질의 내부 확산을 유도하는 확산 경로로서 활용됨에 따라서 종래에 비해 더 낮은 온도 혹은 짧은 시간의 열처리를 통해서도 효과적인 내부 확산을 통한 자성 강화의 효과를 확보할 수 있는 장점이 있다.
- [92] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 입계확산 물질은 벌크 자성체 표면에 슬러리 형태로 도포되거나 열증착, 스퍼터링 등과 같은 방법으로 도포될 수 있다.
- [93] 입계확산 열처리가 완료된 후 도장 등 표면 처리하여 최종 Nd-Fe-B 벌크 자석을 제조할 수 있다.
- [94] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형

및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

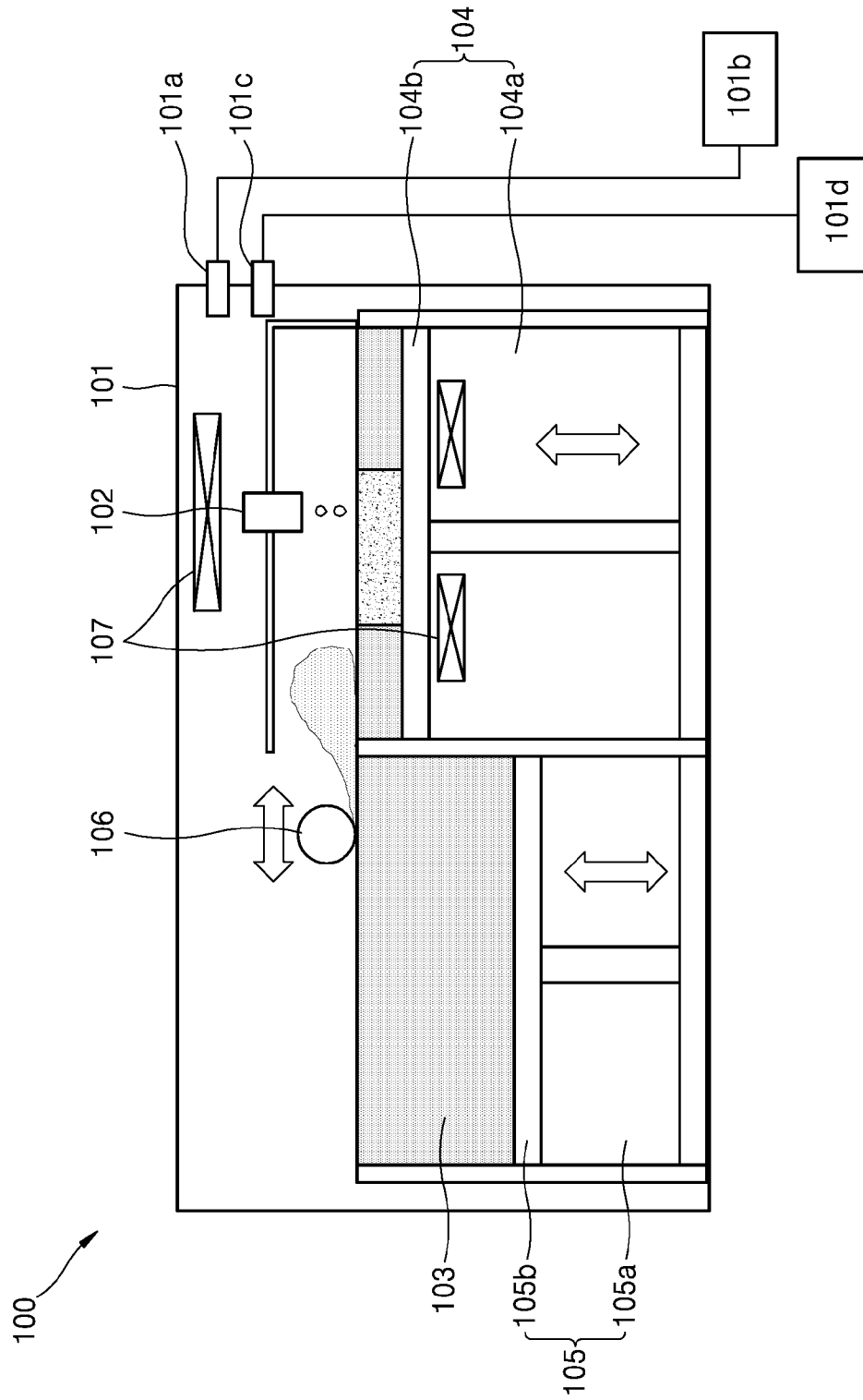
청구범위

- [청구항 1] 구형의 Re-Fe-B계(Re는 네오디뮴(Nd), 세륨(Ce), 란타넘(La), 디스프로슘(Dy), 테르븀(Tb) 중 어느 하나를 포함하는 희토류 원소 또는 희토류 원소의 조합) 자성 분말을 작업 테이블로 공급하여 소정의 두께를 가지는 자성 분말층을 형성하는 분말층 형성단계; 자성 분말층으로 액상 결합제를 분사하여 자성 분말층 내의 자성 분말을 서로 결합시켜 분말 결합층을 형성하는 분말 결합 단계; 및 상기 분말 결합층으로 자기장을 인가하는 자기장 인가 단계;를 포함하며, 분말층 형성 단계, 분말 결합 단계 및 자기장 인가 단계를 일 주기로 하여 1회 이상 반복하여 벌크 자성체를 형성하되, 분말층 형성 단계, 분말 결합 단계 및 자기장 인가 단계는 진공 분위기 혹은 불활성 분위기에서 수행되는, 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 2] 제 1 항에 있어서, 벌크 자성체를 형성하는 단계 이후에 제 1 열처리를 통해 벌크 자성체 내 결합제를 적어도 일부 제거하여 벌크 자성체 내에 개기공(open pore)을 형성하는 단계; 벌크 자성체 표면에 입계확산 물질을 도포하는 단계; 및 입계확산 열처리를 통해 입계확산 물질을 개기공(open pore)을 통해 벌크 자성체 내부의 결정립계로 확산시키는 단계;를 더 포함하는, 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 3] 제 1 항에 있어서, 구형의 Re-Fe-B계(Re는 네오디뮴(Nd), 세륨(Ce), 란타넘(La), 디스프로슘(Dy), 테르븀(Tb) 중 어느 하나를 포함하는 희토류 원소 또는 희토류 원소의 조합) 자성 분말의 평균 입도는 5 내지 100 μ m 범위를 가지는, 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 4] 제 1 항에 있어서, 자기장의 인가는 분말 결합층 내의 자성 분말들이 액상 결합제의 경화에 의해 고착화되기 전에 수행되는, 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 5] 제 1 항에 있어서, 자기장의 인가 시 자기장에 의해 분말 결합층 내 자성 분말들이 자기장의 방향에 대응하여 회전하여 정렬되는 단계가 수행되는, 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 6] 제 1 항에 있어서, 액상 결합제의 분사량은 5 내지 200 μ l 범위를 가지는,

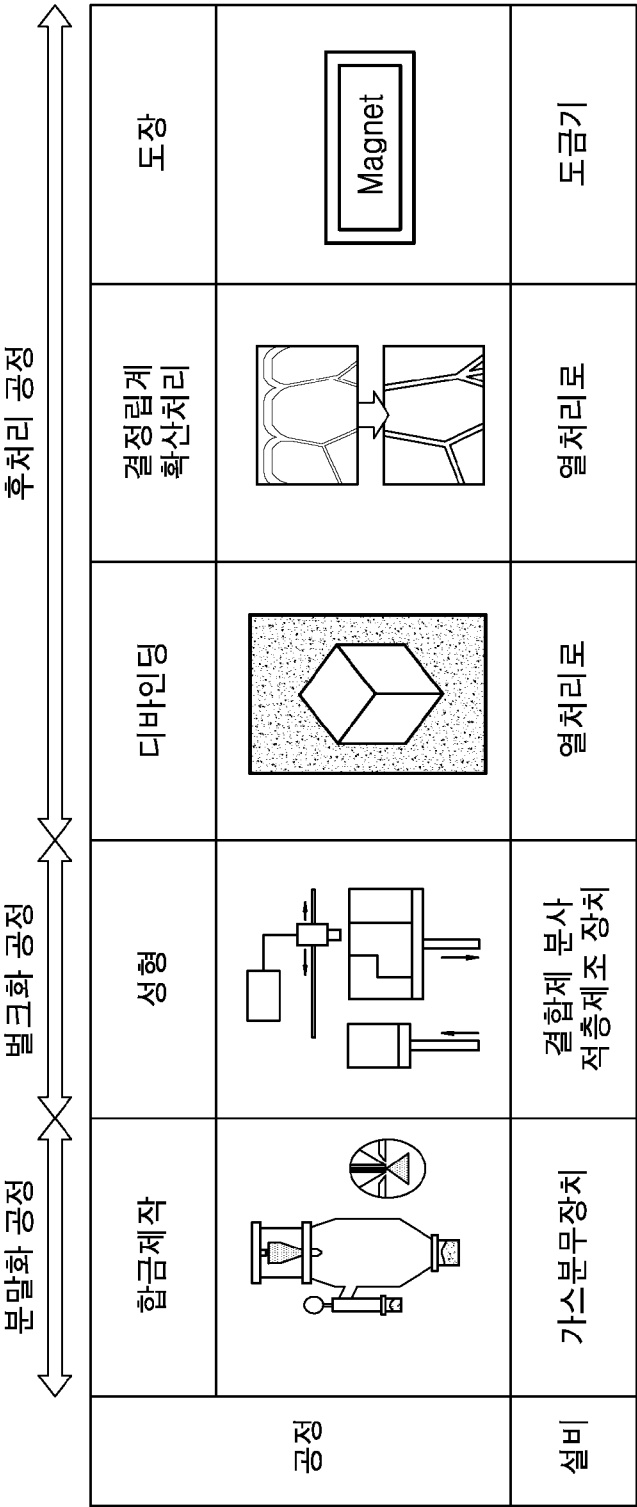
- 3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 7] 제 1 항에 있어서,
자성 분말층은 서로 평균 입도가 상이한 자성 분말이 혼합되어 있는 것인,
3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 8] 제 7 항에 있어서,
자성 분말층은 패킹 밀도가 4.6g/cm^3 를 초과하는,
3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 9] 제 8 항에 있어서,
자성 분말층은 평균 입도(D)가 $38\mu\text{m}$ 미만인 분말이 0 내지 33.3 중량%,
평균 입도(D)가 $38\mu\text{m}$ 이상 $53\mu\text{m}$ 미만인 분말이 33.3 내지 88.3 중량%,
잔부는 평균 입도(D)가 $53\mu\text{m}$ 이상 $100\mu\text{m}$ 미만인 분말인,
3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 10] 제 2 항에 있어서,
제 1 열처리는 100°C 내지 500°C 범위를 가지는,
3차원 프린팅을 이용한 Re-Fe-B계 자석의 제조방법.
- [청구항 11] 진공 분위기 혹은 불활성 분위기에서 3D 프린팅이 가능한 결합제 분사형 3D 프린팅 장치로서,
액상 결합제를 자성 분말층으로 분사하는 결합제 분사 헤드;
구동장치에 의해 승하강이 가능한 작업 테이블을 포함하며 내부에 자성 분말이 수용되고 결합제 분사 헤드에서 분사되는 액상 결합제에 의해 자성 분말이 결합된 분말 결합층이 형성되는 프린팅부;
분말 결합층으로 자기장을 인가하며 진공 챔버 내부에 수용되는 자기장 인가부; 및
결합제 분사 헤드, 프린팅부, 자기장 인가부를 수용하고 내부를 진공 분위기 혹은 불활성 분위기로 유지할 수 있는 밀폐된 진공 챔버;를 포함하는,
결합제 분사형 3D 프린팅 장치.
- [청구항 12] 제 11항에 있어서
상기 프린팅부는,
분말이 수용되고 상방이 개방된 박스 형상의 조형 챔버와, 조형 챔버 내부에 승하강 가능하게 구비되어 액상 결합제에 의해 상면의 복수의 분말결합층이 순차적으로 적층되어 자성체 조형물이 조형되는 제 1 작업 테이블을 포함하는 조형 모듈;
조형 모듈로 공급될 분말이 수용되고 상방이 개방된 박스 형성의 소재 공급 챔버와, 소재 공급 챔버 내부에 승하강 가능하게 구비되어 조형 모듈로 공급될 양 만큼 분말을 소재 공급 챔버 상단으로 돌출되게 밀어올리는 제 2 작업 테이블; 및
제 2 작업 테이블 상의 자성 분말을 조형 모듈 방향으로 밀어서 제 1 작업

테이블 상에 자성 분말을 소정 두께로 도포하는 도포 모듈;을 포함하는,
결합제 분사형 3D 프린팅 장치.

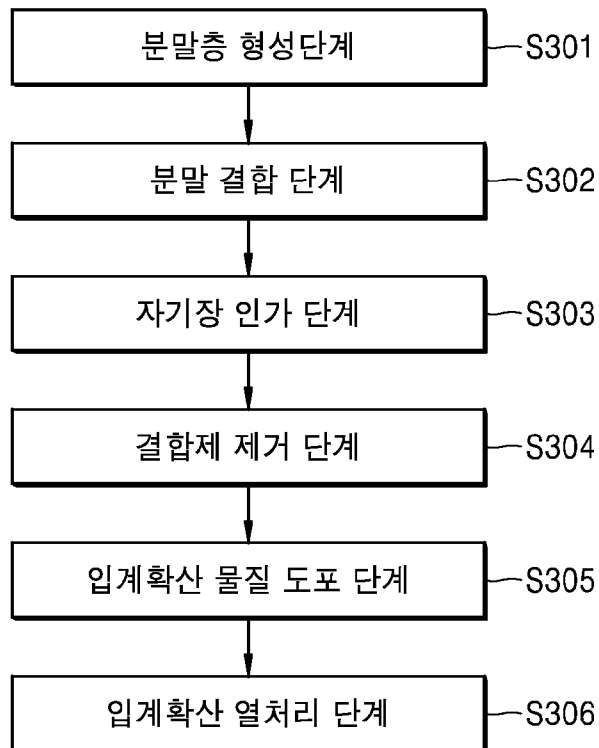
[도1]



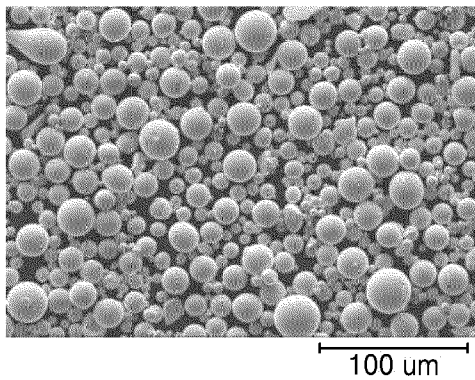
[도2]



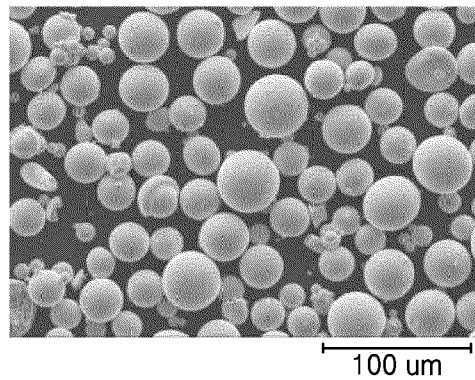
[도3]



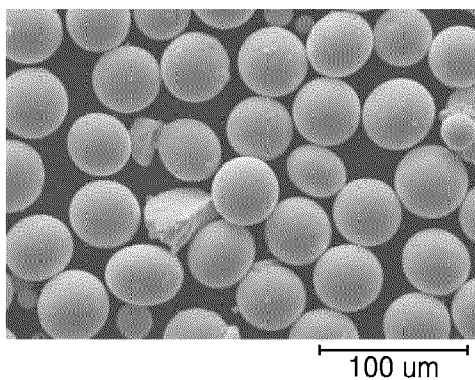
[도4]



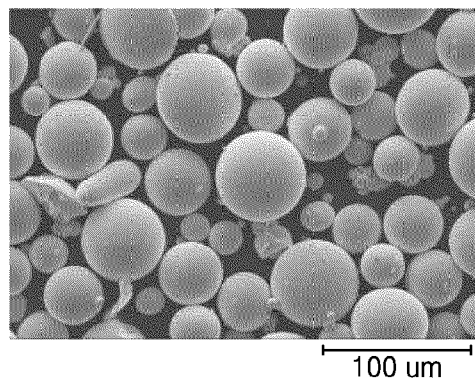
(a)



(b)

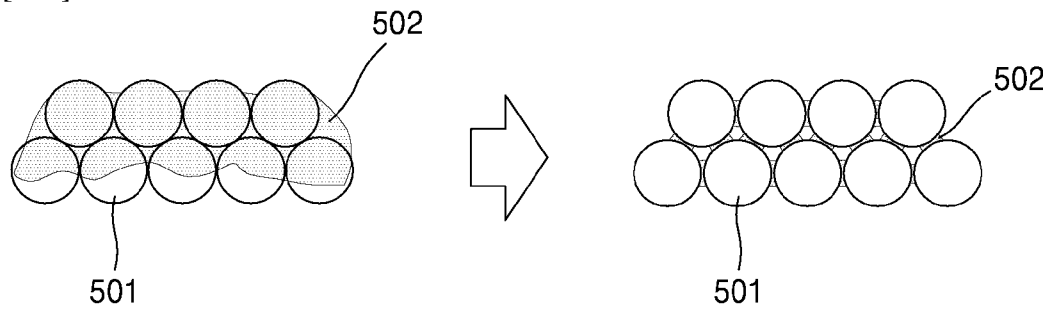


(c)

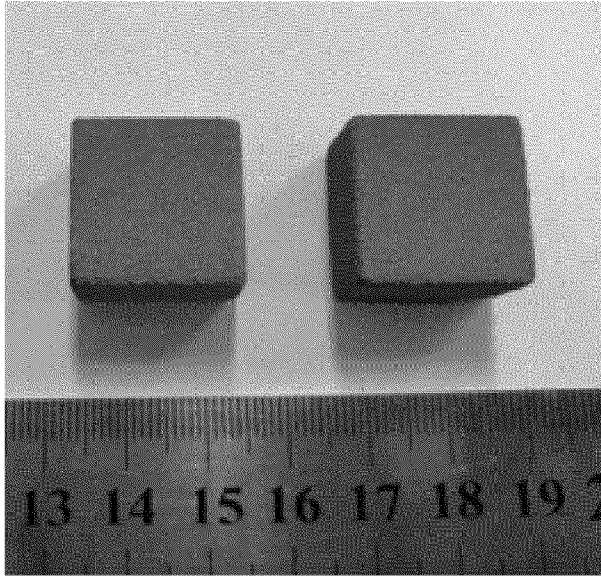


(d)

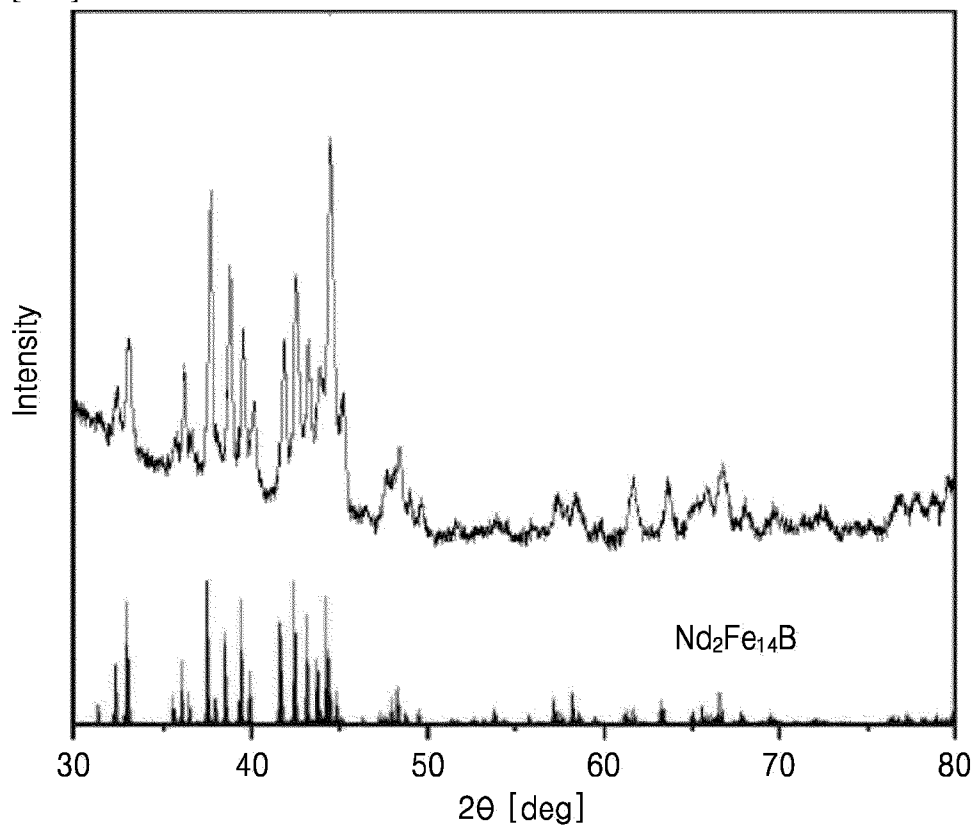
[도5]



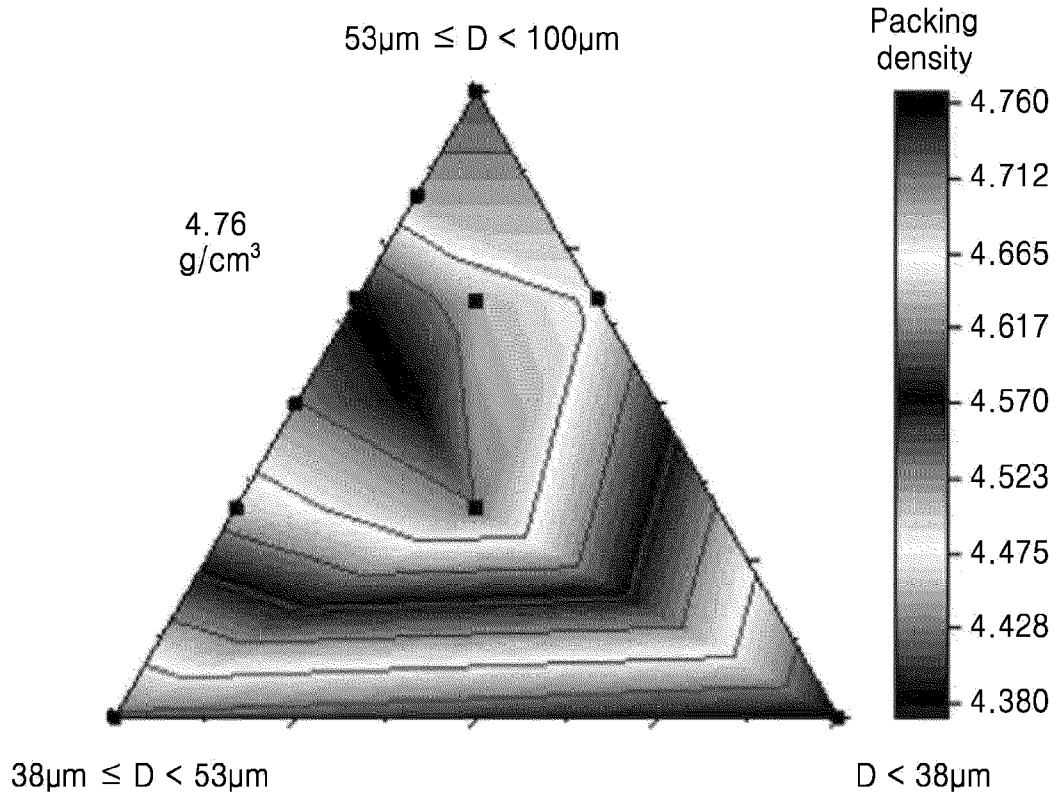
[도6]



[도7]



[도8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2022/008705

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01F 41/02(2006.01)i; **H01F 1/057**(2006.01)i; **C22C 28/00**(2006.01)i; **B22F 10/32**(2021.01)i; **B22F 10/64**(2021.01)i;
B33Y 10/00(2015.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01F 41/02(2006.01); B22F 9/20(2006.01); C21D 6/00(2006.01); H01F 1/057(2006.01); H01F 1/06(2006.01);
H01F 1/12(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 자석(magnet), 네오디뮴(Nd), 프린팅(printing), 분사(spray), 불활성(inert), 진공
(vacuum)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KR 10-1932551 B1 (STAR GROUP IND. CO., LTD.) 27 December 2018 (2018-12-27) See paragraphs [0012]-[0103].	1-12
DY	CN 106571219 A (UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY BEIJING) 19 April 2017 (2017-04-19) See claims 1-2 and figure 1.	1-12
Y	JP 2010-070777 A (SUMITOMO METAL MINING CO., LTD.) 02 April 2010 (2010-04-02) See claim 1.	2,10
Y	US 11024458 B2 (FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, LLC) 01 June 2021 (2021-06-01) See column 4, lines 62-65 and column 6, lines 4-25.	12
A	CN 107993830 A (NORTH UNIVERSITY OF CHINA) 04 May 2018 (2018-05-04) See claims 1-10.	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“D” document cited by the applicant in the international application
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 October 2022

Date of mailing of the international search report

13 October 2022

Name and mailing address of the ISA/KR

**Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208**

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2022/008705

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	10-1932551	B1	27 December 2018	CN	110610787	A	24 December 2019
				CN	110610787	B	29 June 2021
				EP	3591675	A1	08 January 2020
				EP	3591675	B1	12 May 2021
				JP	2019-220689	A	26 December 2019
				JP	6759421	B2	23 September 2020
				US	2019-0385790	A1	19 December 2019
CN	106571219	A	19 April 2017	CN	106571219	B	28 November 2017
JP	2010-070777	A	02 April 2010	JP	5088277	B2	05 December 2012
US	11024458	B2	01 June 2021	US	2019-108941	A1	11 April 2019
				US	2021-280368	A1	09 September 2021
CN	107993830	A	04 May 2018	CN	107993830	B	07 July 2020

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H01F 41/02(2006.01)i; H01F 1/057(2006.01)i; C22C 28/00(2006.01)i; B22F 10/32(2021.01)i; B22F 10/64(2021.01)i; B33Y 10/00(2015.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H01F 41/02(2006.01); B22F 9/20(2006.01); C21D 6/00(2006.01); H01F 1/057(2006.01); H01F 1/06(2006.01); H01F 1/12(2006.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 자석(magnet), 네오디뮴(Nd), 프린팅(printing), 분사(spray), 불활성(inert), 진공(vacuum)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	KR 10-1932551 B1 (성림첨단산업(주)) 2018.12.27 단락 [0012]-[0103]	1-12
DY	CN 106571219 A (UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY BEIJING) 2017.04.19 청구항 1-2 및 도면 1	1-12
Y	JP 2010-070777 A (SUMITOMO METAL MINING CO., LTD.) 2010.04.02 청구항 1	2,10
Y	US 11024458 B2 (FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, LLC) 2021.06.01 컬럼 4, 라인 62-65, 컬럼 6, 라인 4-25	12
A	CN 107993830 A (NORTH UNIVERSITY OF CHINA) 2018.05.04 청구항 1-10	1-12
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2022년10월13일(13.10.2022)		국제조사보고서 발송일 2022년10월13일(13.10.2022)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 장기정 전화번호 +82-42-481-8364

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1932551 B1	2018/12/27	CN 110610787 A	2019/12/24
		CN 110610787 B	2021/06/29
		EP 3591675 A1	2020/01/08
		EP 3591675 B1	2021/05/12
		JP 2019-220689 A	2019/12/26
		JP 6759421 B2	2020/09/23
		US 2019-0385790 A1	2019/12/19
CN 106571219 A	2017/04/19	CN 106571219 B	2017/11/28
JP 2010-070777 A	2010/04/02	JP 5088277 B2	2012/12/05
US 11024458 B2	2021/06/01	US 2019-108941 A1	2019/04/11
		US 2021-280368 A1	2021/09/09
CN 107993830 A	2018/05/04	CN 107993830 B	2020/07/07