(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0090233
(43) 공개일자 2025년06월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02K 55/04 (2006.01) *F16J 15/43* (2006.01)
F28D 21/00 (2006.01) *H01F 6/06* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02K 55/04 (2013.01)
F16J 15/43 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0184388
(22) 출원일자 2024년12월12일
심사청구일자 2024년12월12일
(30) 우선권주장
1020230179788 2023년12월12일 대한민국(KR)

(71) 출원인
국립창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
김석호
경상남도 김해시 율하3로 76, 805동 1802호(율하동, 신리마을 중앙하이츠아파트)
김기환
경상남도 김해시 율하1로 7, 201동 1303호(율하동, 율곡마을주공2단지아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 12 항

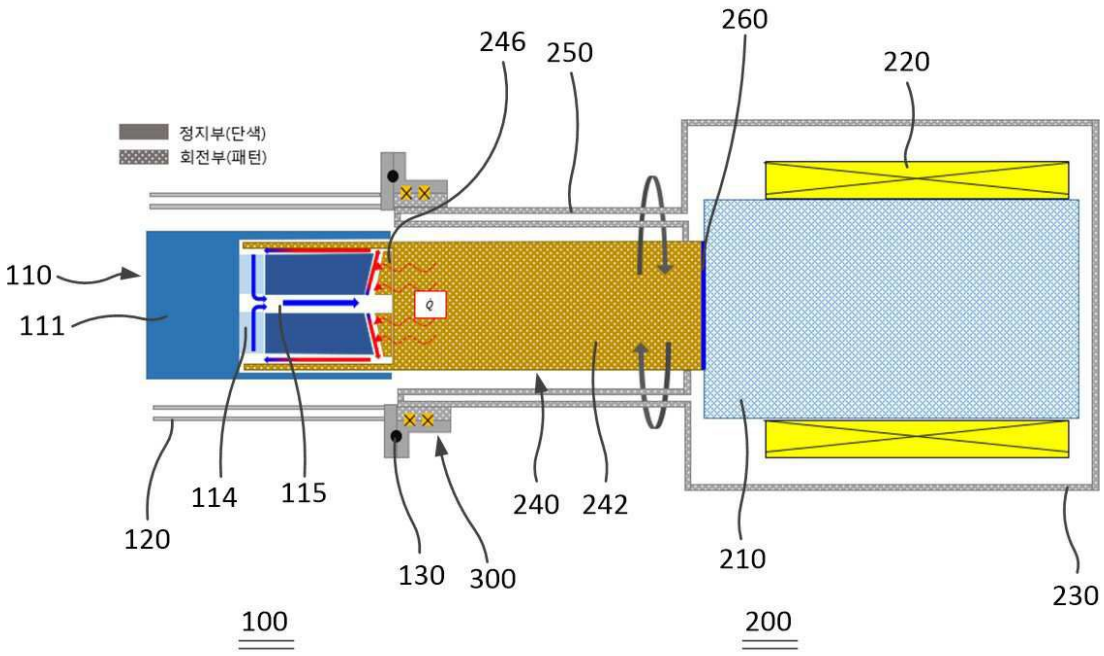
(54) 발명의 명칭 **비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치**

(57) 요 약

본 발명은 HTS 초전도 회전자의 구동 특성을 이용하여 정지된 냉각부와 회전 운동하는 초전도 회전자 사이에 형성된 열교환 유로에 충전된 냉매를 순환시켜 냉각하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3



본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치는, 회전자 본체, 초전도(HTS: High Temperature Superconductor) 선재로 된 코일이 권취된 채로 회전자 본체의 외주면에 배치된 초전도 전자석 및 회전자 본체의 선단에서 돌출 형성되고 선단에 원심형 임펠러를 구비된 회전자 샤프트를 포함하는 초전도 회전부; 원심형 임펠러와 대향하고, 내부에 냉매 순환을 위한 유로공이 형성되어 있는 냉각 유로 블록을 구비하여 초전도 회전부에서 발생한 열을 냉매를 통해 열교환하여 냉각하는 열교환부가 구비된 정지부 및 정지부와 초전도 회전부를 비접촉식 방식으로 커플링하는 자성유체 씰을 포함하여 이루어진다.

(52) CPC특허분류
H01F 6/06 (2013.01)
F28D 2021/0033 (2024.08)
Y02E 40/60 (2020.08)
Y10S 505/876 (2013.01)
Y10S 505/888 (2013.01)

(72) 발명자
김유빈
경상남도 창원시 마산회원구 회성동2길 9-1 (회성동)

이창형
경상남도 창원시 성산구 용지로 229, 9동 102호(용호동, 롯데맨션)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711191662
과제번호	2019R1A5A8083201
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	지역선도연구센터
연구과제명	극한환경 스마트 기계 부품 설계/제조 혁신 센터
과제수행기관명	창원대학교 산학협력단
연구기간	2019.09.01 ~ 2026.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711179804
과제번호	2022M3I9A1073187
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	고온초전도마그넷기술개발사업
연구과제명	고성능 고온초전도 레이스트랙 코일 핵심기술 개발
과제수행기관명	창원대학교 산학협력단
연구기간	2022.04.20 ~ 2026.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

회전자 본체, 초전도(HTS: High Temperature Superconductor) 선재로 된 코일이 권취된 채로 회전자 본체의 외주면에 배치된 초전도 전자석 및 회전자 본체의 선단에서 돌출 형성되고 선단에 원심형 임펠러를 구비된 회전자 샤프트를 포함하는 초전도 회전부;

원심형 임펠러와 대향하고, 내부에 냉매 순환을 위한 유로공이 형성되어 있는 냉각 유로 블록을 구비하여 초전도 회전부에서 발생한 열을 냉매를 통해 열교환하여 냉각하는 열교환부가 구비된 정지부 및

정지부와 초전도 회전부를 비접촉식 방식으로 커플링하는 자성유체 씰을 포함하여 이루어진 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

정지부에는 진공 상태의 다중 파이프 구조로 이루어지고, 열교환부를 감싸서 외부의 열이 정지부로 침입되는 것을 차단하는 정지부측 진공관이 구비되고,

초전도 회전부에는 진공 상태의 다중 파이프 구조로 이루어지고, 회전자 샤프트를 감싸서 외부 열의 침입을 차단하는 회전부측 진공관이 구비된 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

정지부측 진공관과 회전부측 진공관 사이의 공간에는 헬륨 가스 냉매가 충전된 것을 특징으로 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

열교환부는 초전도 회전부에서 발생한 열을 냉각기로 전달하는 냉각 헤드, 원통형 블록으로 이루어지고 냉각 헤드와 일체로 형성되어 냉각 유로를 형성하는 냉각 유로 블록, 냉각 유로 블록을 감싸도록 냉각 헤드의 외주면에서 길이 방향으로 연장되는 원통체로 이루어진 정지부측 원통형 결합부 및 정지부측 진공관에서 방사상으로 연장되어 자성유체 씰을 지지하는 커플링용 플랜지를 구비한 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

초전도 회전부는 회전자 본체, 회전자 본체의 외주면에 배치된 초전도 전자석, 초전도 전자석이 배치된 회전자 본체를 진공 상태로 감싸는 회전자 하우징, 회전자 본체의 선단에서 돌출 형성된 회전자 샤프트, 회전자 샤프트의 샤프트 본체의 외주면에서 전방으로 돌출 형성되고 결합시 정지부측 원형형 결합부와 냉각 유로 블록 사이의 공간에 삽입되는 회전부측 원통형 결합부 및 회전부측 원통형 결합부의 내측의 샤프트 본체의 선단에 형성된 원심형 임펠러를 구비한 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

냉각 유로 블록은 냉각 헤드와 일체로 방사상으로 형성된 다수의 방사상 유로공 및 각 방사상 유로공과 연통된 채로 냉각 유로 블록의 중심축에 길이 방향으로 형성된 중앙 유로공을 구비한 것을 특징으로 하는 비접촉식 커

플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

원심형 임펠러는 가운데에 중심홈이 형성되고, 중심홈으로 갈수록 직경이 작아지는 경사형 돌기로 이루어지며, 경사형 돌기의 표면에는 곡선 형상으로 이루어진 복수의 임펠러 홈이 형성되어 이루어지고,

냉각 유로 블록의 단부에는 원심형 임펠러와 요철 형태로 간격을 두고 형합하도록 중앙 유로공으로 갈수록 좁아지는 경사형 요홈이 형성된 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

회전자 본체는 알루미늄 합금인 AL6063 재질로 이루어진 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

정지부측 원통형 결합부와 회전부측 원형통 결합부 사이에 형성된 결합부간 갭의 간격은 0.3㎜ ~ 0.02㎜인 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

회전자 샤프트와 회전자 본체는 인듐 시트를 개재하여 볼트 결합된 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

회전자 하우징 내부에서 회전자 본체를 동축으로 지지하고, 회전자 본체가 발생시키는 토크를 외부로 전달하기 위한 토크 디스크(torque disk)가 더 구비된 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

토크 디스크는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer) 소재로 이루어진 것을 특징으로 하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 HTS 초전도 회전자의 구동 특성을 이용하여 정지된 냉각부와 회전 운동하는 초전도 회전자 사이에 형성된 열교환 유로에 충전된 냉매를 순환시켜 냉각하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 고온 초전도(HTS: High Temperature Superconductor) 선재는 임계온도 이하에서 직류저항이 0인 특성에 따라 극저온 환경으로 냉각할 경우 기존 상전도 금속소재의 선재에 비해 전류밀도를 높일 수 있다. 따라서 HTS 선재를 권선한 초전도 전자석을 회전 장치(전동기 및 발전기 등)에 적용할 때 경량화 및 소형화가 가능하다.

[0003] HTS 선재를 적용한 전자석은 극저온의 운전온도 이하로 냉각되는 것이 필수이며, 통상적으로 30K 내외의 운전온도를 가지게 된다. 초전도 전자석을 운전온도로 냉각하기 위해서는 극저온 냉동기를 부착하여 냉각하거나 극저온 냉매의 순환에 따른 잠/현열을 이용한 열교환 냉각 방법이 있다.

[0004] 극저온 냉동기의 경우, 압축기 및 고압배관 등 중량물이 포함되어 있어서 회전 운동중인 초전도 회전기기를 차량이나 항공기 등에 적용하는데 적합하지 않다.

[0005] 극저온 냉매의 경우, 운전온도에서 사용이 가능한 극저온 유체(질소, 수소, 네온, 헬륨 등)를 적용하여 초전도 회전기기에 사용되는 회전자에 극저온 유체를 이송하여 냉각하는 방식이다.

[0006] 현재 이러한 방식을 적용하기 위해서는 회전자에 극저온 냉매의 공급/배출 관이 동심을 이뤄 회전 상태에서 유로가 유지되는 구조가 되어야 하는데, 이는 극저온 냉매의 외부 누설 및 단열에 불리한 구조가 된다. 특히 극저온 액체 냉매를 사용할 경우, 냉매의 유량 조절의 어려움 및 정지-운전으로 전환되는 과도 상태에서 액체의 요동으로 회전자의 기계적 회전 안정성에 문제가 발생한다. 또한 액체 냉매의 경우 그 냉각 범위가 냉매의 비등온도 부근이 되는 한계를 가지기 때문에 적용하는 초전도 회전기기의 크기, 출력 및 운전 단계에서 가변성이 떨어진다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) : 한국 등록특허공보 제10-2701978호(발명의 명칭: 극저온 초전도 회전기의 커플링 구조)

(특허문헌 0002) : 한국 공개특허공보 제10-2022-0017880호(발명의 명칭: 자기 유체 역학 수소 전기 발전기)

(특허문헌 0003) : 한국 등록특허공보 제10-2195462호(발명의 명칭: 극저온 배관용 단열 베이오넷형 커플링)

(특허문헌 0004) : 한국 등록특허공보 제10-1227395호(발명의 명칭: 회전 기준 프레임 내에 배치된 냉각 시스템)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 주된 과제는 HTS 초전도 회전자의 구동 특성을 이용하여 정지된 냉각부와 회전 운동하는 초전도 회전자 사이에 형성된 열교환 유로에 충전된 냉매를 순환시켜 냉각하는 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전장치를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기의 과제를 달성하기 위한 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치는, 회전자 본체, 초전도(HTS: High Temperature Superconductor) 선재로 된 코일이 권취된 채로 회전자 본체의 외주면에 배치된 초전도 전자석 및 회전자 본체의 선단에서 돌출 형성되고 선단에 원심형 임펠러를 구비된 회전자 샤프트를 포함하는 초전도 회전부; 원심형 임펠러와 대향하고, 내부에 냉매 순환을 위한 유로공이 형성되어 있는 냉각 유로 블록을 구비하여 초전도 회전부에서 발생한 열을 냉매를 통해 열교환하여 냉각하는 열교환부가 구비된 정지부 및 정지부와 초전도 회전부를 비접촉식 방식으로 커플링하는 자성유체 씰을 포함하여 이루어진다.

[0010] 전술한 구성에서, 정지부에는 진공 상태의 다중 파이프 구조로 이루어지고, 열교환부를 감싸서 외부의 열이 정지부로 침입되는 것을 차단하는 정지부측 진공관이 구비되고, 초전도 회전부에는 진공 상태의 다중 파이프 구조로 이루어지고, 회전자 샤프트를 감싸서 외부 열의 침입을 차단하는 회전부측 진공관이 구비된다.

[0011] 정지부측 진공관과 회전부측 진공관 사이의 공간에는 헬륨 가스 냉매가 충전된다.

[0012] 열교환부는 초전도 회전부에서 발생한 열을 냉각기로 전달하는 냉각 헤드, 원통형 블록으로 이루어지고 냉각 헤드와 일체로 형성되어 냉각 유로를 형성하는 냉각 유로 블록, 냉각 유로 블록을 감싸도록 냉각 헤드의 외주면에서 길이 방향으로 연장되는 원통체로 이루어진 정지부측 원통형 결합부 및 정지부측 진공관에서 방사상으로 연장되어 자성유체 씰을 지지하는 커플링용 플랜지를 구비한다.

[0013] 초전도 회전부는 회전자 본체, 회전자 본체의 외주면에 배치된 초전도 전자석, 초전도 전자석이 배치된 회전자 본체를 진공 상태로 감싸는 회전자 하우징, 회전자 본체의 선단에서 돌출 형성된 회전자 샤프트, 회전자 샤프트의 샤프트 본체의 외주면에서 전방으로 돌출 형성되고 결합시 정지부측 원형형 결합부와 냉각 유로 블록 사이의 공간에 삽입되는 회전부측 원통형 결합부 및 회전부측 원통형 결합부의 내측의 샤프트 본체의 선단에 형성된 원심형 임펠러를 구비한다.

[0014] 냉각 유로 블록은 냉각 헤드와 일체로 방사상으로 형성된 다수의 방사상 유로공 및 각 방사상 유로공과 연통된 채로 냉각 유로 블록의 중심축에 길이 방향으로 형성된 중앙 유로공을 구비한다.

[0015] 원심형 임펠러는 가운데에 중심홈이 형성되고, 중심홈으로 갈수록 직경이 작아지는 경사형 돌기로 이루어지며, 경사형 돌기의 표면에는 곡선 형상으로 이루어진 복수의 임펠러 홈이 형성되어 이루어지고, 냉각 유로 블록의 단부에는 원심형 임펠러와 요철 형태로 간격을 두고 형합하도록 중앙 유로공으로 갈수록 좁아지는 경사형 요홈이 형성된다.

[0016] 회전자 본체는 알루미늄 합금인 AL6063 재질로 이루어진다.

[0017] 정지부측 원통형 결합부와 회전부측 원형통 결합부 사이에 형성된 결합부간 갭의 간격은 0.3㎜ ~ 0.02㎜이다.

[0018] 회전자 샤프트와 회전자 본체는 인듐 시트를 개재하여 볼트 결합된다.

[0019] 회전자 하우징 내부에서 회전자 본체를 동축으로 지지하고, 회전자 본체가 발생시키는 토크를 외부로 전달하기 위한 토크 디스크(torque disk)가 구비된다,.

[0020] 토크 디스크는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer) 소재로 이루어진다.

발명의 효과

[0021] 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치에 따르면, 정지부와 회전부를 자성유체 씰을 사용하여 비접촉 커플링 구조로 결합하여 냉매의 유출을 방지함으로써, 반영구적인 내구성을 가지고 탈부착이 가능하고 사용처에서 필요한 경우에 별도의 가공 공정 없이 자성유체 씰을 용이하게 교체할 수가 있다. 또한, 고정부와 회전부의 회전자 샤프트간 물리적으로 마찰이 일어나는 접촉부가 없기 때문에 커플링 부품간 마모의 문제가 발생하지 않으며 냉매의 지속적인 공급이 필요 없어 유지보수가 용이하다.

[0022] 이외에도 배관 연결과 같은 접촉 구조 없이 회전자 샤프트 선단에 형성된 원심형 임펠러가 회전자 본체의 회전에 따라 함께 회전하면서 고정부에 구비된 냉각 유로 블록의 유로 순환공을 통해 헬륨 가스 냉매를 순환시키는 과정에서 회전자 본체를 비접촉 방식으로 냉각함으로써 배관을 통해 냉매를 순환시키는 종래의 장치에 비해 구성이 간단해질 뿐 아니라 구조 및 동작의 안정성이 현저하게 향상된다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1 및 2는 각각 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 동작 원리를 설명하기 위한 분리 상태 및 결합 상태의 개략 단면도.

도 3은 도 2에 도시한 결합 상태에서의 동작 설명도.

도 4 및 5는 각각 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 결합 상태의 상세 단면도 및 점선부의 확대 단면도.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 결합 상태의 사시도.

도 7은 도 6에 도시한 회전 장치의 분해 상태의 사시도.

도 8은 도 6에 도시한 회전 장치의 종단면 사시도.

도 9는 도 6에 도시한 회전 장치의 종단면도.

도 10은 도 6에서 열교환부의 단면 사시도.

도 11은 도 6에서 방사형 유로공과 중앙 유로공 부분을 절개하여 보인 단면 사시도.

도 12는 도 6에서 회전자 샤프트의 원심형 임펠러를 보인 단면 사시도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 본 발명의 실시예들에 대한 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 발명되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 본 실시예들은 단지 본 발명이 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 사람에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구범위에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0025] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명의 실시예에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0026] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.

[0027] 도 1 및 2는 각각 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 동작 원리를 설명하기 위한 분리 상태 및 결합 상태의 개략 단면도이다. 도 1 및 도 2에 도시한 바와 같이, 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 개략적인 구성은 크게 정지부(100), 극저온 초전도 회전부(이하 간단히 '초전도 회전부'라 한다)(200) 및 정지부(100)와 초전도 회전부(200)를 비접촉식 방식으로 커플링하는 자성유체 씰(ferro fluid seal; 300)을 포함하여 이루어질 수 있다.

[0028] 전술한 구성에서, 초전도 회전부(200)는 초전도 모터, 초전도 발전기 및 초전도 블로어 등과 같이 극저온(Cryogenic) 상태에서 회전 작동하는 장치로서, 편의상 그 외각에 동심원상으로 구비된 고정자(stator)에 대한 설명은 생략한다. 이러한 초전도 회전부(200)는 열 부하를 관리하고 최적의 작동 온도를 유지하기 위해 극저온 냉각이 필요하다. 정지부(100)는 초전도 회전부(200)와 비접촉식으로 커플링되고, 냉동기 혹은 극저온 상태의 냉매를 이용한 냉각기(미도시; 이하 총칭하여 '냉각부'라 한다)로 기능하여 초전도 회전부(200)를 극저온 상태로 냉각한다.

[0029] 보다 구체적으로 정지부(100)는 초전도 회전부(200)에서 발생한 열을 도시하지 않은 냉각기에 전달하는 열교환부(110), 열교환부(110)를 감싸서 외부의 열이 정지부(100)로 침입되는 것을 차단하는 정지부측 진공관(120) 및 정지부측 진공관(120)에서 방사상으로 연장되어 자성유체 씰(300)을 지지하는 커플링용 플랜지(130)를 포함하여 이루어진다.

[0030] 열교환부(110)는 다시, 초전도 회전부(200)에서 발생한 열을 냉각기로 전달하는 히트싱크의 역할을 담당하는 냉각 헤드(111), 바람직하게는 원통형 블록 형상의 냉각 헤드(111), 원통형 블록으로 이루어지고 냉각 헤드(111)와 일체로 형성되어 냉각 유로를 형성하는 냉각 유로 블록(113), 냉각 유로 블록(113)을 감싸도록 냉각 헤드(111)의 외주면에서 길이 방향으로 연장되는 원통체로 이루어진 정지부측 원통형 결합부(112)를 구비한다. 이러한 구조에 의해 냉각 유로 블록(113)과 정지부측 원통형 결합부(113) 사이에는 링 형상의 단면을 갖는 중공부가 형성되고, 정지부(100)와 초전도 회전부(200)의 결합시 이러한 중공부에 후술하는 회전부측 원통형 결합부(244)가 냉각 유로 블록(113)과의 사이에 갭을 형성한 채로 삽입된다.

[0031] 냉각 유로 블록(113)은 냉각 헤드(111)와 일체로 형성된 다수의 냉매 유로공, 예를 들어 방사상으로 형성된 6개의 방사상 유로공(114) 및 각 방사상 유로공(114)과 연통된 채로 냉각 유로 블록(113)의 중심축에 길이 방향으로 형성된 중앙 유로공(115)을 구비한다. 냉각 유로 블록(113)의 단부에는 후술하는 초전도 회전부(200)의 원심형 임펠러(246)와 요철 형태로 간격을 두고 형합하도록 중앙 유로공(115)로 갈수록 좁아지는 경사형 요홈(113a)이 형성되어 있다.

[0032] 정지부측 진공관(120)은 다중, 예를 들어 이중 구조 이상의 파이프로 이루어져서 외부의 열이 정지부(100) 내부로 침입되는 것을 차단, 즉 단열한다. 한편, 정지부(100)와 초전도 회전부(200)가 결합된 상태에서 정지부(100)와 초전도 회전부(200) 내부 공간에는 열을 전달하는 매개체로 냉매, 예를 들어 헬륨 가스(Gas Helium; GHe)가 충진되어 있다.

[0033] 다음으로, 초전도 회전부(200)는 냉각 대상이 되는 회전자 본체(210), 회전자 본체(210)의 외주면에 배치된 초전도 전자석(220), 초전도 전자석(220)이 배치된 회전자 본체(210)를 진공 상태로 감싸는 회전자 하우징(230),

회전자 본체(210)의 선단에서 돌출 형성된 회전자 샤프트(240), 회전자 샤프트(240)의 샤프트 본체(242)의 외주면에서 전방으로 돌출 형성된 회전부측 원통형 결합부(244), 회전부측 원통형 결합부(244)의 내측의 샤프트 본체(242)의 선단에 형성된 원심형 임펠러(246) 및 샤프트 본체(244)를 감싸서 외부 열의 침입을 차단하는 회전부측 진공관(250)을 포함하여 이루어질 수 있다.

[0034] 전술한 구성에서, 초전도 전자석(220)은 금속에 HTS 선재로 된 코일을 감아서 구성될 수 있는데, HTS 선재의 특성상 50K ~ 70K의 임계 온도에 도달해야 비로소 저항이 사라져서 전류가 흐르게 되고, 결과적으로 회전자 본체가 회전(기동)할 수 있게 된다. 초전도 전자석(220)의 정상 동작(회전)에 필요한 온도는 대략 30K 정도이고, 이와 같이 초전도 전자석(220)은 온도가 낮아질수록 더 많은 전류를 흘리게 된다.

[0035] 회전자 샤프트(240)는 열전달 효율이 우수한 재질, 예를 들어 구리 재질로 제조될 수 있다. 회전자 본체(210) 역시 열전달 효율 및 가소성이 우수한 재질, 예를 들어 알루미늄 합금인 AL6063 재질로 제조될 수 있는데, 4각, 6각, 8각 또는 10각 등의 다면체로 이루어질 수 있다. 초전도 전자석(220)는 다면체인 회전자 본체(210)의 각 면에 일대일로 대응되어 설치될 수 있다.

[0036] 원심형 임펠러(246)는 가운데에 중심홈이 형성되고, 상기 중심홈으로 갈수록 직경이 작아지는 경사형(원뿔형) 돌기로 이루어지고, 상기 경사형 돌기의 표면에는 곡선 형상으로 이루어진 복수의 임펠러 홈이 형성되어 있다.

[0037] 다음으로, 자성유체 씰(300)은 잘 알려진 바와 같이 정지부(100)와 초전도 회전부(200) 사이의 간극(radial gap)에 주입된 자성유체(ferro fluid)가 자기장(magnetic flux)의 작용에 의해 일종의 "액상" 형태의 오링(liquid O-ring)을 형성함으로써 완벽한 밀봉이 가능한 회전용 씰로서, 정지부(100)와 초전도 회전부(200) 간의 마찰이 없는 비접촉식 씰(non-contact seal)이다. 여기에서, 자성유체 씰(300)은 극저온 상태인 헬륨 가스(GHe) 냉매와 접촉할 경우에 동결되면서 씰의 성능을 잃어버릴 수 있는바, 온도 구배의 형성으로 열 부하를 최소화하는 베이오넷(bayonet) 연결 구조로 설치될 수 있다

[0038] 참조번호 260은 커플링용 플랜지(130)와 자성유체 씰(300) 사이에 개재되어 냉매인 헬륨 가스(GHe)의 유출을 방지하는 오링을 나타낸다. 참조번호 260은 회전자 샤프트(240)와 회전자 본체(210) 사이에 개재(부착 또는 도포)되어 양자 사이의 열전달 성능을 향상시키는 열전달 시트, 예를 들어 인듐 시트를 나타내는바, 회전자 샤프트(240)와 회전자 본체(210)는 볼트 결합될 수 있다.

[0039] 도 3은 도 2에 도시한 결합 상태에서의 동작 설명도이다. 도 3에 도시한 바와 같이, 전술한 구성을 갖는 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치에 따르면, 회전자 본체(210)의 동작 전, 즉 초기 냉각 단계에서는 정지부측 원통형 결합부(112)와 회전부측 원형통 결합부(244) 사이에 형성된 갭(G; 이하 '결합부간 갭'이라 한다)에 냉매인 헬륨 가스(GHe)가 충전되어 있다. 상기 결합부간 갭은 0.3㎜ ~ 0.02㎜, 바람직하게는 0.1㎜ ~ 0.05㎜이다.

[0040] 이 상태에서, 냉각기에 의해 냉매인 헬륨 가스(GHe)의 온도가 일정 온도 이하, 예를 들어 30K까지 하강하면 비록 냉매가 가스라 할지라도 매우 좁은 결합부간 갭(G)에 의해 열 전도(傳導) 현상이 일어나서 회전자 샤프트(240) 및 이에 연결된 회전자 본체(210) 및 초전도 전자석(220)이 순차적으로 기동 임계 온도인 50K ~ 70K 이하로 하강함으로써 초전도 전자석(220)에 전류가 흘러서 회전자 본체(220)가 기동(회전)하기 시작한다.

[0041] 이와 같이 회전자 본체(220)가 회전한 이후의 정격 운전 단계에서는 회전자 본체(220)가 회전 운동함에 따라 회전자 샤프트(240)의 샤프트 본체(242)의 선단에 형성된 원심형 임펠러(246)가 함께 회전하면서 냉각 유로 블록(113) 내부의 헬륨 가스 냉매에 배압(back pressure)을 형성한다.

[0042] 이에 따라, 헬륨 가스 냉매가 원심형 임펠러(246)를 통해 회전자 샤프트(240)에 도달하면 회전자 샤프트(240)와 일체로 결합된 회전자 본체(210)의 열(적색 곡선 화살표 참조)이 냉매와의 열교환을 통해 냉각된다. 이후 열교환에 의해 데워진 냉매는 다시 원심형 임펠러(246)와 경사형 요홈(113a) 사이의 틈새 및 상기 결합부간 갭(G)를 따라 냉각 헤드(111) 측으로 순환(적색 직선 화살표 참조)하는 과정에서 전도, 대류(對流) 및 복사(輻射)에 의한 열전달 과정을 거쳐서 냉각 헤드(111)에 의해 냉각된 후 방사상 유로공(114) 및 중앙 유로공(115)를 따라 순환(청색 화살표 참조)함으로써 전술한 과정이 반복된다. 그리고, 이러한 냉매 순환 과정은 회전자 본체(210)의 회전수가 증가할수록 촉진되어 초전도 전자석(220)에 충분한 전류가 흐르는 선순환 과정이 지속적으로 유지, 즉 초전도 회전자(220)의 온도가 정상 동작 온도인 30K로 유지된다.

[0043] 도 4 및 5는 각각 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 결합 상태의 상세 단면도 및 점선부의 확대 단면도인바, 도 1과 동일한 부분에는 동일한 참조번호를 부여하고 그 상세한 설명을 생략한다.

[0044] 도 4 및 도 5에서 참조번호 270은 회전자 하우징(230) 내부를 외부의 열로 부터 차단하기 위한 진공층을 나타낸다. 참조번호 280은 진공 단열의 회전자 하우징(230) 내부에서 회전자 본체(210)를 동축으로 지지해주고, 회전자 본체(210)가 발생시키는 토크를 외부로 전달하기 위한 토크 디스크(torque disk)로서, 열전달을 최소화하면서 금속만큼의 기계적 강성을 확보하기 위해서 유리섬유로 보강된 플라스틱계 복합재료로서, 경량, 내식성 및 고강도 등의 특성을 갖는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer) 소재로 이루어질 수 있다.

[0045] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 결합 상태의 사시도이고, 도 7은 도 6에 도시한 회전 장치의 분해 상태의 사시도이며, 도 8은 도 6에 도시한 회전 장치의 종단면 사시도이고, 도 9는 도 6에 도시한 회전 장치의 종단면도이며, 도 10은 도 6에서 열교환부의 단면 사시도이고, 도 11은 도 6에서 방사형 유로공과 중앙 유로공 부분을 절개하여 보인 단면 사시도이며, 도 12는 도 6에서 회전자 샤프트의 원심형 임펠러를 보인 단면 사시도로서 도 1 내지 도 5와 동일한 구성에는 동일한 참조번호를 부여하고 있다.

[0046] 이상 본 발명의 비접촉식 커플링 구조를 갖는 초전도 회전 장치의 다양한 실시예에 대해 상세하게 설명하였지만, 본 발명의 기술분야에서 통상의 지식을 가진 사람이라면 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함을 쉽게 알 수 있을 것이다.

[0047] 예를 들어, 정지부측 원통형 결합부와 냉각 유로 블록 사이의 간격을 전술한 결합부간 갭만큼의 간격으로 조정하고, 회전부측 원통형 결합부를 제거해도 될 것이다.

부호의 설명

[0048] 100: 정지부, 110: 열교환부,

111: 냉각 헤드, 112: 정지부측 원통형 결합부,

113: 냉각 유로 블록, 113a: 경사형 요홈,

114: 방사상 유로공, 115: 중앙 유로공,

120: 정지부측 진공관, 130: 커플링용 플랜지,

140: 오링, 150: 헬륨 가스 층,

200: 초전도 회전부,

210: 회전자 본체, 220: 초전도 전자석,

230: 회전자 하우징, 240: 회전자 샤프트,

242: 샤프트 본체, 244: 회전부측 원통형 결합부,

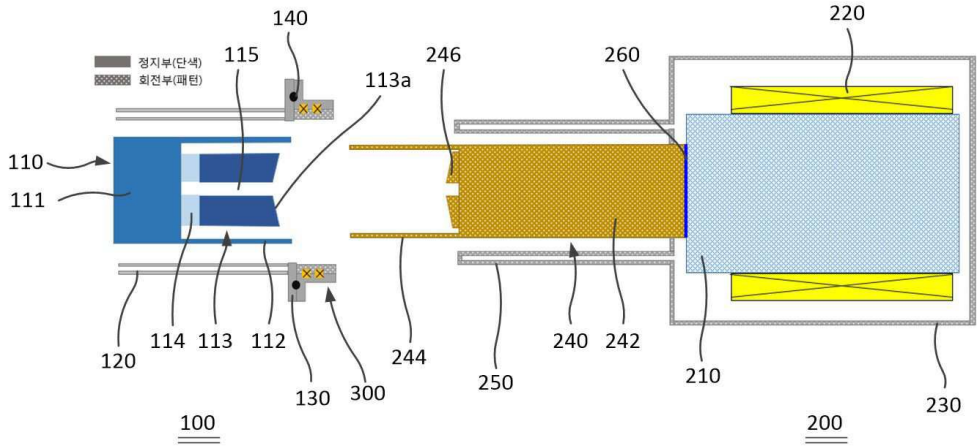
246: 원심형 임펠러, 250: 회전부측 진공관,

260: 열전달 시트, 270: 진공층,

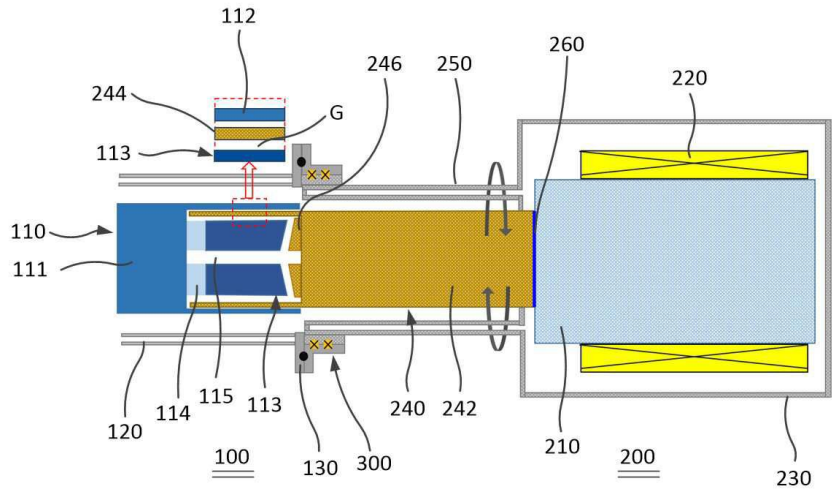
280: 토크 디스크, 300: 자성유체 씰

도면

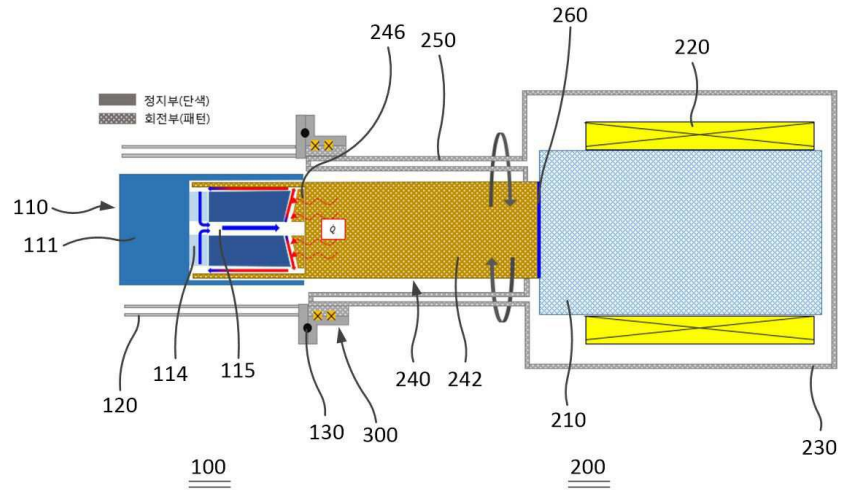
도면1



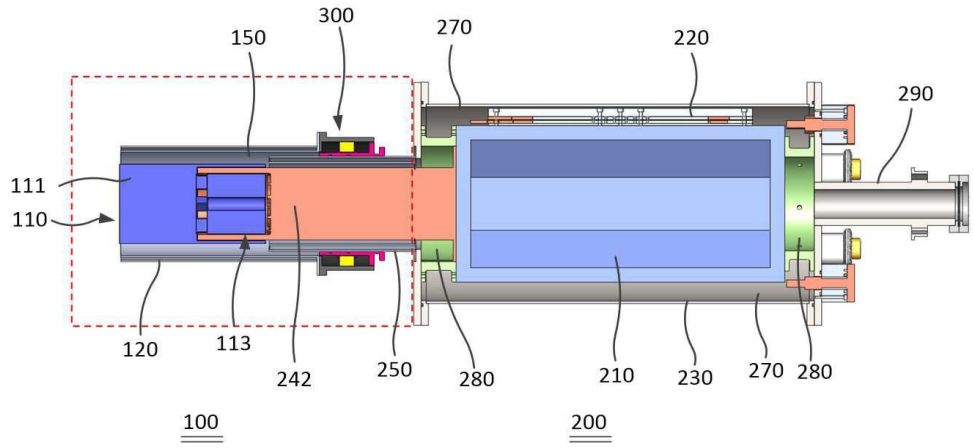
도면2



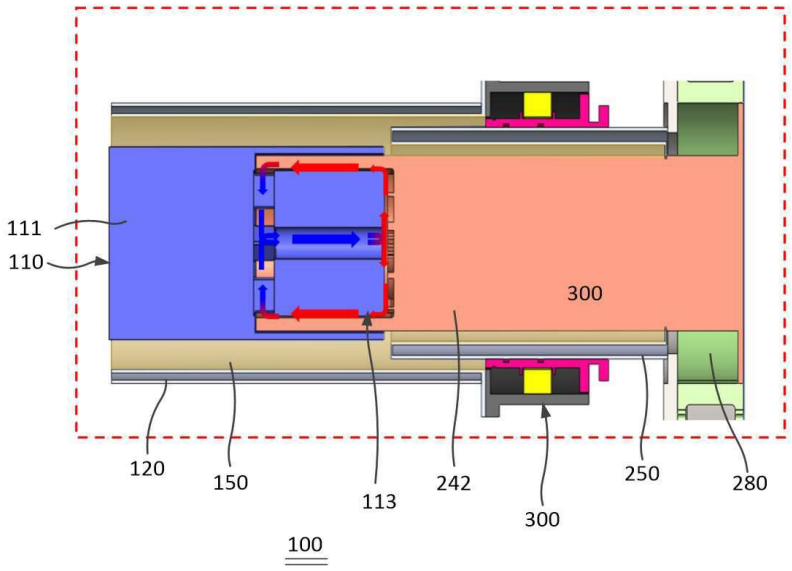
도면3



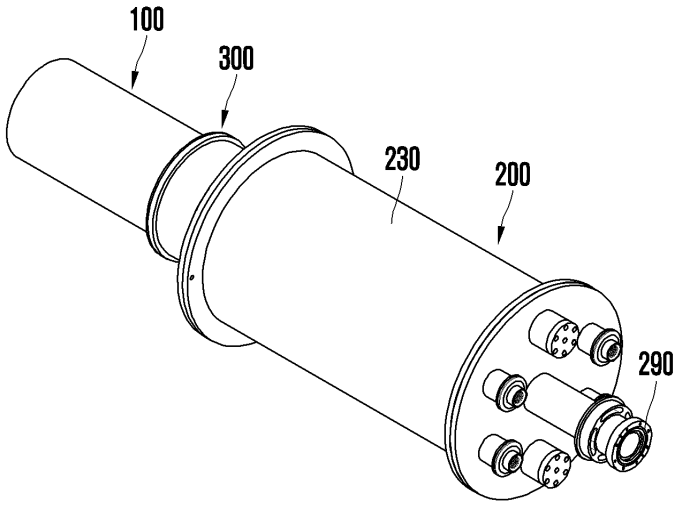
도면4


150
300
270
220
290
111
110
120
113
242
250
280
210
230
270
280
100
200

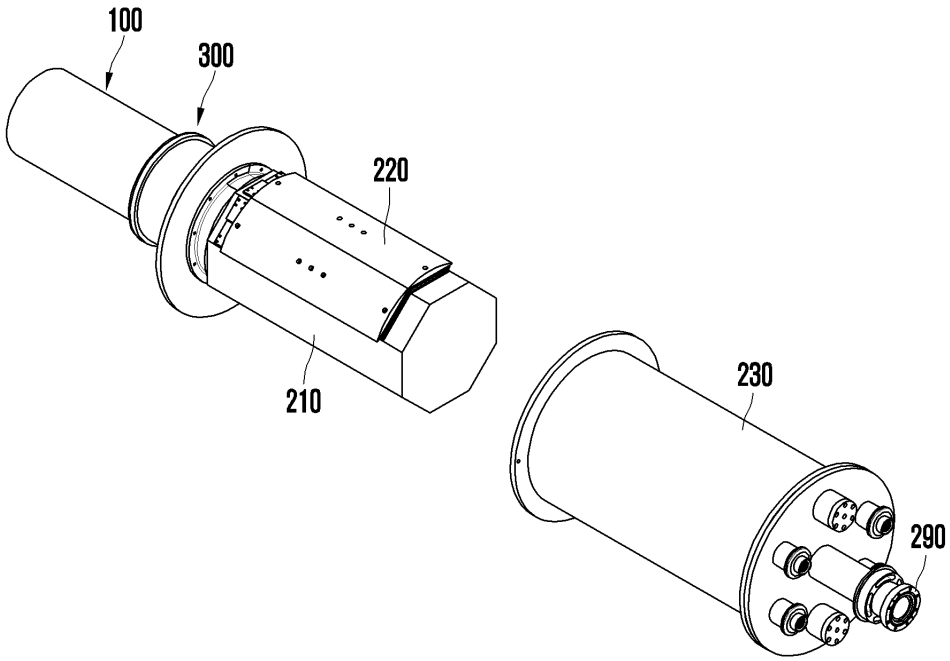
도면5


111
110
300
120
150
113
242
300
250
280
100

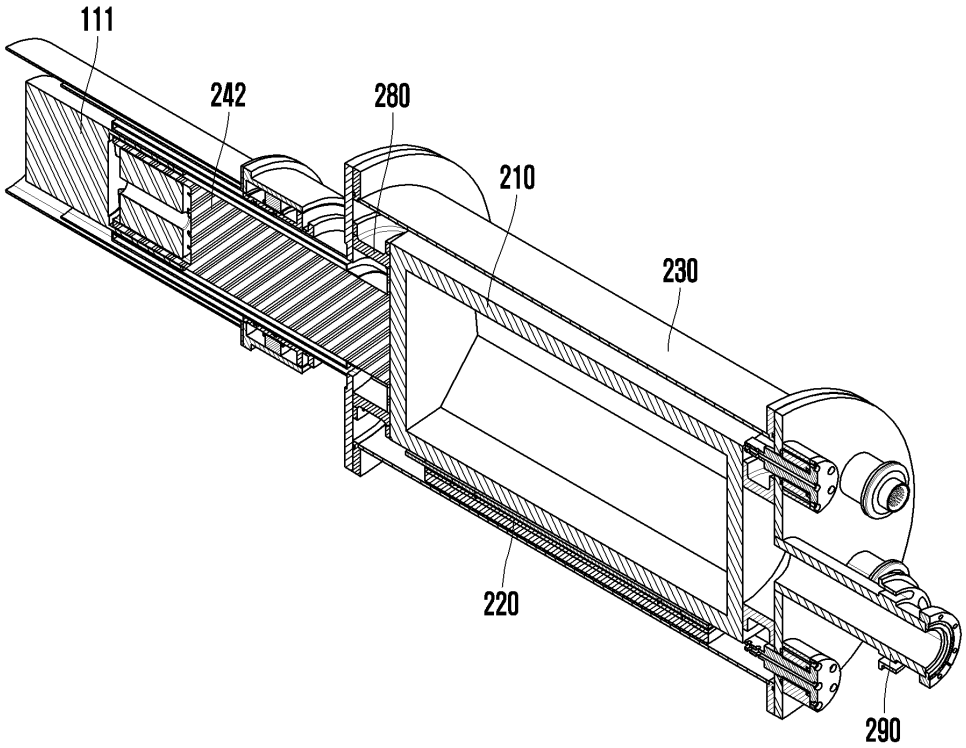
도면6



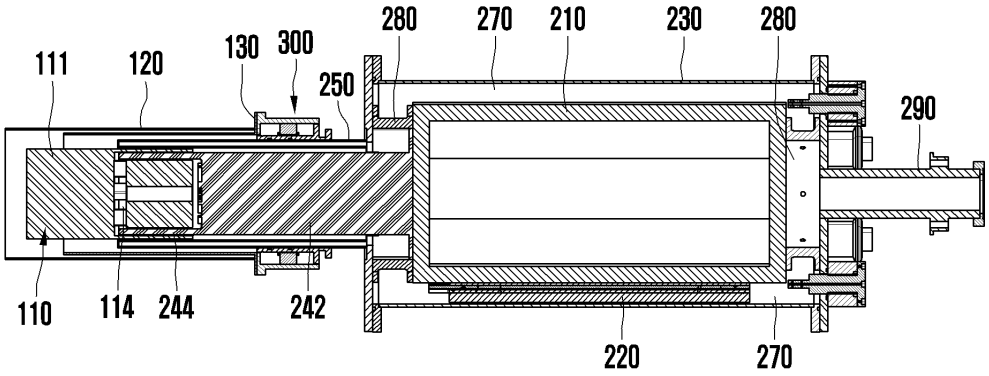
도면7



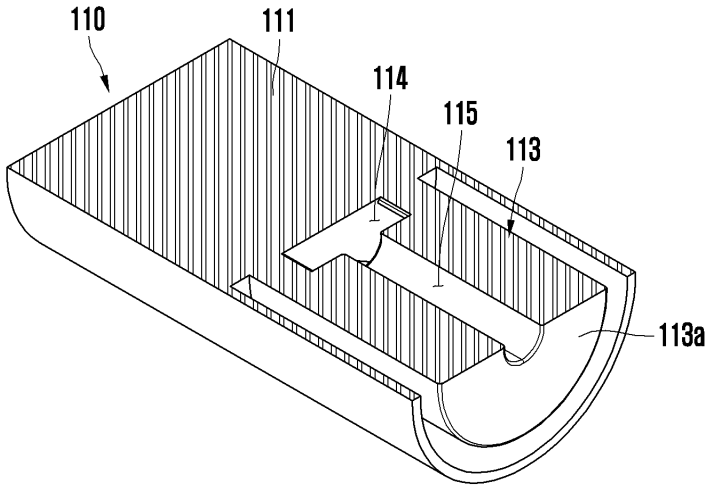
도면8


111
242
280
210
230
220
290

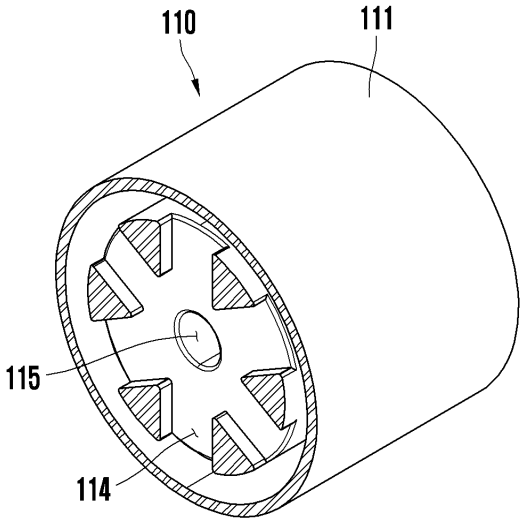
도면9


111
120
130
300
250
280
270
210
230
280
290
110
114
244
242
220
270

도면10



도면11



도면12

