



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0095720
(43) 공개일자 2011년08월25일

(51) Int. Cl.

F17C 3/08 (2006.01) *F17C 1/12* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0015339

(22) 출원일자 2010년02월19일

심사청구일자 2010년02월19일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

이해근

서울특별시 동대문구 장안동 371-1 삼성쉐르빌 오피스텔 548호

송정빈

서울특별시 강남구 청담동 127번지 연세빌라 B동 205호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인충현

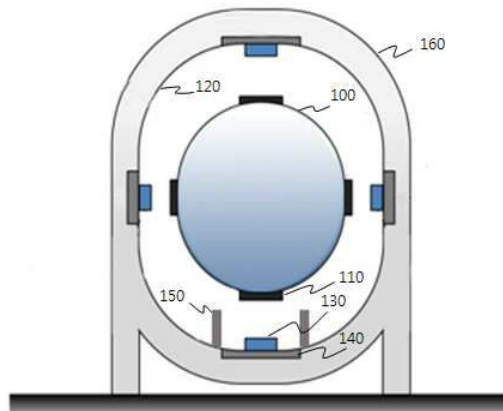
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 자기 부상력을 이용한 극저온 물질 저장 용기

(57) 요약

본 발명은 극저온 물질 저장 용기에 관한 것으로서 극저온 물질을 저장하고, 초전도체가 부착되어 있는 내부 용기와 내부 용기를 포함하고, 초전도체에 대응하는 자성체가 부착된 중간 용기를 포함하는 것을 특징으로 하며, 전도에 의한 열 침입을 배제시킴으로써, 저장 용기로 침투하는 전체 열 침입에 의한 손실을 최소화하고, 단열 성능이 우수한 극저온 물질 저장 용기를 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김광록

경기도 부천시 소사구 괴안동 삼익세라믹아파트
103동 805호

김경준

서울특별시 종로구 명륜동1가 38-6번지 304호

이중훈

서울특별시 동대문구 제기2동 휴먼플러스 610호

특허청구의 범위

청구항 1

극저온 물질을 저장하고, 초전도체가 부착되어 있는 내부 용기; 및

상기 내부 용기를 포함하고, 상기 초전도체에 대응하는 자성체가 부착된 중간 용기를 포함하는 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 초전도체는 고온 초전도체(high temperature superconductor, HTS)인 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 자성체는 영구자석 또는 전자석인 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 초전도체는 내부 용기의 외부면에 부착되고, 상기 자성체는 상기 중간 용기의 내부면에 부착되며, 상기 초전도체와 상기 자성체는 서로 대응하는 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 내부 용기와 상기 중간 용기 사이는 진공인 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 초전도체는 상기 극저온 물질이 저장되면, 초전도 상태가 되는 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 중간 용기 내벽에 설치되어, 상기 초전도체가 상전도 상태일 경우 상기 내부 용기를 지지하는 받침부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 중간 용기의 외벽에 상기 자성체에 대응하는 강자성체가 설치된 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 초전도체의 측방향의 길이는 상기 자성체의 측방향 길이보다 큰 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 내부 용기와 상기 중간 용기를 포함하는 외부 용기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 극저온 물질은 주로 액체헬륨, 고체헬륨, 액체수소, 고체수소, 액체네온, 고체네온, 액체산소, 고체산소, 액체질소, 고체질소, 액체아르곤, 고체아르곤, 또는 액화천연가스(liquefied natural gas, LNG) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 극저온 물질 저장 용기.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 극저온 물질 저장 용기에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 열 침입에 의한 손실을 최소화하는 극저온 물질 저장 용기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 수소는 대기압 하 20 K에서 액화된다. 액체 수소는 극히 증발하기 쉬워 취급하는데 주의해야 하고, 대기압 하 기체 수소에 비해 체적이 약 1/800으로 감소하며, 35 MPa 기체 수소의 약 3 배의 체적 에너지를 갖고 있다. 이 때문에 기체 수소에 비해 저장 및 수송성이 우수하고 장래의 수소에너지 사회의 유망한 수소 저장 및 수송 형태로서 기대되고 있다. 그러나 액체 수소의 제조는 액화에 많은 에너지를 필요로 하고 또한 비등점이 낮아 체적 당의 증발 잠열이 작기 때문에 증발하기 쉽다. 따라서 극저온 냉매를 저장하거나 수송할 때에 단열 성능이 우수한 용기가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 열 침입에 의한 손실을 최소화하고, 단열 성능이 우수한 극저온 물질 저장 용기를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0004] 본 발명은 상기 과제를 달성하기 위하여, 극저온 물질을 저장하고, 초전도체가 부착되어 있는 내부 용기; 및 상기 내부 용기를 포함하고, 상기 초전도체에 대응하는 자성체가 부착된 중간 용기를 포함하는 극저온 물질 저장 용기를 제공한다.

[0005] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 초전도체는 고온 초전도체(high temperature superconductor, HTS)이고, 상기 자성체는 영구자석 또는 전자석인 것이 바람직하다.

[0006] 상기 초전도체는 내부 용기의 외부면에 부착되고, 상기 자성체는 상기 중간 용기의 내부면에 부착되며, 상기 초전도체와 상기 자성체는 서로 대응하는 것이 바람직하다. 이때 자성체가 부착되는 중간 용기는 철과 같은 자기화율이 큰 강자성 재료로 만든 것이 바람직하다.

[0007] 또한, 상기 내부 용기와 상기 중간 용기 사이는 진공으로 할 수 있다.

[0008] 또한, 상기 초전도체는 상기 극저온 물질이 저장되면, 초전도 상태가 되는 것이 바람직하다.

[0009] 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 중간 용기 내벽에 설치되어, 상기 초전도체가 상전도 상태일 경우 상기 내부 용기를 지지하는 받침부를 더 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 중간 용기의 외벽에 상기 자성체에 대응하는 강자성체가 설치될 수 있으며, 상기 초전도체의 측방향의 길이는 상기 자성체의 측방향 길이보다 큰 것이 바람직하다.

[0011] 또한, 상기 내부 용기와 상기 중간 용기를 포함하는 외부 용기를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0012] 본 발명에 따르면, 기존의 내부 용기를 기계적으로 지지하던 버팀목을 없애고 이를 초전도체의 자기 부양력으로 대체함으로써, 전도에 의한 열 침입을 최소화할 수 있다. 또한, 본 발명에 따르면, 전체 열 침입을 1/2 이하로 감소시킬 수 있어 저장되어 있는 냉매(cryogen)의 손실이 줄어들기 때문에 액체 수소 관련 에너지 저장장치 및 극저온 액체 냉매 저장용기 사업과 같은 분야에서는 매우 유용하게 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기의 단면도를 나타낸 것이다.

도 2는 초전도체(110)가 상전도 상태일 경우와 초전도 상태일 경우 자성체(130)와의 거리를 나타낸 것이다.

도 3은 초전도체와 영구자석 한 쌍의 개략도를 나타낸 것이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기에서 내부 용기가 중간 용기 내에 부양되는 과정을 흐름도로 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 발명에 관한 구체적인 내용의 설명에 앞서 이해의 편의를 위해 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안의 개요 혹은 기술적 사상의 핵심을 우선 제시한다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기는 극저온 물질을 저장하고, 초전도체가 부착되어 있는 내부 용기와 내부 용기를 포함하고, 초전도체에 대응하는 자성체가 부착된 중간 용기를 포함한다.

[0016] 이하, 바람직한 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 그러나 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이에 의하여 제한되지 않는다는 것은 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 자명할 것이다. 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안을 명확하게 하기 위한 발명의 구성을 본 발명의 바람직한 실시예에 근거하여 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명하되, 도면의 구성요소들에 참조번호를 부여함에 있어서 동일 구성요소에 대해서는 비록 다른 도면상에 있더라도 동일 참조번호를 부여하였으며 당해 도면에 대한 설명시 필요한 경우 다른 도면의 구성요소를 인용할 수 있음을 미리 밝혀둔다. 아울러 본 발명과 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명 그리고 그 이외의 제반 사항이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 상세한 설명을 생략한다.

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기의 단면도를 나타낸 것이다.

[0018] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기는 내부 용기(100), 초전도체(110), 중간 용기(120), 자성체(130), 강자성체(140), 받침부(150), 및 외부 용기(160)로 구성된다.

[0019] 도 1에 도시된 극저온 물질 저장 용기는 액체 출입구와 기체 배출구를 포함하여 구성될 수 있으나 설명의 편의상 다른 세부적인 장치들은 생략하기로 한다.

[0020] 내부 용기(100)는 극저온 물질을 보관하고, 초전도체(110)가 부착되어 있는 용기이다.

[0021] 내부 용기(100)로 침입하는 열은 복사, 대류, 전도열의 3가지 종류가 있다. 기존의 액체 수소 저장 용기(storage dewar)의 경우, 전도의 의한 열 출입은 무려 전체 열의 1/3 정도 차지한다. 일반적으로 1000 L 액체 수소 저장 용기의 손실률은 -10 L/day이다. 내부 용기(100)가 자기적으로 부양되어 물리적인 접촉이 배제되면 전도에 의한 열 출입은 무시할 수 있다.

[0022] 내부 용기(100)는 길다란 구형체, 즉 타원 형상을 갖는 것이 바람직하나 이에 한정되지 않는다. 내부 용기(100)의 외벽 또는 내벽에 부착된 초전도체(110)가 내부 용기(100) 내부에 저장되는 극저온 물질에 의해 초전도 상태가 되면, 마주보는 자성체(130)와의 반발력으로 인해 부양상태가 된다.

[0023] 내부 용기(100)에 저장되는 바람직한 극저온 물질은 액체헬륨 또는 고체헬륨, 액체수소 또는 고체수소, 액체네온 또는 고체네온, 액체산소 또는 고체산소, 액체질소 또는 고체질소, 액체아르곤, 고체아르곤, 또는 액화천연가스(liquefied natural gas, LNG) 등을 포함한다. 극저온 물질의 임계 온도를 살펴보면, 액체 헬륨은 대기압 하 액화 온도가 4.2 K, 액체 네온은 27.1 K, 액체 질소는 77.4 K이다. 이와 같은 극저온 물질은 내부 용기(100)

0)에 저장 또는 보관되고, 동시에 초전도체(110)의 초전도성을 유지하도록 하는 역할을 한다.

- [0024] 한편, 내부 용기(100)에 저장되는 물질은 이에 한정되지 아니하며, 초전도체(110)가 초전도 상태로 만들 수 있는 극저온 물질이면 모두 가능할 것이다. 내부 용기(100)는 가장 안쪽에 위치한 구형체(inner elongated sphere, IES)로 나타나며, 저장하고자 하는 극저온 냉매(cryogen)로 채워지는 것이 바람직하다.
- [0025] 초전도체(110)는 내부 용기(100)에 부착되고, 외부 온도가 임계온도보다 낮아지는 경우 중간 용기(120)에 부착된 자성체(130)와 반발력을 갖는다. 자성체(130)와의 반발력은 내부용기(100)를 중간 용기(120)로부터 공간적으로 이격시키게 된다. 초전도체(110)의 일례로서 고온초전도체는 내부 용기(100)의 외벽에 부착된다. 내부 용기(100)에 극저온 물질이 저장되고, 극저온 물질에 의해 고온초전도체의 외부 온도가 극저온으로 낮아지게 되면, 고온초전도체는 초전도 상태가 되며, 이때 소위 마이스너효과로 인해 자성체(130)와의 반발력을 생성한다.
- [0026] 중간 용기(120)는 내부 용기(100)를 포함하고, 초전도체(110)에 대응하는 자성체(130)가 부착된 용기이다. 중간 용기(120) 역시 길다란 구형체(타원형)의 형상을 갖는 것이 바람직하나 이에 한정되지 않는다. 중간 용기(120)는 내부 용기(100)와 외부 용기(160)의 중간에 위치한 용기(middle elongated sphere, MES)로, 특정한 극저온의 온도로 유지되는 것이 바람직하다.
- [0027] 또한, 중간 용기(120)는 내부 용기(100)를 자기부양을 통해 지지하며 동시에 바깥 부분으로부터의 복사열을 차단하는 역할을 한다. 중간 용기(120)와 내부 용기(100) 사이의 공간은 진공상태로 유지하는 것이 바람직하며, 복사열을 최소화 하기 위한 단열 목적의 다른 물질을 채워 넣는 것도 가능할 것이다.
- [0028] 바람직하게는 내부 용기(100)의 외벽에는 초전도체(110)로서 고온초전도체를, 중간 용기(120)의 내벽에는 자성체(130)로서 영구자석을 부착한다. 영구자석은 중간 용기(120)의 반지름 방향으로 자기력을 생성하여 내부 용기(100)의 전체 무게를 지탱한다. 내부 용기(100)의 축 방향 반지름은 중간 용기(120)의 축 방향 반지름보다 짧으며, 중간 용기(120)의 축 방향 반지름은 외부 용기(160)의 축 방향 반지름보다 짧게 하여 내부 용기(100)의 축 방향 이동을 가능하게 한다.
- [0029] 자성체(130)는 중간 용기(120)의 내부에 부착되어 내부 용기(100)에 부착된 초전도체(110)와 반발력을 일으킨다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기의 초전도체(110)에는 디스크형 고온초전도체(high temperature superconductor, HTS)를 사용하고, 자성체(130)에는 디스크형 영구자석(permanent magnet, PM)를 사용하는 것이 바람직하다. 자성체(130)에 영구자석 외에도 전자석을 이용할 수도 있다. 영구자석은 중간 용기(120) 내벽에 부착되어 고온초전도체와 마주보도록 배치하는 것이 바람직하다.
- [0030] 강자성체(140)는 자성체(130)의 자기장을 강화시키는 물질이다. 강자성체(140)의 예로는 강철판을 들 수 있으며, 본 발명의 일 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기의 무게를 줄이기 위해서 강철판 대신 영구자석으로 대체할 수 있다.
- [0031] 받침부(150)는 내부 용기(100)에 부착된 초전도체(110)가 상전도 상태가 되어 자성체(130)와 초전도체(110)가 서로 반발력을 갖지 않게 될 때 내부 용기(100)를 받쳐준다.
- [0032] 외부 용기(160)는 내부 용기(110)와 중간 용기(120)를 포함하는 용기이다. 외부 용기는 본 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기의 가장 바깥쪽 구형체(outer elongated sphere, OES)를 형성하고 있으며, 전체 저장 용기를 기계적으로 보호한다.
- [0033] 도 2는 초전도체(110)가 상전도 상태일 경우와 초전도 상태일 경우 자성체(130)와의 거리를 나타낸 것이다. 도 2(a)는 초전도체(110)가 상전도 상태일 경우를 나타낸 것이고, 도 2(b)는 초전도 상태를 경우를 나타낸 것이다.
- [0034] 초전도체(110) 위에 자성체(130)가 안정되게 부양되는 현상은 자성체(130)와 초전도체(110)에서 발생된 자기장에 외력이 생성되어 나타난다.
- [0035] 도 2를 참조하면, 초기 상전도 상태인 초전도체(110)와 자성체(130) 사이에 외력을 발생시키기 위해 다음의 과정을 거친다.
- [0036] 자성체(130)를 마주본 채로 초전도체(110)를 거리 h_1 떨어진 상태로 고정한다. 이때의 초전도체(110)의 온도는 초전도체(110)의 임계온도보다 높으므로 상전도 상태이며, 기계적으로 거리를 고정할 것뿐, 자기부양의 의한 효과는 없는 상태이다.
- [0037] 이후 내부 용기(100)에 극저온 물질을 채워서 초전도체(110)를 초전도 상태로 만든다.

- [0038] 초전도 상태가 된 초전도체(110)로 인해 자기부양이 되며 초전도체(110)와 자성체(130) 사이의 간격은 h_i 에서 h_f 로 된다.
- [0039] 도 3은 한 쌍의 초전도체와 영구자석 개략도를 나타낸 것이다.
- [0040] 도 3을 참조하면, 초전도체가 상전도 상태인 경우 점선과 같이 기계적으로 고정된다. 내부 용기(100)에 극저온 물질을 채우게 되면 초전도체가 영구자석의 자기장에 노출된 채로 냉각되어(field cooled) 초전도 상태로 변이 되고 도 3의 솔리드 선의 위치에서 자기부양이 된다.
- [0041] 보다 바람직하게는 초전도체(110)가 영구자석보다 커서 측(lateral) 방향으로의 움직임이라도 자기부양을 유지 할 수 있도록 가능케 한다.
- [0042] 도 3에서 내부 용기(100)와 중간 용기(120)의 내부 모습을 나타내지 않았지만, 각각의 초전도체는 내부 용기(100) 외벽에 부착되며 영구자석은 중간 용기(120)의 내벽에 부착된다. 중간 용기(120)의 벽은 전도금속인 알루미늄이며 두께는 도 3에서 나타나는 δ_{md} 이다. 영구 자석의 뒤쪽, 중간 용기(120)의 외벽에는 영구 자석 지름의 3 배인 동그란 강철판(강자성체)을 부착하여 영구 자석의 자기장을 강화시킨다. 이때 철판의 투과율이 어느 정도 높은 값을 유지하기 위해선 두께가 충분히 두꺼워야 한다.
- [0043] 강철판을 부착함으로써 생기는 단점으로는 극저온 물질 저장 용기의 총 무게를 증가시킨다는 점인데, 만일 전체 무게를 가능한 최소한으로 해야 한다면 철판 대신 영구 자석을 부착할 수도 있다.
- [0044] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기에서 내부 용기가 중간 용기 내에 부양되는 과정을 흐름도로 나타낸 것이다.
- [0045] 410 단계에서 초전도체(110)를 자성체(130)와 일정한 거리에 고정한다. 초전도체(110)를 자성체(130)로부터 일정한 거리에 고정한다는 것은 내부 용기(100)를 자성체(130)로부터 일정한 거리에 고정한다는 것을 의미한다. 내부 용기(100)에 극저온 물질이 저장되어 있지 않을 때는 초전도체(110)가 상전도 상태로서, 초전도체(110)와 자성체(130) 사이에 부양력이 발생하지 않으므로, 기계적으로 내부 용기(100)를 고정할 필요가 있다. 일례로서, 받침부(150)를 내부 용기(100)의 아래에 설치함으로써, 부양력이 발생하지 않을 경우에는 내부 용기(100)가 받침부(150)에 의해 지지되도록 할 수 있다.
- [0046] 420 단계에서 내부 용기(100)에 극저온 물질을 넣는다. 내부 용기(100)에 저장 또는 보관되는 극저온 물질은 임계 온도에 따라 액체 헬륨(대기압 하 액화 온도 4.2 K), 액체 네온(27.1 K), 또는 액체 질소(77.4 K)와 같은 냉매가 사용될 수 있다.
- [0047] 430 단계에서 내부 용기에 부착된 초전도체가 초전도 상태로 변화한다.
- [0048] 440 단계에서 초전도체와 자성체 사이에 자기 부양력이 발생한다.
- [0049] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기를 제작하기 위해 자기 부양력을 계산하기로 한다.
- [0050] 회로 모델(Circuit model)을 통해서 초전도체(예를 들면, YBCO)와 영구자석 사이의 자기적 힘을 계산할 수 있다. YBCO와 영구자석을 링(ring)으로 모델링하면, 영구자석 링은 I_{pm} 의 전류(ampereian current)를 가지며, YBCO 링은 영구 자석 링과 강철판 링(I_{ss})에 의해 생기는 쇄교 자속(flux linkage)의 변화로 인해 유도되는 전류를 가진다.
- [0051] 이상적인 강자성체의 경우 $\mu \gg \mu_0$ 이며 I_{ss} 는 I_{pm} 와 같다. 실제 강철판의 경우 자속 밀도(flux density)와 함께 μ 가 감소하여 I_{ss} 값은 I_{pm} 보다 작게 된다. I_{pm} 및 I_{ss} 와 시스템의 모든 크기를 안다면 YBCO 링과 영구자석 링의 상호 인덕턴스 변화값(ΔM_{yp}), YBCO 링과 강철판 링의 상호 인덕턴스 변화값 (ΔM_{ys})을 통해서 I_{yb} 를 구하면 수학적 식 1과 같다.

수학식 1

$$I_{yb} = \frac{\Delta M_{yp}}{L_{yb}} I_{pm} + \frac{\Delta M_{ys}}{L_{yb}} I_{ss}$$

[0052]

[0053]

이때, I_{yb} 는 YBCO 링을 흐르는 전류를 의미하고, L_{yb} 은 YBCO 링의 자체 인덕턴스이다. ΔM_{yp} , ΔM_{ys} 는 표준 전자기 코드(standard electromagnetic code)를 통해서 계산할 수 있다. I_{yb} 가 구해진다면 YBCO 디스크에 미치는 부양력(levitation force)는 다음의 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$F_{lv} = \pi D_{yb} I_{yb} B_r$$

[0054]

[0055]

이때, B_r 은 영구 자석 링과 강철판 링에 의해서 발생된 방사 방향 필드(radial field)이다.

[0056]

본 발명의 제 1 실시예에 따른 극저온 물질 저장 용기로서, 자기부양을 이용한 1200 L 액체 수소 저장 용기는 다음과 같이 제작될 수 있다.

[0057]

내부 용기(100)의 전체 부피는 1250L이고, 반경 62 cm, 수직단면으로 21 cm라고 가정한다.

[0058]

내부 용기(100)를 두께 1/4 inch의 알루미늄으로 만든다고 가정하면, 무게는 97 kg이다. 액체 수소 1000 L의 무게는 72 kg이며 전체 무게는 169 kg이 된다. 그리고 YBCO 디스크의 무게 31 kg를 추가한다. YBCO 디스크의 무게는 실제 부양의 경우를 고려하여 무게를 재검토할 것이다. 따라서 내부 용기(100)를 지지하는데 필요한 전체 부양력은 2000 N이다.

[0059]

도 3을 참조하면, 영구 자석 디스크는 $D_{pm} = 25.4 \text{ mm}(1 \text{ inch})$, $\delta_{pm} = 4.76 \text{ mm}(3/16 \text{ inch})$, $I_{pm} = 16,500 \text{ A}$ 이면 평균 자기 유도(average magnetic induction) B 는 1.2 T가 되며 이는 전형적인 Nd-Fe-B 영구자석의 값이다.

[0060]

YBCO 디스크는 $D_{yp} = 50.8 \text{ mm}(2 \text{ inch})$, $\delta_{yb} = 6.35 \text{ mm}(1/4 \text{ inch})$ 이고, 중간 용기(120)의 두께는 $\delta_{md} = 6.35 \text{ mm}(1/4 \text{ inch})$ 이다.

[0061]

강철판은 $D_{ss} = 76.2 \text{ mm}(3 \text{ inch})$, $\delta_{ss} = 3.175 \text{ mm}(1/8 \text{ inch})$ 이고, $I_{ss} = 11,300 \text{ A}$ 값은 I_{pm} 값의 2/3이며 강철판에서 생성된 자속(flux) 모두 YBCO가 존재하는 영역으로 침투하지는 못한다.

[0062]

이상의 내용을 바탕으로 내부 용기(100)의 무게와 내부 용기(100)에 가해지는 자기력을 산출하여 내부 용기(100)를 부양하기 위한 YBCO 디스크의 개수를 산출하기로 한다.

[0063]

제 1 실시예로서 초전도체(110)와 자성체(130) 간의 최종 거리 h_f 가 5 mm인 경우를 살펴보기로 한다.

[0064]

YBCO 디스크와 영구 자석 사이의 거리는 $h_f = 5 \text{ mm}$, $h_i = 20 \text{ mm}$ 이다. 표준 전자기 코드에 의해 계산된 값은 $\Delta M_{yp} = 6.16 \text{ nH}$, $\Delta M_{ys} = 2.49 \text{ nH}$ 이다. $L_{yb} = 32.36 \text{ nH}$, $I_{pm} = 16,500 \text{ A}$, $I_{ss} = 11,300 \text{ A}$ 이라면, 수학식 1에 의해 $I_{yb} = 4015 \text{ A}$ 이다. YBCO 링이 초전도 상태가 되어 $h_f = 5 \text{ mm}$ 의 높이에 위치하면 영구 자석 링과 강철판 링에 의해 발생한 자기 유도의 방사 방향 성분(radial component of magnetic induction)의 값은 0.263 T이다. $D_{yb} = 25.4 \times 10^{-3} \text{ m}$, $I_{yb} = 4,015 \text{ A}$, $B_r = 0.263 \text{ T}$ 이므로 수학식 2에 의해 YBCO 링에 가해지는 부양력(levitation force) F_{yb} 은 84 N 이다. $F_{cb} = 2,000 \text{ N}$ 이므로 YBCO 링은 24 개 필요하다.

[0065]

제 2 실시예로서 초전도체(110)와 자성체(130) 간의 최종 거리 h_f 가 10 mm인 경우를 살펴보기로 한다.

[0066]

YBCO 디스크와 영구 자석 사이의 거리는 $h_f = 10 \text{ mm}$, $h_i = 30 \text{ mm}$ 으로, 최종거리가 제 1 실시예의 2배이다. 이 경

우, $\Delta M_{yp} = 3.21 \text{ nH}$, $\Delta M_{ys} = 1.44 \text{ nH}$ 이다. $L_{yb} = 32.36 \text{ nH}$, $I_{pm} = 16,500 \text{ A}$, $I_{ss} = 11,300 \text{ A}$ 이라면 수학적 식 1에 의해 $I_{yb} = 2143 \text{ A}$ 이다. YBCO 링이 초전도 상태가 되어 $h_f = 10 \text{ mm}$ 의 높이에 위치하면 영구 자석 링과 강철판 링에 의해 발생한 자기 유도의 방사 방향 성분의 값은 0.129 T 로 YBCO 링에 가해지는 부양력 F_{yb} 은 22 N 이다. 따라서 YBCO 링은 91 개 필요하다.

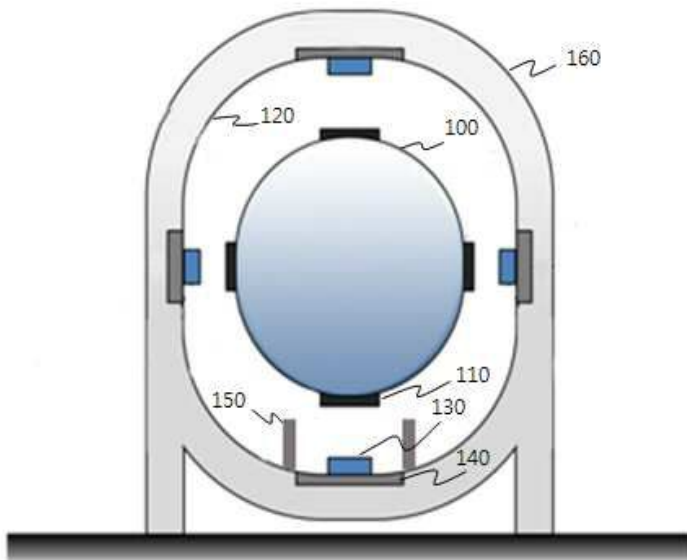
[0067] 한편, 내부 용기(100)와 중간 용기(120) 사이에 놓여진 YBCO 링과 영구 자석으로 인해 발생하는 측(lateral) 방향의 자기력을 살펴보기로 한다. YBCO 링과 영구 자석 사이의 거리는 $h_f = 5 \text{ mm}$, $h_i = 15 \text{ mm}$ 이다. 이 경우, $\Delta M_{yp} = 2.21 \text{ nH}$, $\Delta M_{ys} = 0.91 \text{ nH}$ 이다. $L_{yb} = 32.36 \text{ nH}$, $I_{pm} = 16,500 \text{ A}$, $I_{ss} = 11,300 \text{ A}$ 이라면 수학적 식 1에 의해 $I_{yb} = 1443 \text{ A}$ 이다. YBCO 링이 초전도 상태가 되어 $h_f = 5 \text{ mm}$ 의 높이에 위치하면 영구 자석 링과 강철판 링에 의해 발생한 자기 유도의 방사 방향 성분의 값은 0.259 T 로 YBCO 링에 가해지는 부양력인 F_{yb} 은 30 N 이다.

[0068] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

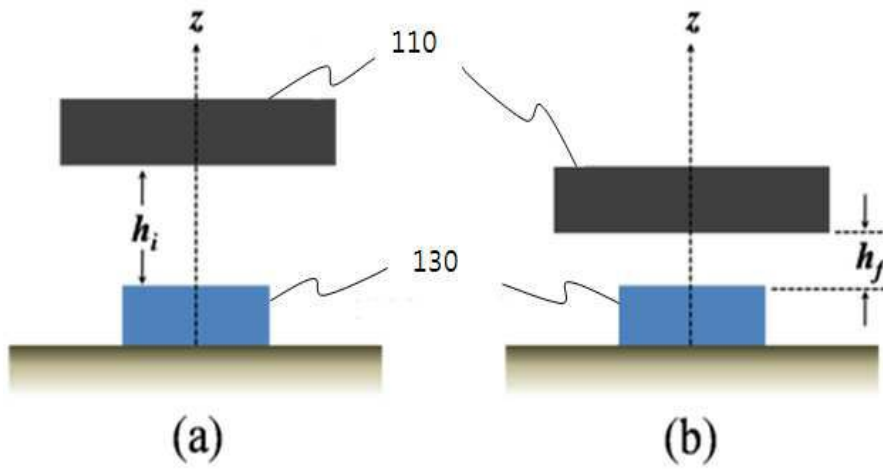
[0069] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

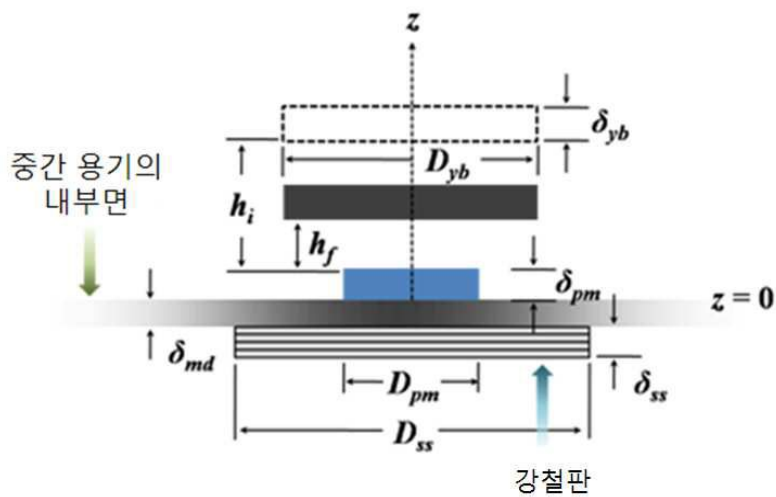
도면1



도면2



도면3



도면4

