(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0077774
(43) 공개일자 2023년06월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F04B 15/06 (2006.01) *F04B 15/08* (2006.01)
F04B 53/10 (2006.01) *F04B 53/14* (2006.01)
F04B 53/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F04B 15/06 (2013.01)
F04B 53/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0164165
(22) 출원일자 2021년11월25일
심사청구일자 2021년11월25일

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
함영복
대전광역시 유성구 가정로 43(신성동, 한울아파트)
안병철
대전광역시 유성구 신성남로95번길
(74) 대리인
특허법인 플러스

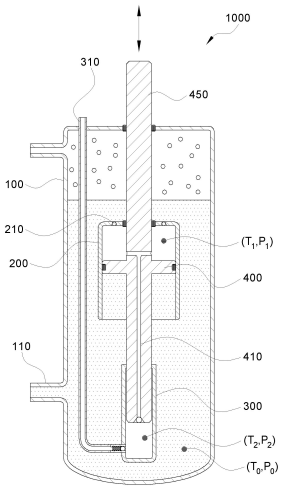
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **펌핑챔버 과냉화구조를 갖는 극저온 액체 왕복동 펌프**

(57) 요 약

본 발명은 펌핑챔버 과냉화구조를 갖는 극저온 액체 왕복동 펌프에 관한 것이다. 본 발명의 목적은 펌핑챔버 내부 액화수소 펌핑시 필연적으로 발생된 열이 펌핑챔버 외부 액화수소의 냉열엑서지를 흡입함으로써 제거됨에 따라 과냉(subcooled) 상태의 액화수소가 되게 함으로써 기화가 발생하지 않게 하여, 궁극적으로는 기화가스(boil-off gas) 발생문제를 해소하여 고압토출이 가능하게 하는, 펌핑챔버 과냉화구조를 갖는 극저온 액체 왕복동 펌프를 제공함에 있다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
F04B 53/14 (2013.01)
F04B 53/16 (2013.01)
F04B 2015/0822 (2013.01)
F17C 2227/0142 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415174318
과제번호 NE7360
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원
연구사업명 산업부-국가연구개발사업(V)
연구과제명 액화수소 충전소용 100 kg/h, 90MPa급 극저온 왕복동 펌프 개발 (1/5)
기 여 율 80/100
과제수행기관명 한국기계연구원
연구기간 2020.10.01 ~ 2021.03.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 231
과제번호 NK231B
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국기계연구원
연구사업명 주요사업
연구과제명 액체수소 공급시스템 핵심 기자재 개발(2-1) (1/5)
기 여 율 20/100
과제수행기관명 한국기계연구원
연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

대상액체가 유입되는 흡입구가 형성되는 펌프하우징;

상기 펌프하우징 내에 배치되며, 내부공간이 하기 피스톤에 의해 상부공간 및 하부공간으로 격리 형성되고, 상기 펌프하우징에 수용된 대상액체를 상부공간으로 흡입 수용하여 1차 가압하는 흡입챔버;

상기 펌프하우징 내 상기 흡입챔버 하부에 배치되며, 내부공간이 하기 피스톤로드에 형성된 연통로에 의해 상기 흡입챔버 상부공간과 연통되도록 형성되고, 상기 흡입챔버에서 가압된 대상액체를 전달받아 2차 가압하여 배출구를 통해 배출하는 배출챔버;

상기 흡입챔버 및 상기 배출챔버 내의 대상액체를 가압하기 위한 피스톤로드 및 피스톤;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 왕복동 펌프.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 왕복동 펌프는,

상기 피스톤로드 하강 시에 상기 흡입챔버 상부공간으로 흡입된 대상액체가, 상기 피스톤로드 상승 시 상기 흡입챔버 외부의 대상액체의 냉열엑서지를 흡수함으로써 과냉상태가 됨에 따라 기화가스(boil-off gas) 발생이 억제되도록 형성되는 것을 특징으로 하는 왕복동 펌프.

청구항 3

제 2항에 있어서, 상기 왕복동 펌프는,

상기 흡입챔버 외부의 냉열엑서지 양이 확보되도록,

상기 펌프하우징 내에 수용된 대상액체에 상기 흡입챔버 및 상기 배출챔버가 모두 잠겨있도록 형성되는 것을 특징으로 하는 왕복동 펌프.

청구항 4

제 2항에 있어서, 상기 왕복동 펌프는,

상기 흡입챔버 외부의 냉열엑서지 양이 확보되도록,

상기 펌프하우징 내 대상액체 온도를 T_0, 압력을 P_0이라 하고,

상기 흡입챔버 상부공간 내 대상액체 온도를 T_1, 압력을 P_1이라 하고,

상기 배출챔버 내 대상액체 온도를 T_2, 압력을 P_2라 하고,

대상액체의 P_1에서의 끓는점을 T_b라 할 때,

상기 피스톤로드 상승 시 대상액체의 압력 및 온도가 하기의 식과 같은 관계를 형성하도록,

상기 펌프하우징 내에 수용된 대상액체 부피와 상기 흡입챔버 상부공간 및 상기 배출챔버 내에 수용된 대상액체 부피가 결정되는 것을 특징으로 하는 왕복동 펌프.

(압력관계식) $P_1 > P_0$, $P_2 = P_1$

(온도관계식) $T_b \geq T_1 \geq T_0$, $T_2 = T_1$

청구항 5

제 2항에 있어서, 상기 왕복동 펌프는,

상기 흡입챔버 외부의 냉열엑서지 흡수시간이 확보되도록,

왕복동속도가 0.5~1.5Hz 범위 내의 값으로 저속구동되는 것을 특징으로 하는 왕복동 펌프.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 흡입챔버는,

상부에 복수 개의 흡입체크밸브가 구비되되,

상기 흡입체크밸브는 상기 피스톤로드 하강 시 대상액체가 상기 흡입챔버의 상부공간으로 이동하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 왕복동 펌프.

청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 흡입챔버는,

하부가 개방된 형태로 형성되는 것을 특징으로 하는 왕복동 펌프.

청구항 8

제 1항에 있어서, 상기 왕복동 펌프는,

대상액체가 액화수소인 것을 특징으로 하는 왕복동 펌프.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 극저온 액체를 가압하기 위한 왕복동 펌프에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 펌핑챔버 과냉화구조를 갖는 극저온 액체 왕복동 펌프에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 기후환경 변화에 대응하기 위해 대체 에너지에 관한 연구 및 개발이 활발히 이루어지면서 수소 에너지를 이용한 발전 및 수소 연료전지 차량에 대한 관심이 지속적으로 높아져왔다. 수소 연료를 사용하기 위해서는 수소를 보관하고 필요시 활용할 수 있도록 충전해주는 충전 인프라 구축이 필수적이며, 이때 극저온의 액체 상태로 저장된 액화수소를 가압하여 충전하기 위한 펌프가 필수적으로 요구된다.

[0003] 기존에는 수소충전소에서 기체 형태로 된 수소를 사용하였으나, 저장효율을 향상시키기 위해서 최근 액체 형태로 된 수소를 사용하는 것으로 전환하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 기존의 기체수소충전소를 액화수소충전소로 전환하기 위해서는 약 90MPa급 고압토출이 가능한 극저온 액체 왕복동 펌프가 필요하지만, 액화수소의 기화가스로 인하여 이러한 고압토출이 어려운 실정이다.

[0004] 이에 대하여 보다 상세히 설명하면 다음과 같다. 도 1은 일반적인 극저온 액화가스 왕복동 펌프의 흡입/토출공

정의 개념도이다. 도 1의 (a)와 같은 흡입 시에는, 상측도면에 도시된 바와 같이 피스톤(1)이 외측으로 빠지면서 흡입밸브(2)가 열려 챔버 내로 액화가스가 흡입된다. 이 때 흡입밸브(2)가 위치하는 부분에서는 양쪽이 모두 액화가스가 채워져 있기 때문에 흡입밸브(2)로는 기체가 유입될 여지가 전혀 없이 100% 액화가스만 흡입될 수 있다. 한편 도 1의 (b)와 같은 토출 시에는, 하측도면에 도시된 바와 같이 피스톤(1)이 내측으로 밀리면서 토출밸브(3)가 열려 챔버 내의 액화가스가 토출된다. 그런데 이 때, 피스톤(1)이 챔버 내벽과 마찰하면서 발생되는 마찰발열, 토출밸브(3)가 열림으로서 발생되는 외열침입, 챔버 내 액화가스가 압축되면서 발생되는 압축발열 등의 영향으로 인하여, 원래 챔버 내에 액화가스만이 꽉 차 있는 상태였다 하더라도 발열에 의한 기화가스가 필연적으로 발생하게 된다. 이에 따라 기체의 체적탄성으로 인해 토출성능이 저하되어, 고압토출이 어려워지게 되는 원인이 된다.

[0005] 액체 왕복동 펌프에서 기체가 유입되거나 발생되면 기체의 체적탄성으로 인하여 펌핑챔버 내부에서 압축/팽창이 반복됨으로써 고압토출이 불가능하다는 점은 잘 알려진 사실이다. 일반적인 극저온 액화가스 왕복동 펌프의 설치는 EIGA(European Industrial Gases Association) Doc. 159(https://www.eiga.eu/publications/eiga-documents/doc-15914-reciprocating-cryogenic-pumps-and-pump-installations/) 문서를 따르지만, 액화가스 중에서도 액화수소는 특히 낮은 끓는점으로 인해 펌핑챔버 내에서 매우 다량의 기화가스(boil-off gas)가 발생하여 가압이 불가능하며, 이에 따라 예외사항으로 취급되어 별도의 메커니즘이 필요하다.

[0006] 종래에도 극저온 액화수소 왕복동 고압펌프에서의 기화가스 다량발생 문제를 해결하기 위해 다양한 시도가 이루어져 왔다. 미국특허등록 제6722866호("Pump system for delivering cryogenic liquids", 2004.04.20.)에서는 열적가교를 최소화하고 이중가압을 하는 구조를 도입하였으며, 미국특허공개 제2015-0013351호("CRYOGENIC PUMPS", 2015.01.15.)에서는 외부에 액화질소 순환재킷을 열적 앵커(heat anchor)로 사용하여 외부와의 온도차를 줄이고자 하였다. 또는 Cryostar사의 상용화제품에서는 진공단열챔버의 부피를 키워 사용하고 있다. 그런데 이와 같은 종래기술들은 모두 액화수소의 기화속도(boil-off rate)를 느리게 만드는 '단열'에 의미를 두고 있기 때문에, 기화를 줄일 수는 있어도 원천적인 제거는 불가능하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 미국특허등록 제6722866호("Pump system for delivering cryogenic liquids", 2004.04.20.)

(특허문헌 0002) 미국특허공개 제2015-0013351호("CRYOGENIC PUMPS", 2015.01.15.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 펌핑챔버 내부 액화수소 펌핑시 필연적으로 발생된 열이 펌핑챔버 외부 액화수소의 냉열엑서지를 흡입함으로써 제거됨에 따라 과냉(subcooled) 상태의 액화수소가 되게 함으로써 기화가 발생하지 않게 하여, 궁극적으로는 기화가스(boil-off gas) 발생문제를 해소하여 고압토출이 가능하게 하는, 펌핑챔버 과냉화구조를 갖는 극저온 액체 왕복동 펌프를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 펌핑챔버 과냉화구조를 갖는 극저온 액체 왕복동 펌프(1000)는, 대상액체가 유입되는 흡입구(110)가 형성되는 펌프하우징(100); 상기 펌프하우징(100) 내에 배치되며, 내부공간이 하기 피스톤(400)에 의해 상부공간 및 하부공간으로 격리 형성되고, 상기 펌프하우징(100)에 수용된 대상액체를 상부공간으로 흡입 수용하여 1차 가압하는 흡입챔버(200); 상기 펌프하우징(100) 내 상기 흡입챔버(200) 하부에 배치되며, 내부공간이 하기 피스톤로드(450)에 형성된 연통로(410)에 의해 상기 흡입챔버(200) 상부공간과 연통되도록 형성되고, 상기 흡입챔버(200)에서 가압된 대상액체를 전달받아 2차 가압하여 배출구(310)를 통해 배출하는 배출챔버(300); 상기 흡입챔버(200) 및 상기 배출챔버(300) 내의 대상액체를 가압하기 위한 피스톤로드(450) 및 피스톤(400); 을 포함할 수 있다.

[0010] 이 때 상기 왕복동 펌프(1000)는, 상기 피스톤로드(450) 하강 시에 상기 흡입챔버(200) 상부공간으로 흡입된 대

상액체가, 상기 피스톤로드(450) 상승 시 상기 흡입챔버(200) 외부의 대상액체의 냉열엑서지를 흡수함으로써 과냉상태가 됨에 따라 기화가스(boil-off gas) 발생이 억제되도록 형성될 수 있다.

[0011] 또한 상기 왕복동 펌프(1000)는, 상기 흡입챔버(200) 외부의 냉열엑서지 양이 확보되도록, 상기 펌프하우징(100) 내에 수용된 대상액체에 상기 흡입챔버(200) 및 상기 배출챔버(300)가 모두 잠겨있도록 형성될 수 있다.

[0012] 또한 상기 왕복동 펌프(1000)는, 상기 흡입챔버(200) 외부의 냉열엑서지 양이 확보되도록, 상기 펌프하우징(100) 내 대상액체 온도를 T_0, 압력을 P_0이라 하고, 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내 대상액체 온도를 T_1, 압력을 P_1이라 하고, 상기 배출챔버(300) 내 대상액체 온도를 T_2, 압력을 P_2라 하고, 대상액체의 P_1에서의 끓는점을 T_b라 할 때, 상기 피스톤로드(450) 상승 시 대상액체의 압력 및 온도가 하기의 식과 같은 관계를 형성하도록, 상기 펌프하우징(100) 내에 수용된 대상액체 부피와 상기 흡입챔버(200) 상부공간 및 상기 배출챔버(300) 내에 수용된 대상액체 부피가 결정될 수 있다.

[0013] (압력관계식) $P_1 > P_0$, $P_2 = P_1$

[0014] (온도관계식) $T_b \geq T_1 \geq T_0$, $T_2 = T_1$

[0015] 또한 상기 왕복동 펌프(1000)는, 상기 흡입챔버(200) 외부의 냉열엑서지 흡수시간이 확보되도록, 왕복동속도가 0.5~1.5Hz 범위 내의 값으로 저속구동될 수 있다.

[0016] 또한 상기 흡입챔버(200)는, 상부에 복수 개의 흡입체크밸브(210)가 구비되되, 상기 흡입체크밸브(210)는 상기 피스톤로드(450) 하강 시 대상액체가 상기 흡입챔버(200)의 상부공간으로 이동하도록 형성될 수 있다.

[0017] 또한 상기 흡입챔버(200)는, 하부가 개방된 형태로 형성될 수 있다.

[0018] 또한 상기 왕복동 펌프(1000)는, 대상액체가 액화수소일 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 의하면, 펌핑챔버 내부 액화수소 펌핑시 필연적으로 발생된 열이 펌핑챔버 외부 액화수소의 냉열엑서지를 흡입함으로써 제거됨에 따라 과냉(subcooled) 상태의 액화수소가 되게 함으로써 기화가 발생하지 않게 하여, 기화가스(boil-off gas) 발생원인을 원천적으로 제거하는 큰 효과가 있다. 따라서 본 발명에 의하면 기화가스가 완전히 발생하지 않도록 할 수 있으므로, 기화가스에 의해 발생하는 체적탄성으로 인한 압력향상 제한문제를 원천적으로 해소할 수 있는 효과가 있다. 이에 따라 궁극적으로는, 본 발명에 의하면, 액화수소충전소에서 사용하기 적절한 90MPa 수준의 고압토출이 가능하게 하여, 기존의 기화수소충전소를 액화수소충전소로 원활하게 전환할 수 있게 해 주는 큰 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 일반적인 극저온 액화가스 왕복동 펌프의 흡입/토출공정의 개념도.

도 2는 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 최초상태.

도 3은 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 하강상태.

도 4는 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 상승중상태.

도 5는 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 상승완료상태.

도 6은 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 1펌핑주기 완료 후 하강상태.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 펌핑챔버 과냉화구조를 갖는 극저온 액체 왕복동 펌프를 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.

[0022] 먼저 본 발명의 왕복동 펌프(1000)의 구성을 설명하면 다음과 같다. 도 2는 본 발명의 왕복동 펌프(1000)의 개념도이자 최초상태를 도시한 것으로, 도시된 바와 같이 본 발명의 왕복동 펌프(1000)는, 기본적으로 펌프하우징(100), 흡입챔버(200), 배출챔버(300), 피스톤(400) 및 피스톤로드(450)를 포함한다.

[0023] 상기 펌프하우징(100)은 대상액체를 유입하여 수용하는 역할을 하는데, 이를 위하여 상기 펌프하우징(100)에는 일측에 도시된 바와 같이 대상액체가 유입되는 흡입구(110)가 형성된다. 앞서 설명한 바와 같이 일반적인 액화가스용 왕복동 펌프의 경우 EIGA Doc. 159 문서를 따르지만, 액화가스 중에서도 액화수소는 특히 낮은 끓는점으로 인해 펌핑챔버 내에서 매우 다량의 기화가스(boil-off gas)가 발생하여 가압이 불가능하여 예외사항으로 취급되는 바, 본 발명에서의 대상액체는 액화수소인 것이 바람직하다. 물론 본 발명에서의 대상액체가 단지 액화수소만으로 한정되는 것은 아니며, 액화수소 외에도 액화질소, 액화산소 등과 같은 극저온상태의 액체에 모두 적용가능하다. 부연하자면, 최초에 상기 펌프하우징(100) 내 공간 전체에 대상액체를 완전히 꽉 채웠다 하더라도, 다양한 원인으로 열이 발생함에 따라 대상액체가 기화되어 생성된 기화가스(boil-off gas)가 도면에 도시된 바와 같이 약간의 공간을 차지하게 된다. 이러한 기화가스가 차지하는 공간이 과도하게 커지면 펌프동작이 원활하게 이루어지지 못할 수 있으므로, 도시된 바와 같이 상기 펌프하우징(100) 상측에 적절한 시기에 가스를 배출할 수 있도록 하는 가스리턴라인이 구비되어 있는 것이 바람직하다.

[0024] 상기 흡입챔버(200)는 상기 펌프하우징(100) 내에 배치되며, 상기 펌프하우징(100)에 수용된 대상액체를 상부공간으로 흡입 수용하여 1차 가압하는 역할을 한다. 이러한 동작을 수행하기 위하여 상기 흡입챔버(200)는 도시된 바와 같이 그 내부공간이 상기 피스톤(400)에 의해 상부공간 및 하부공간으로 격리 형성되며, 상부에 복수 개의 흡입체크밸브(210)가 구비되어 상기 피스톤로드(450) 하강 시 대상액체가 상기 흡입챔버(200)의 상부공간으로 이동하도록 형성된다. 또한 하부가 개방된 형태로 형성되어 상기 흡입챔버(200)의 하부공간에는 항상 대상액체가 채워져 있는 상태가 되도록 하는 것이 바람직하다.

[0025] 상기 배출챔버(300)는 상기 펌프하우징(100) 내 상기 흡입챔버(200) 하부에 배치되며, 상기 흡입챔버(200)에서 가압된 대상액체를 전달받아 2차 가압하여 배출구(310)를 통해 배출하는 역할을 한다. 이 때 상기 흡입챔버(200)에서 가압된 대상액체를 전달받을 수 있도록, 상기 배출챔버(300)의 내부공간은 도시된 바와 같이 상기 피스톤로드(450)에 형성된 연통로(410)에 의해 상기 흡입챔버(200) 상부공간과 연통되도록 형성된다. 부연하자면, 상기 연통로(410)의 배출단 즉 상기 배출챔버(300)와 연통되는 끝단에는, 상기 흡입챔버(200)에서 흘러온 대상액체가 상기 배출챔버(300) 쪽으로 배출되는 것은 가능하되 그 반대로의 흐름은 제한하는 체크밸브가 구비되어 있는 것이 바람직하다. 또한 상기 배출로(310)의 흡입단 즉 역시 상기 배출챔버(300)와 연통되는 끝단에는, 상기 배출챔버(300) 내의 대상액체가 외부로 배출되는 것은 가능하되 그 반대로의 흐름은 제한하는 체크밸브가 구비되어 있는 것이 바람직하다.

[0026] 상기 피스톤로드(450) 및 상기 피스톤(400)은 일체로 이루어지되, 상기 피스톤로드(450)는 상기 펌프하우징(100) 외부로 돌출 형성됨으로써 외부로부터 동력을 인가받아 상하운동을 한다. 상기 피스톤(400)은 상기 피스톤로드(450)와 일체화됨에 따라 상기 피스톤로드(450)와 함께 상하운동을 하되, 상기 흡입챔버(200) 내에서 상하운동함으로써 대상액체에 직접 가압을 수행하게 된다.

[0027] 본 발명의 왕복동 펌프(1000)는, 상술한 바와 같이 상기 흡입챔버(200)에서 1차 가압, 상기 배출챔버(300)에서 2차 가압이 이루어짐으로써 배출이 이루어지도록 한다. 본 발명의 왕복동 펌프(1000)는 이와 같이 대상액체를 단계적으로 가압하되, 상기 피스톤로드(450) 하강 시에 상기 흡입챔버(200) 상부공간으로 흡입된 대상액체가, 상기 피스톤로드(450) 상승 시 상기 흡입챔버(200) 외부의 대상액체의 냉열엑서지를 흡수함으로써 과냉상태가 됨에 따라 기화가스(boil-off gas) 발생이 억제되도록 형성된다. 이하에서 도 2 내지 도 6을 통해 본 발명의 왕복동 펌프(1000)의 기화가스 발생억제 원리를 동작상태별로 보다 상세히 설명한다.

[0028] 도 2를 다시 참조하면, 최초상태는 상기 흡입챔버(200) 상부공간 및 상기 배출챔버(300)에 대상액체가 유입되지 않은 상태이다. 이 때 상기 펌프하우징(100) 내 대상액체 온도를 T_0, 압력을 P_0이라 하고, 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내 대상액체 온도를 T_1, 압력을 P_1이라 하고, 상기 배출챔버(300) 내 대상액체 온도를 T_2, 압력을 P_2라 한다.

[0029] 도 3은 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 하강상태를 도시한 것이다. 앞서 설명한 바와 같이 상기 피스톤로드(450) 하강하면, 상기 흡입챔버(200) 상부공간으로 대상액체가 흡입된다. 이 때 상기 흡입챔버(200) 상부공간으로 흡입되는 대상액체의 압력, 온도는 상기 펌프하우징(100) 내의 대상액체의 압력, 온도와 거의 동일하며, 따라서 도면 상에 표시된 바와 같이 $(T_1, P_1) \fallingdotseq (T_0, P_0)$가 된다. 이 때 마찰발열, 외열침입 등이 있지만, 잠열구간이기 때문에 온도가 상승하지 않고 기화가스(boil-off gas)가 발생하게 된다. 도 3에서 잘 알 수 있는 바와 같이 상기 흡입챔버(200)는 대상액체에 완전히 잠겨 있기 때문에 상기 흡입체크밸브(210)로 유입되는 유체는 완전히 액체상태인 대상액체 뿐이지만, 상술한 바와 같은 이유로 상기 흡입챔버(200) 상부공간에 기화가스가 채워

진 공간이 필연적으로 일부 형성되게 된다.

[0030] 도 4는 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 상승중상태를 도시한 것이다. 도 3과 같은 상태로 상기 피스톤로드(450)가 하사점까지 하강한 이후, 상기 피스톤로드(450)는 상승하게 된다. 이 때 상기 흡입챔버(200) 상부공간에 채워진 대상액체 및 기화가스는 그 채워진 공간의 부피가 줄어들기 때문에 당연히 압력과 온도가 변화하게 된다. 이 때 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내부의 대상액체 압력 P_1은 상기 펌프하우징(100) 내 대상액체 압력(=상기 흡입챔버(200) 상부공간 외부의 대상액체 압력) P_0보다 반드시 높으므로 $P_1 > P_0$가 성립하며, 따라서 끓는점이 상승한다. 한편 온도 T_1은 마찰발열, 압축발열, 외열침입에 의해 반드시 T_0 이상이 되는데($T_1 \geq T_0$), 이처럼 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내부의 대상액체 온도(T_1)가 상기 흡입챔버(200) 상부공간 외부의 대상액체 온도(T_0)보다 높으므로 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내부의 대상액체는 외부로부터 냉열엑서지(cold exergy)를 흡수하게 된다. 부차적으로, 상기 배출챔버(300)는 상기 흡입챔버(200) 상부공간과 상기 연통로(410)를 통해 연통되어 있기 때문에, 이 때 각각의 압력, 온도는 서로 동일하게 형성된다($T_2=T_1$, $P_2=P_1$).

[0031] 이 때 P1에서의 대상액체의 끓는점을 T_b라 하면, 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내부의 대상액체의 온도 T_1은 T_0 이상이기는 하지만 냉열엑서지를 흡수하였기 때문에 T_b 이하가 될 수 있다. 만일 대상액체가 충분한 냉열엑서지를 흡수한다면 $T_b \geq T_1 \geq T_0$ 조건이 달성될 수 있으며, 이렇게 되면 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내부에서는 기화가스가 더 이상 발생하지 않을 뿐만 아니라 이미 존재하고 있던 기화가스가 재액화된다. 즉 이 조건 하에서는 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내부에는 끓는점보다 낮은 온도인 과냉상태의 대상액체만이 꽉 차 있게 되며, 기화가스는 완전히 제거된다.

[0032] 상기 흡입챔버(200) 상부공간 내부의 대상액체가 외부로부터 냉열엑서지를 충분히 흡수하지 못할 경우 T_1이 T_b와 같게 되어 온도가 잠열구간으로 진입하여 기화가스가 발생할 수 있다. 따라서 상기 왕복동 펌프(1000)는, 상기 흡입챔버(200) 외부의 냉열엑서지 양이 확보되도록, 기본적으로는 상기 펌프하우징(100) 내에 수용된 대상액체에 상기 흡입챔버(200) 및 상기 배출챔버(300)가 모두 잠겨있도록 형성되도록 할 필요가 있다. 이는 물론 상기 흡입챔버(200)에서 대상액체 흡입 시 완전히 액체만 흡입하도록 하기 위함이기도 하나, 냉열엑서지 양을 충분히 확보하기 위해서도 이러한 조건은 필요하다. 물론 보다 구체적으로는, 앞서 설명한 바와 같이, 상기 피스톤로드(450) 상승 시 대상액체의 압력 및 온도가 하기의 식과 같은 관계를 형성하도록, 상기 펌프하우징(100) 내에 수용된 대상액체 부피와 상기 흡입챔버(200) 상부공간 및 상기 배출챔버(300) 내에 수용된 대상액체 부피가 결정되도록 해야 한다.

[0033] (압력관계식) $P_1 > P_0$, $P_2 = P_1$

[0034] (온도관계식) $T_b \geq T_1 \geq T_0$, $T_2 = T_1$

[0035] 도 5는 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 상승완료상태, 즉 상기 피스톤로드(450)가 상사점에 도달한 상태를 도시한 것으로, 즉 상기 피스톤로드(450)가 상승하는 동안 내내 상술한 바와 같은 원리로 냉열엑서지를 흡수하여 기화가스 발생이 억제됨에 따라, 상기 흡입챔버(200) 상부공간 및 상기 배출챔버(300)에는 기화가스 없이 완전히 액체상태인 과냉된 대상액체만이 채워져 있게 된다.

[0036] 도 6은 본 발명의 극저온 액체 왕복동 펌프의 1펌핑주기 완료 후 하강상태를 도시한 것으로, 상기 왕복동 펌프(1000)의 각부 위치 등은 앞서 도 2의 최초상태와 유사하나 1펌핑주기가 지났으므로 상기 배출챔버(300)에 과냉된 대상액체가 채워져 있다. 이 상태에서 상기 피스톤로드(450)가 하강하면, 상기 흡입챔버(200)에서는 앞서 도 2에서와 마찬가지로 상기 피스톤(400)의 하강으로 인하여 상부공간에 대상액체가 다시 흡입된다. 한편, 상기 배출챔버(300)에서는 상기 피스톤로드(450)의 하강으로 인하여 상기 배출챔버(300) 내의 과냉된 대상액체가 강하게 눌리게 된다. 과냉상태의 대상액체는 체적탄성이 낮기 때문에 용적변화 시 큰 압력상승을 기대할 수 있으며, 따라서 T_2도 일부 상승하되 P_2는 매우 크게 상승하게 된다($T_2\uparrow$, $P_2\uparrow\uparrow\uparrow$). 이러한 기작에 의하여 결과적으로 상기 배출챔버(300)에서 상기 배출구(310)를 통해 고압, 예를 들어 액화수소충전소 요구조건인 90MPa 수준의 고압으로도 원활하게 대상액체를 토출할 수 있게 된다.

[0037] 본 발명에 의하면, 이처럼 [피스톤로드 상승 시 흡입챔버에서 1차 가압 → 피스톤로드 하강 시 배출챔버에서 2차 가압]을 실현하는 구조를 통하여, 흡입챔버에서 대상액체가 과냉상태가 될 수 있는 조건을 만들어 준다. 따라서 종래에 외열침입 등을 막고자 단열에 중점을 두어 기화가스 발생을 최소화시키던 것과는 달리, 본 발명에

서는 기화가스 발생 자체를 억제하기 때문에, 조건을 잘 맞추기만 한다면 기화가스를 완전히 제거할 수 있다.

[0038] 다만 흡입챔버 내 대상액체가 과냉상태가 되도록 냉열엑서지를 충분히 흡수하기 위해서는 어느 정도 흡수시간이 필요하다. 이러한 점을 고려할 때 상기 왕복동 펌프(1000)는, 상기 흡입챔버(200) 외부의 냉열엑서지 흡수시간이 확보되도록 저속구동되도록 하는 것이 바람직하다. 이 때 장치의 크기, 직경, 질량 등에 따라 펌핑스트로크 길이, 펌핑유량, 펌핑구동력 및 저항 등이 매우 다양하게 달라질 수 있으며, 이에 따라 적절하게 왕복동속도가 결정되면 된다. 일례로 장치의 직경이 커질수록 적절한 왕복동주파수의 최대값도 어느 정도 높일 수 있다. 또한 직접 운동하는 부품 즉 피스톤의 질량이 커질 경우 관성의 영향이 커지는 바, 피스톤의 질량을 줄일수록 왕복동주파수의 최대값을 더 높일 수 있다. 한편 지나치게 저속으로 구동할 경우 압력맥동이 현저히 높아지게 되어 맥동저감장치를 추가적으로 필요로 하게 될 수도 있다. 이러한 다양한 점을 고려할 때 왕복동속도가 어떠한 값으로 규정되는 것은 아니나, 굳이 구체적으로 예를 들자면, 일반적으로 널리 사용되는 극저온 펌프의 크기, 직경, 질량 등을 고려할 때 일반적인 왕복동속도보다 저속인 값으로서 대략0.5~1.5Hz 범위 내의 값으로 저속구동될 수 있다.

[0039] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

부호의 설명

[0040] 1 : (종래의) 피스톤

2 : 흡입밸브 3 : 토출밸브

1000 : 본 발명의 왕복동 펌프

100 : 펌프하우징 110 : 흡입구

200 : 흡입챔버 210 : 흡입체크밸브

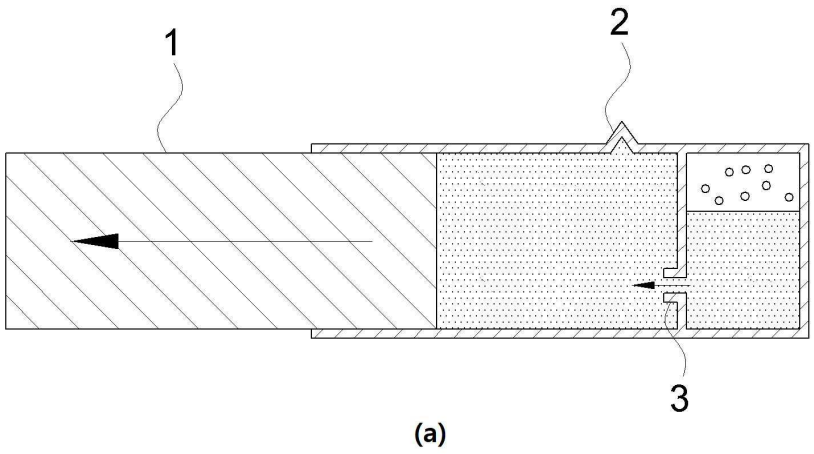
300 : 배출챔버 310 : 배출구

400 : 피스톤 410 : 연통로

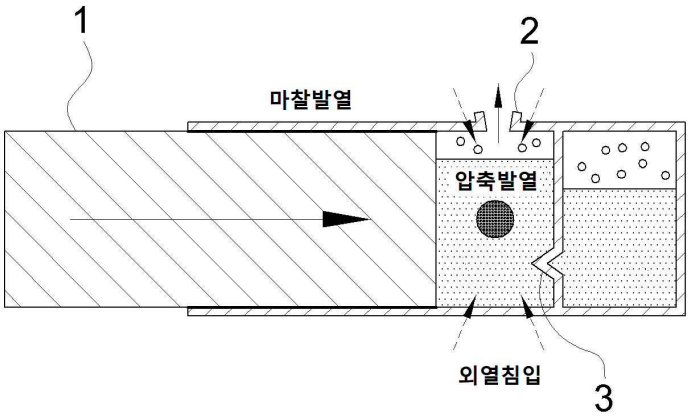
450 : 피스톤로드

도면

도면1

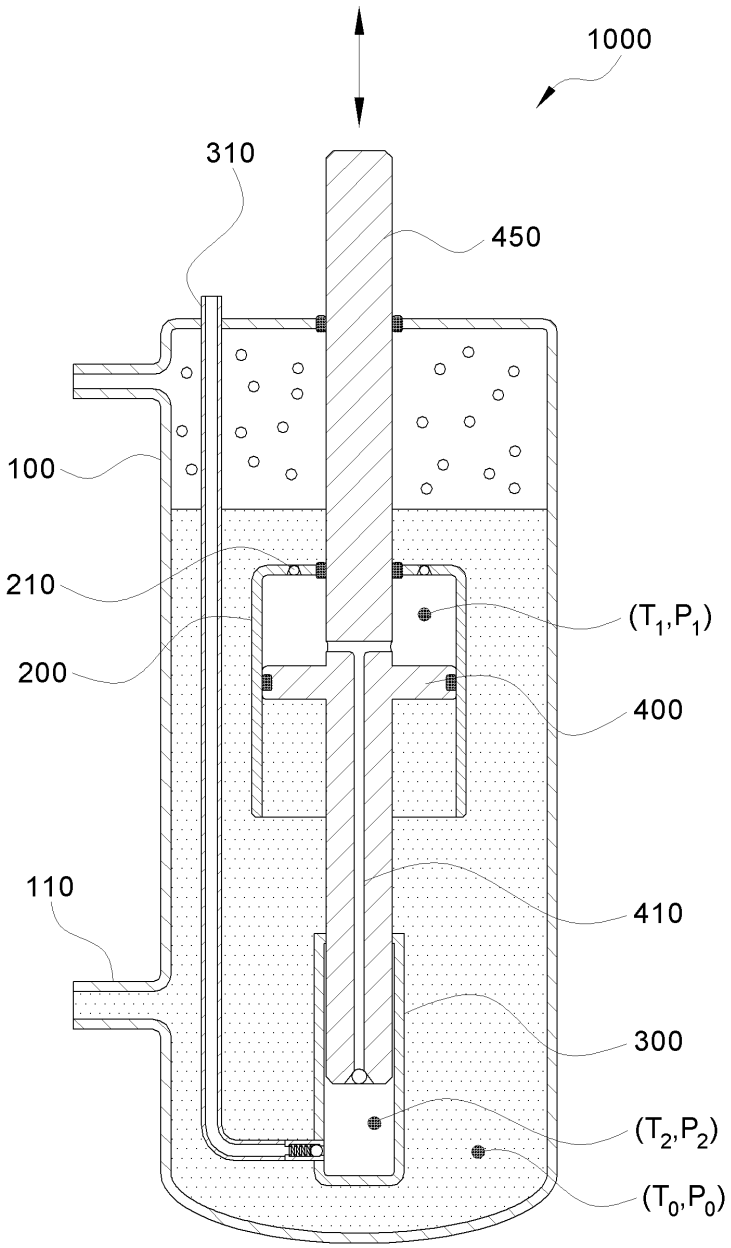


(a)

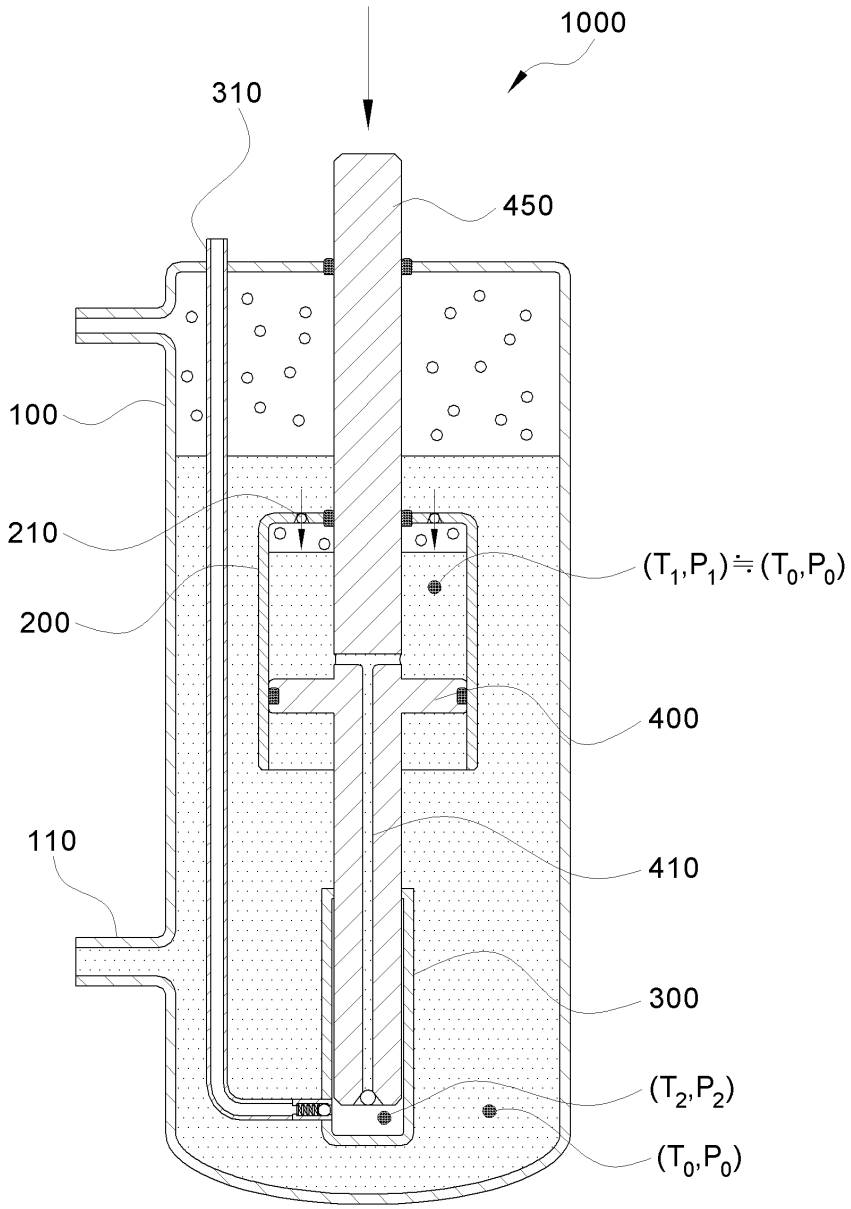


(b)

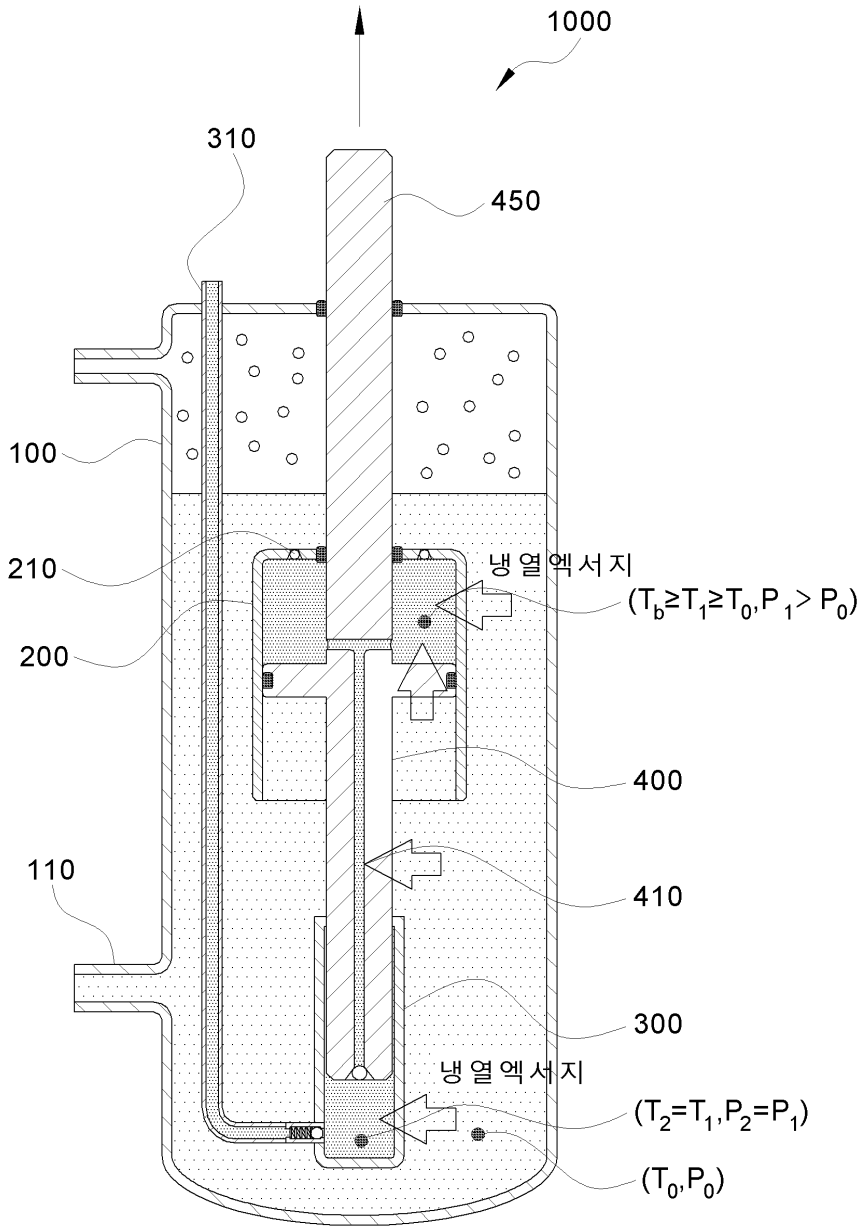
도면2



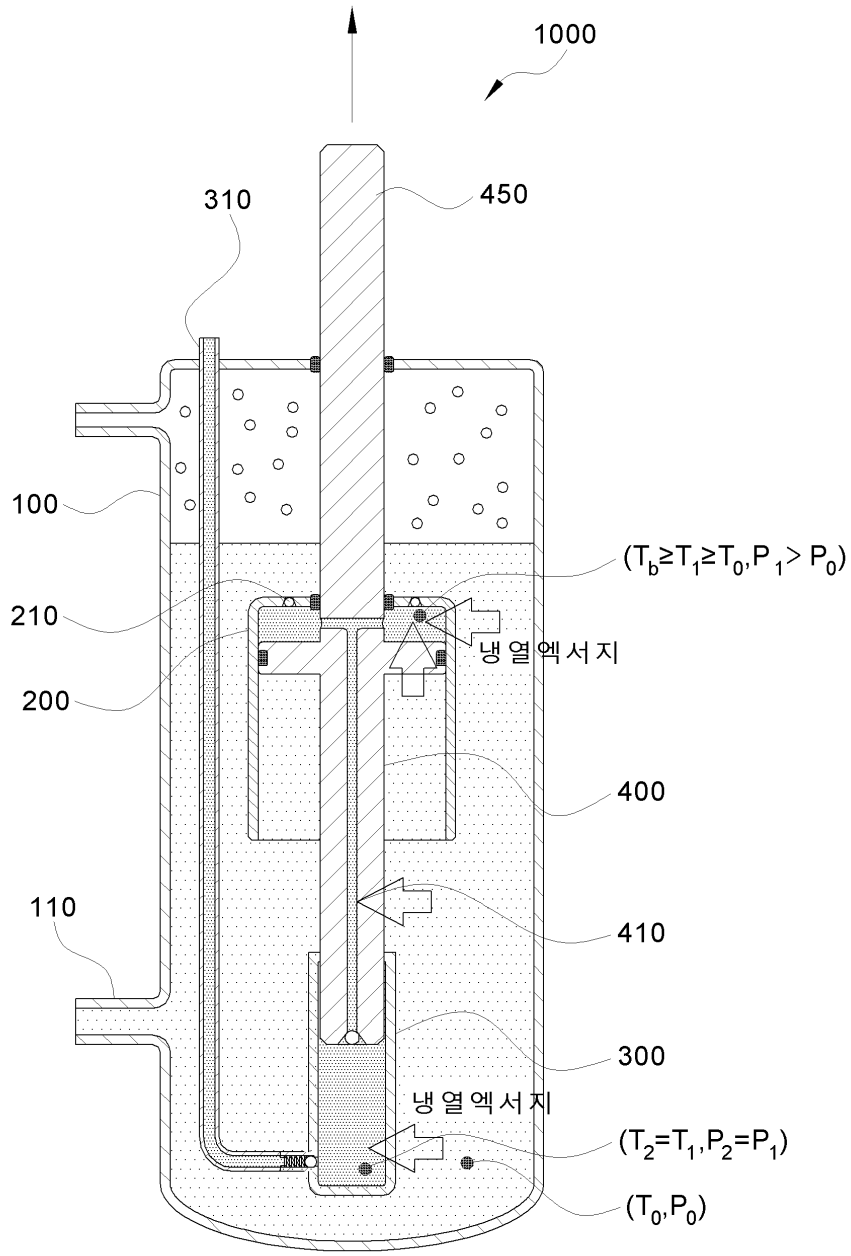
도면3


1000
310
450
100
210
200
$(T_1,P_1)\fallingdotseq(T_0,P_0)$
400
110
410
300
(T_2,P_2)
(T_0,P_0)

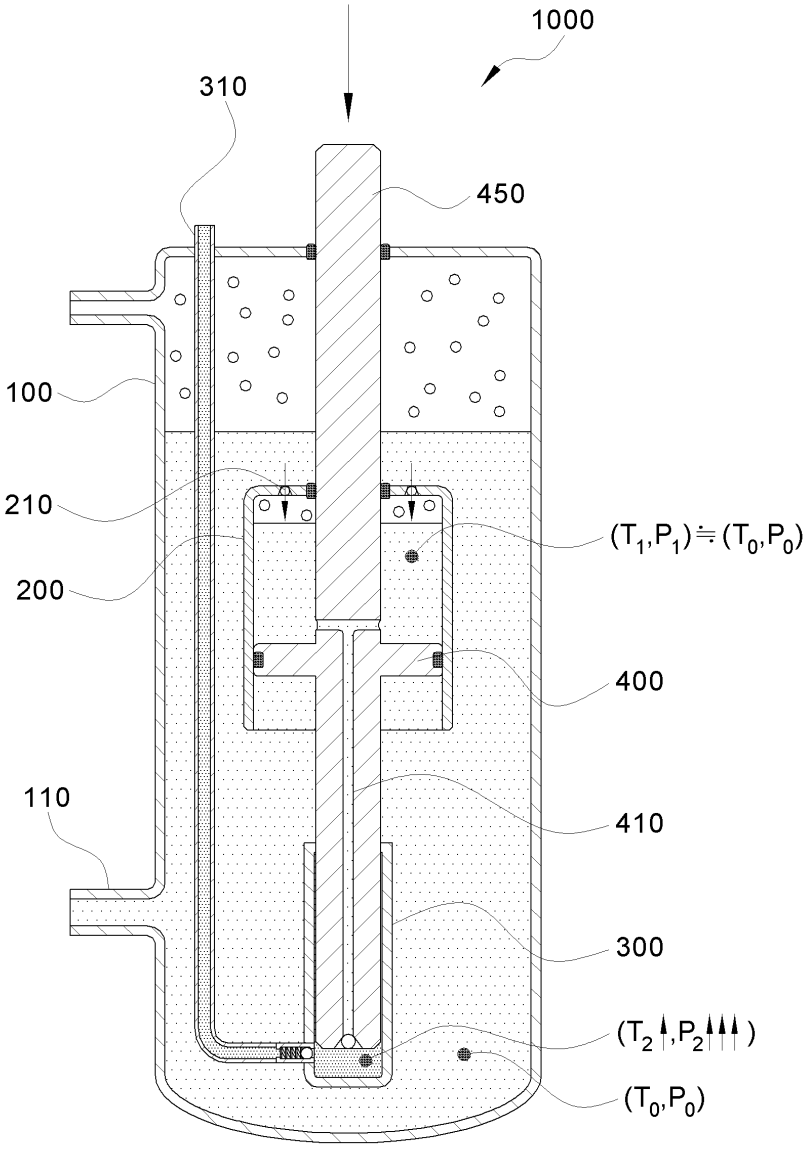
도면4


1000
310
450
100
210
냉열엑서지
($T_b \geq T_1 \geq T_0, P_1 > P_0$)
200
400
110
410
300
냉열엑서지
($T_2=T_1, P_2=P_1$)
(T_0, P_0)

도면5


1000
310
450
100
210
200
110
400
410
300
냉열엑서지
냉열엑서지
$(T_b \geq T_1 \geq T_0, P_1 > P_0)$
$(T_2=T_1, P_2=P_1)$
(T_0, P_0)

도면6


1000
310
450
100
210
200
$(T_1,P_1) \fallingdotseq (T_0,P_0)$
400
110
410
300
$(T_2\uparrow,P_2\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow)$
(T_0,P_0)