



공개특허 10-2024-0113896



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0113896  
(43) 공개일자 2024년07월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*F25B 9/14* (2006.01) *F25B 49/00* (2022.01)  
(52) CPC특허분류  
*F25B 9/14* (2022.01)  
*F25B 49/00* (2022.01)  
(21) 출원번호 10-2024-7012231  
(22) 출원일자(국제) 2022년10월25일  
심사청구일자 없음  
(85) 번역문제출일자 2024년04월12일  
(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/039684  
(87) 국제공개번호 WO 2023/095514  
국제공개일자 2023년06월01일  
(30) 우선권주장  
JP-P-2021-191466 2021년11월25일 일본(JP)

(71) 출원인  
스미도모쥬기가이고교 가부시키가이샤  
일본국 도쿄도 시나가와구 오오사카 2쵸메 1반 1  
고  
(72) 발명자  
이쿠시마 유키  
일본국 188-8585 도쿄도 니시토쿄시 야토쵸 2쵸메  
1반 1고 스미도모쥬기가이고교 가부시키가이샤 타  
나시세이조쇼 내  
니시오 타츠키  
일본국 188-8585 도쿄도 니시토쿄시 야토쵸 2쵸메  
1반 1고 스미도모쥬기가이고교 가부시키가이샤 타  
나시세이조쇼 내  
(74) 대리인  
정구명

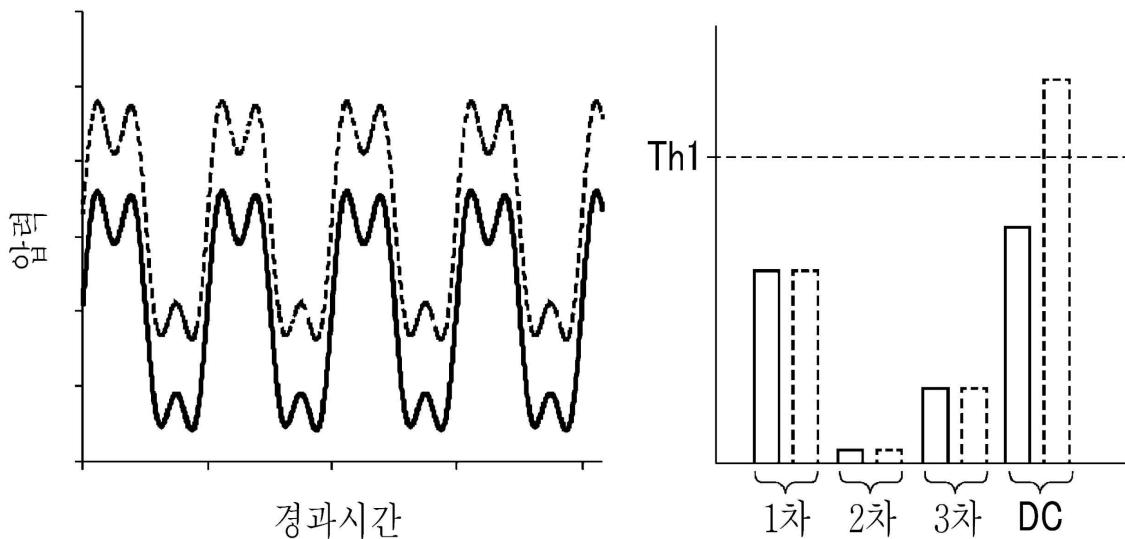
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 극저온냉동기진단시스템, 극저온냉동기 및 극저온냉동기진단방법

### (57) 요 약

극저온냉동기(10)의 진단시스템(100)은, 극저온냉동기(10) 내의 압력을 측정하는 압력센서(50)를 구비하는 극저온냉동기(10)와, 압력센서(50)에 의하여 측정되는 팽창기(14) 내의 압력을 나타내는 측정압력파형을 수신하고, 측정압력파형으로부터 극저온냉동기(10)의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭을 연산하도록 구성되는 연산처리장치(60)와, 연산처리장치(60)에 의하여 연산되는 진폭을 수신하며, 진폭에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단하도록 구성되는 진단장치(70)를 구비한다.

대 표 도 - 도5



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

극저온냉동기 내의 압력을 측정하는 압력센서를 구비하는 극저온냉동기와,

상기 압력센서에 의하여 측정되는 상기 극저온냉동기 내의 압력을 나타내는 측정압력파형을 수신하고, 상기 측정압력파형으로부터 상기 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭을 연산하도록 구성되는 연산처리장치와,

상기 연산처리장치에 의하여 연산되는 상기 진폭을 수신하고, 상기 진폭에 근거하여 상기 극저온냉동기를 진단하도록 구성되는 진단장치를 구비하는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단시스템.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 진단장치는, 상기 극저온냉동기의 복수의 고장모드를 진단하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단시스템.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 연산처리장치는, 상기 측정압력파형으로부터 상기 극저온냉동기의 구동주파수 및 그 정수배의 주파수성분 중 복수의 주파수성분 각각에 대하여 진폭을 연산하도록 구성되고,

상기 진단장치는, 상기 연산처리장치에 의하여 연산되는 상기 복수의 주파수성분의 진폭을 수신하며, 상기 복수의 주파수성분의 진폭에 근거하여 상기 극저온냉동기를 진단하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단시스템.

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 연산처리장치는, 상기 측정압력파형의 직류성분을 연산하도록 구성되고,

상기 진단장치는, 상기 연산처리장치에 의하여 연산되는 상기 진폭 및 상기 직류성분을 수신하며, 상기 진폭 및 상기 직류성분에 근거하여 상기 극저온냉동기를 진단하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단시스템.

#### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 연산처리장치는, 상기 측정압력파형에 근거하여 상기 극저온냉동기의 팽창일을 연산하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단시스템.

#### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 진단장치는, 상기 연산처리장치로부터 원격으로 배치되고, 상기 연산처리장치에 의하여 연산되는 상기 진폭을 통신네트워크를 통하여 수신하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단시스템.

#### 청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 극저온냉동기는, 팽창기와, 상기 팽창기 내에 주기적 압력변동을 발생시키도록 동작하는 압력전환밸브를 구비하고, 상기 압력센서는, 상기 팽창기 내에 발생하는 상기 주기적 압력변동을 측정하도록 배치되는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단시스템.

#### 청구항 8

극저온냉동기 내의 압력을 나타내는 측정압력파형으로부터 연산되는 상기 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭에 근거하여 상기 극저온냉동기를 진단하도록 구성되는 진단장치를 구비하는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단시스템.

#### 청구항 9

극저온냉동기 내의 압력을 측정하는 압력센서와,

상기 압력센서에 의하여 측정되는 상기 극저온냉동기 내의 압력을 나타내는 측정압력파형을 수신하고, 상기 측정압력파형으로부터 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭을 연산하도록 구성되는 연산처리장치를 구비하는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기.

#### 청구항 10

극저온냉동기 내의 압력을 나타내는 측정압력파형을 취득하는 것과,

상기 측정압력파형으로부터 상기 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭을 연산하는 것과,

상기 진폭에 근거하여 상기 극저온냉동기를 진단하는 것을 구비하는 것을 특징으로 하는 극저온냉동기진단방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 극저온냉동기진단시스템, 극저온냉동기 및 극저온냉동기진단방법에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0002] 종래, 기포드 · 맥마흔(Gifford-McMahon; GM) 냉동기 등의 극저온냉동기에 관하여, 압축기 내부에서 그 고압측과 저압측의 압력을 측정하고, 그들의 차압을 일정하게 하도록 압축기를 제어하는 극저온냉동기의 운전방법이 알려져 있다.

#### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 공개특허공보 특개2013-185480호

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0004] 극저온냉동기에서는 일반적으로, 압력측정이 상술과 같이 행해지는 경우가 있지만, 그 목적은 대개, 고압측과 저압측의 차압제어에 한정되어 있다.

[0005] 극저온냉동기가 현장에서 사용되는 가운데, 슬라이딩부품의 마모나 소모부품의 수명, 그 외의 이유에 의하여, 냉동성능저하 등 고장이 발생할 수 있다. 고장난 극저온냉동기의 수리 또는 신제품과의 교환 등 메인더넌스가 완료될 때까지, 극저온냉동기를 탑재한 극저온시스템(예를 들면 초전도기기, MRI(Magnetic Resonance Imaging) 시스템 등)의 가동은 정지할 수밖에 없다. 갑작스러운 고장의 경우, 예를 들면 수리서비스의 준비에 시간을 필요로 하는 등, 복구까지 걸리는 시간은 비교적 길어지기 쉽다. 그러나, 만약, 고장을 예지하여 계획적으로 미리 대처할 수 있었다고 하면, 시스템의 가동에 대한 영향을 최소로 할 수 있다.

[0006] 본 발명의 일 양태의 예시적인 목적의 하나는, 극저온냉동기의 압력측정에 근거하는 진단기술을 제공하는 것에 있다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 양태에 의하면, 극저온냉동기진단시스템은, 극저온냉동기 내의 압력을 측정하는 압력센서를 구비하는 극저온냉동기와, 압력센서에 의하여 측정되는 팽창기 내의 압력을 나타내는 측정압력파형을 수신하고, 측정압력파형으로부터 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배(整數倍)의 주파수성분의 진폭을 연산하도록 구성되는 연산처리장치와, 연산처리장치에 의하여 연산되는 진폭을 수신하며, 진폭에 근거하여 극저온냉동기를 진단하도록 구성되는 진단장치를 구비한다.

[0008] 본 발명의 일 양태에 의하면, 극저온냉동기진단시스템은, 극저온냉동기 내의 압력을 나타내는 측정압력파형으로부터 연산되는 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭에 근거하여 극저온냉동기를 진단하도록 구성되는 진단장치를 구비한다.

[0009] 본 발명의 일 양태에 의하면, 극저온냉동기는, 극저온냉동기 내의 압력을 측정하는 압력센서와, 압력센서에 의하여 측정되는 극저온냉동기 내의 압력을 나타내는 측정압력파형을 수신하고, 측정압력파형으로부터 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭을 연산하도록 구성되는 연산처리장치를 구비한다.

[0010] 본 발명의 일 양태에 의하면, 극저온냉동기진단방법은, 극저온냉동기 내의 압력을 나타내는 측정압력파형을 취득하는 것과, 측정압력파형으로부터 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭을 연산하는 것과, 진폭에 근거하여 극저온냉동기를 진단하는 것을 구비한다.

[0011] 다만, 이상의 구성요소의 임의의 조합이나 본 발명의 구성요소나 표현을, 방법, 장치, 시스템 등의 사이에서 서로 치환한 것도 또한, 본 발명의 양태로서 유효하다.

### 발명의 효과

[0012] 본 발명에 의하면, 극저온냉동기의 압력측정에 근거하는 진단기술을 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 실시형태에 관한 극저온냉동기를 개략적으로 나타내는 도이다.

도 2는 실시형태에 관한 극저온냉동기를 개략적으로 나타내는 도이다.

도 3은 실시형태에 관한 극저온냉동기의 진단시스템을 개략적으로 나타내는 블록도이다.

도 4는 실시형태에 관한 극저온냉동기의 진단방법을 나타내는 플로차트이다.

도 5는 예시적인 고장모드와 그 진단을 나타내는 도이다.

도 6은 예시적인 고장모드와 그 진단을 나타내는 도이다.

도 7은 예시적인 고장모드와 그 진단을 나타내는 도이다.

도 8은 예시적인 고장모드와 그 진단을 나타내는 도이다.

도 9는 예시적인 고장모드와 그 진단을 나타내는 도이다.

도 10은 예시적인 고장모드와 그 진단을 나타내는 도이다.

도 11은 실시형태에 관하여, 측정압력파형에 근거하는 극저온냉동기의 진단의 원리를 설명하기 위한 도이다.

도 12는 측정압력파형으로부터 연산되는 극저온냉동기의 PV선도의 예이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 도면을 참조하면서, 본 발명을 실시하기 위한 형태에 대하여 상세하게 설명한다. 설명 및 도면에 있어서 동일 또는 동등한 구성요소, 부재, 처리에는 동일한 부호를 붙이고, 중복되는 설명은 적절히 생략한다. 도시되는 각부(各部)의 축척이나 형상은, 설명을 용이하게 하기 위하여 편의적으로 설정되어 있고, 특별히 언급이 없는 한 한정적으로 해석되는 것은 아니다. 실시형태는 예시이며, 본 발명의 범위를 결코 한정하는 것은 아니다.

실시형태에 기술되는 모든 특징이나 그 조합은, 반드시 발명의 본질적인 것이라고는 한정되지 않는다.

[0015] 도 1 및 도 2는, 실시형태에 관한 극저온냉동기(10)를 개략적으로 나타내는 도이다. 극저온냉동기(10)는, 일례로서, 2단식의 기포드·맥마흔(Gifford-McMahon; GM) 냉동기이다. 도 1에는, 극저온냉동기(10)의 외관을 나타내고, 도 2에는, 극저온냉동기(10)의 내부구조를 나타낸다.

[0016] 극저온냉동기(10)는, 압축기(12)와, 팽창기(14)를 구비한다. 압축기(12)는, 극저온냉동기(10)의 작동가스를 팽창기(14)로부터 회수하고, 회수한 작동가스를 승압하여, 다시 작동가스를 팽창기(14)에 공급하도록 구성되어 있다. 작동가스는, 냉매가스라고도 칭해지며, 통상은 헬륨가스이지만, 적절한 다른 가스가 이용되어도 된다.

[0017] 팽창기(14)는, 냉동기실린더(16)와, 디스플레이서조립체(18)와, 냉동기하우징(20)을 구비한다. 냉동기하우징(20)은, 냉동기실린더(16)와 결합되고, 그로써, 디스플레이서조립체(18)를 수용하는 기밀용기가 구성된다. 다만, 냉동기하우징(20)의 내부용적은 압축기(12)의 저압측에 접속되어, 저압으로 유지되어도 된다.

[0018] 냉동기실린더(16)는, 제1 실린더(16a), 제2 실린더(16b)를 갖는다. 제1 실린더(16a)와 제2 실린더(16b)는, 일례로서, 원통형상을 갖는 부재이며, 제2 실린더(16b)가 제1 실린더(16a)보다 소경이다. 제1 실린더(16a)와 제2 실린더(16b)는 동축으로 배치되고, 제1 실린더(16a)의 하단(下端)이 제2 실린더(16b)의 상단(上端)에 강하게 연결되어 있다.

[0019] 디스플레이서조립체(18)는, 제1 디스플레이서(18a)와 제2 디스플레이서(18b)를 갖는다. 제1 디스플레이서(18a)와 제2 디스플레이서(18b)는, 일례로서, 원통형상을 갖는 부재이며, 제2 디스플레이서(18b)가 제1 디스플레이서(18a)보다 소경이다. 제1 디스플레이서(18a)와 제2 디스플레이서(18b)는 동축으로 배치되어 있다.

[0020] 제1 디스플레이서(18a)는, 제1 실린더(16a)에 수용되고, 제2 디스플레이서(18b)는, 제2 실린더(16b)에 수용되어 있다. 제1 디스플레이서(18a)는, 제1 실린더(16a)를 따라 축방향으로 왕복이동 가능하고, 제2 디스플레이서(18b)는, 제2 실린더(16b)를 따라 축방향으로 왕복이동 가능하다. 제1 디스플레이서(18a)와 제2 디스플레이서(18b)는 서로 연결되어, 일체로 이동한다.

[0021] 본서에서는, 극저온냉동기(10)의 구성요소 간의 위치관계를 설명하기 위하여, 편의상, 디스플레이서의 축방향 왕복이동의 상사점(上死點)에 가까운 측을 "상", 하사점(下死點)에 가까운 측을 "하"라고 표기하는 것으로 한다. 상사점은 팽창공간의 용적이 최대로 되는 디스플레이서의 위치이고, 하사점은 팽창공간의 용적이 최소로 되는 디스플레이서의 위치이다. 극저온냉동기(10)의 운전 시에는 축방향 상방으로부터 하방으로 온도가 내려가는 온도구배가 발생하므로, 상측을 고온측, 하측을 저온측이라고 부를 수도 있다.

[0022] 제1 디스플레이서(18a)는, 제1 축랭기(26)를 수용한다. 제1 축랭기(26)는, 제1 디스플레이서(18a)의 통상(筒狀)의 본체부 내에, 예를 들면 구리 등의 철망 또는 그 외 적절한 제1 축랭재를 충전함으로써 형성되어 있다. 제1 디스플레이서(18a)의 상덮개부 및 하덮개부는 제1 디스플레이서(18a)의 본체부와는 별도의 부재로서 제공되어도 되고, 제1 디스플레이서(18a)의 상덮개부 및 하덮개부는, 체결, 용접 등 적절한 수단으로 본체에 고정되며, 그로써 제1 축랭재가 제1 디스플레이서(18a)에 수용되어도 된다.

[0023] 동일하게, 제2 디스플레이서(18b)는, 제2 축랭기(28)를 수용한다. 제2 축랭기(28)는, 제2 디스플레이서(18b)의 통상의 본체부 내에, 예를 들면 비스무트 등의 비자성 축랭재,  $HoCu_2$  등의 자성 축랭재, 또는 그 외 적절한 제2 축랭재를 충전함으로써 형성되어 있다. 제2 축랭재는 입상(粒狀)으로 성형되어 있어도 된다. 제2 디스플레이서(18b)의 상덮개부 및 하덮개부는 제2 디스플레이서(18b)의 본체부와는 별도의 부재로서 제공되어도 되고, 제2 디스플레이서(18b)의 상덮개부의 하덮개부는, 체결, 용접 등 적절한 수단으로 본체에 고정되며, 그로써 제2 축랭재가 제2 디스플레이서(18b)에 수용되어도 된다.

[0024] 디스플레이서조립체(18)는, 상부실(30), 제1 팽창실(32), 제2 팽창실(34)을 냉동기실린더(16)의 내부에 형성한다. 극저온냉동기(10)에 의하여 냉각해야 할 원하는 물체 또는 매체와의 열교환을 위하여, 팽창기(14)는, 제1 냉각스테이지(33)와 제2 냉각스테이지(35)를 구비한다. 상부실(30)은, 제1 디스플레이서(18a)의 상덮개부와 제1 실린더(16a)의 상부의 사이에 형성된다. 제1 팽창실(32)은, 제1 디스플레이서(18a)의 하덮개부와 제1 냉각스테이지(33)의 사이에 형성된다. 제2 팽창실(34)은, 제2 디스플레이서(18b)의 하덮개부와 제2 냉각스테이지(35)의 사이에 형성된다. 제1 냉각스테이지(33)는, 제1 팽창실(32)을 둘러싸도록 제1 실린더(16a)의 하부에 고착되고, 제2 냉각스테이지(35)는, 제2 팽창실(34)을 둘러싸도록 제2 실린더(16b)의 하부에 고착되어 있다.

[0025] 제1 축랭기(26)는, 제1 디스플레이서(18a)의 상덮개부에 형성된 작동가스유로(36a)를 통하여 상부실(30)에 접속되고, 제1 디스플레이서(18a)의 하덮개부에 형성된 작동가스유로(36b)를 통하여 제1 팽창실(32)에 접속되어 있

다. 제2 축랭기(28)는, 제1 디스플레이서(18a)의 하덮개부로부터 제2 디스플레이서(18b)의 상덮개부로 형성된 작동가스유로(36c)를 통하여 제1 축랭기(26)에 접속되어 있다. 또, 제2 축랭기(28)는, 제2 디스플레이서(18b)의 하덮개부에 형성된 작동가스유로(36d)를 통하여 제2 팽창실(34)에 접속되어 있다.

[0026] 제1 팽창실(32), 제2 팽창실(34)과 상부실(30)의 사이의 작동가스흐름이, 냉동기실린더(16)와 디스플레이서조립체(18)의 사이의 클리어런스가 아니라, 제1 축랭기(26), 제2 축랭기(28)에 유도되도록 하기 위하여, 제1 시일(38a), 제2 시일(38b)이 마련되어 있어도 된다. 제1 시일(38a)은, 제1 디스플레이서(18a)와 제1 실린더(16a)의 사이에 배치되도록 제1 디스플레이서(18a)의 상덮개부에 장착되어도 된다. 제2 시일(38b)은, 제2 디스플레이서(18b)와 제2 실린더(16b)의 사이에 배치되도록 제2 디스플레이서(18b)의 상덮개부에 장착되어도 된다.

[0027] 또, 팽창기(14)는, 압력전환밸브(40)와, 구동모터(42)를 구비한다. 압력전환밸브(40)는, 냉동기하우징(20)에 수용되고, 구동모터(42)는, 냉동기하우징(20)에 장착되어 있다.

[0028] 도 2에 나타나는 바와 같이, 압력전환밸브(40)는, 고압밸브(40a)와 저압밸브(40b)를 구비하고, 냉동기실린더(16) 내에 주기적 압력변동을 발생시키도록 구성되어 있다. 압축기(12)의 작동가스토출구가 고압밸브(40a)를 개재하여 상부실(30)에 접속되고, 압축기(12)의 작동가스흡입구가 저압밸브(40b)를 개재하여 상부실(30)에 접속되어 있다. 고압밸브(40a)와 저압밸브(40b)는, 선택적으로 또한 교대로 개폐하도록(즉, 일방이 열려 있을 때 타방이 단히도록) 구성되어 있다. 고압(예를 들면 2~3MPa)의 작동가스가 압축기(12)로부터 고압밸브(40a)를 통하여 팽창기(14)에 공급되고, 저압(예를 들면 0.5~1.5MPa)의 작동가스가 팽창기(14)로부터 저압밸브(40b)를 통하여 압축기(12)에 회수된다. 이해를 위하여, 작동가스가 흐르는 방향을 도 2에 화살표로 나타낸다.

[0029] 구동모터(42)는, 디스플레이서조립체(18)의 왕복이동을 구동하기 위하여 마련되어 있다. 구동모터(42)는, 예를 들면 스코치요크기구 등의 운동변환기구(43)를 개재하여 디스플레이서구동축(44)에 연결되어 있다. 운동변환기구(43)는, 압력전환밸브(40)와 동일하게, 냉동기하우징(20)에 수용되어 있다. 디스플레이서구동축(44)은, 운동변환기구(43)로부터 냉동기하우징(20)을 관통하여 상부실(30) 내로 뻗어, 제1 디스플레이서(18a)의 상덮개부에 고정되어 있다. 상부실(30)로부터 냉동기하우징(20)(상술과 같이 저압으로 유지되어 있는 경우가 있다)으로의 작동가스의 누출을 방지하기 위하여, 제3 시일(38c)이 마련되어 있다. 제3 시일(38c)은, 냉동기하우징(20)과 디스플레이서구동축(44)의 사이에 배치되도록 냉동기하우징(20)에 장착되어도 된다.

[0030] 구동모터(42)가 구동될 때, 구동모터(42)의 회전출력은 운동변환기구(43)에 의하여 디스플레이서구동축(44)의 축방향 왕복이동으로 변환되고, 디스플레이서조립체(18)는 냉동기실린더(16) 내를 축방향으로 왕복한다. 또, 구동모터(42)는, 고압밸브(40a)와 저압밸브(40b)를 선택적으로 또한 교대로 개폐하도록 이들 밸브에 연결되어 있다.

[0031] 극저온냉동기(10)는, 압축기(12) 및 구동모터(42)가 운전될 때, 제1 팽창실(32) 및 제2 팽창실(34)에 있어서 주기적인 용적변동과 이에 동기(同期)한 작동가스의 압력변동을 발생시켜, 그로써 냉동사이클이 구성되고, 제1 냉각스테이지(33) 및 제2 냉각스테이지(35)가 원하는 극저온으로 냉각된다. 제1 냉각스테이지(33)는, 예를 들면 약 20K~약 40K의 범위에 있는 제1 냉각온도로 냉각될 수 있다. 제2 냉각스테이지(35)는, 제1 냉각온도보다 낮은 제2 냉각온도(예를 들면, 약 1K~약 4K)로 냉각될 수 있다.

[0032] 일 실시형태에 있어서는, 도 1에 나타나는 바와 같이, 극저온냉동기(10)에 있어서 압축기(12)와 팽창기(14)를 순환하는 작동가스의 양을 조정하기 위하여, 극저온냉동기(10)는, 가스양조정부(46)를 구비해도 된다. 가스양조정부(46)는, 베퍼탱크 등의 작동가스원(46a)과, 공급밸브(46b)와, 회수밸브(46c)를 구비해도 된다. 작동가스원(46a)에는, 압축기(12)의 토출압(상술한 고압)과 흡입압(상술한 저압)의 중간압에서 작동가스가 축적되어 있다. 공급밸브(46b)는, 압축기(12)와 팽창기(14)를 접속하는 저압측의 배관(13b)에 작동가스원(46a)을 접속하고, 회수밸브(46c)는, 압축기(12)와 팽창기(14)를 접속하는 고압측의 배관(13a)에 작동가스원(46a)을 접속한다.

[0033] 공급밸브(46b)를 열고 회수밸브(46c)를 닫음으로써, 작동가스원(46a)으로부터 저압측의 배관(13b)으로 작동가스를 공급하여, 극저온냉동기(10)를 순환하는 작동가스양을 증가시킬 수 있다. 순환하는 작동가스양이 증가하면 고압측의 배관(13a) 및 저압측의 배관(13b) 각각의 압력은 증가한다. 반대로, 공급밸브(46b)를 닫고 회수밸브(46c)를 엽으로써, 고압측의 배관(13a)으로부터 작동가스원(46a)으로 작동가스를 회수하여, 극저온냉동기(10)를 순환하는 작동가스양을 감소시킬 수 있다. 순환하는 작동가스양이 감소하면 고압측의 배관(13a) 및 저압측의 배관(13b) 각각의 압력은 감소한다.

[0034] 극저온냉동기(10)는, 기동 시에 환경온도(예를 들면 실온)로부터 극저온(예를 들면 상술한 제1 및 제2 냉각온도)으로 냉각되고, 그 후 극저온으로 유지되는 점에서, 상당히 넓은 온도범위에서 동작하게 된다. 동작온

도의 변화에 의하여, 극저온냉동기(10)를 순환하는 작동가스의 밀도가 변하고, 그로써 압력도 변한다. 그래서, 가스양조정부(46)를 이용하여 작동가스양을 증감시킴으로써, 극저온냉동기(10)의 고압측 및 저압측 각각의 압력을 최적으로 조정할 수 있다.

[0035] 도 3은, 실시형태에 관한 극저온냉동기(10)의 진단시스템(100)을 개략적으로 나타내는 블록도이다. 진단시스템(100)은, 압력센서(50)와, 연산처리장치(60)와, 진단장치(70)를 구비한다.

[0036] 압력센서(50)는, 극저온냉동기(10) 내의 압력을 측정하도록 구성된다. 예를 들면, 압력센서(50)는, 압력전환밸브(40)가 팽창기(14) 내에 발생시키는 주기적 압력변동을 측정하도록 배치된다. 압력센서(50)는, 도 2에 나타나는 바와 같이, 예를 들면, 압력전환밸브(40)와 상부실(30)을 연결하는 작동가스유로(36e)에 설치되어도 된다. 압력센서(50)는, 도 1에 나타나는 바와 같이, 냉동기하우징(20)에 장착되어도 된다.

[0037] 따라서, 압력센서(50)는, 상부실(30)의 주기적 압력변동을 측정하고, 측정압력파형(S1)을 출력한다. 측정압력파형(S1)은, 극저온냉동기(10)의 운전 중에 있어서의 압력센서(50)의 측정값의 시간변화를 나타낸다. 압력센서(50)는, 유선 또는 무선에 의하여 연산처리장치(60)에 통신 가능하게 접속되어 있다.

[0038] 다만, 압력센서(50)는, 냉동기실린더(16) 내의 압력, 예를 들면 제1 팽창실(32) 또는 제2 팽창실(34)의 압력을 측정하도록, 냉동기실린더(16)에 설치되어도 된다. 이와 같이 해도, 압력센서(50)는, 압력전환밸브(40)가 팽창기(14) 내에 발생시키는 주기적 압력변동을 측정할 수 있다.

[0039] 또, 다른 대체예로서, 압력센서(50)는, 압축기(12)와 팽창기(14)를 접속하는 고압측의 배관(13a)에 마련되며, 고압측의 배관(13a)의 압력을 측정해도 된다. 혹은, 압력센서(50)는, 압축기(12)와 팽창기(14)를 접속하는 저압측의 배관(13b)에 마련되며, 저압측의 배관(13b)의 압력을 측정해도 된다. 이와 같이 해도, 압력센서(50)는, 압력전환밸브(40)의 동작에 기인하는 극저온냉동기(10) 내의 주기적 압력변동을 측정할 수 있고, 얻어지는 측정압력파형(S1)은, 극저온냉동기(10)의 진단에 사용할 수 있다.

[0040] 연산처리장치(60)는, 압력센서(50)로부터 측정압력파형(S1)을 수신하고, 이를 처리하여, 극저온냉동기(10)의 진단에 이용 가능한 데이터(S2)를 생성하도록 구성된다. 진단장치(70)는, 연산처리장치(60)가 생성하는 데이터(S2)를 수신하고, 이것에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단하도록 구성된다. 연산처리장치(60)와 진단장치(70)는, 극저온냉동기(10)의 냉동기하우징(20)과 동일하게, 주위환경(예를 들면 실온대기압환경)에 배치된다.

[0041] 이 실시형태에서는, 진단장치(70)는, 연산처리장치(60)로부터 원격으로 배치되고, 예를 들면 인터넷 또는 그 외 적절한 통신네트워크(80)를 통하여 연산처리장치(60)와 통신 가능하게 접속된다. 연산처리장치(60)는, 생성하는 데이터(S2)를 통신네트워크(80)에 출력하고, 진단장치(70)는, 연산처리장치(60)로부터 출력되는 데이터(S2)를 통신네트워크(80)로부터 수신할 수 있다.

[0042] 예시적인 사용장면에 있어서는, 연산처리장치(60)는, 극저온냉동기(10)의 일부로서, 또는 극저온냉동기(10)와 함께, 극저온냉동기(10)의 유저의 관리하에 놓여도 된다. 그 한편, 진단장치(70)는, 극저온냉동기(10)의 제조업자, 또는 극저온냉동기(10)의 수리 등 메인테이너스서비스를 제공하는 서비스업자의 관리하에 놓여도 된다.

[0043] 혹은, 연산처리장치(60)와 진단장치(70)는, 근접하여 배치되어도 되고, 혹은, 통합되어 있어도 된다. 이 경우, 연산처리장치(60)와 진단장치(70)는 모두, 극저온냉동기(10)의 유저의 관리하에 놓여도 된다.

[0044] 진단장치(70)는, 진단결과를 나타내는 정보를 시각적으로 통지하는 통지수단(72)을 구비해도 되고, 통지수단(72)은 예를 들면 디스플레이이나 경고등을 포함할 수 있다. 통지수단(72)은, 스피커 등 음성에 의하여 진단결과를 통지하는 것이어도 된다. 통지수단(72)은, 통신네트워크(80)를 통하여 다른 기기에 진단결과를 송신해도 된다.

[0045] 연산처리장치(60) 및 진단장치(70)의 내부구성은, 하드웨어구성으로서는 컴퓨터의 CPU(Central Processing Unit)나 메모리를 비롯한 요소나 회로로 실현되고, 소프트웨어구성으로서는 컴퓨터프로그램 등에 의하여 실현되지만, 도면에서는 적절히, 그들의 연계에 의하여 실현되는 기능블록으로서 그리고 있다. 이들 기능블록은 하드웨어, 소프트웨어의 조합에 의하여 다양한 형태로 실현될 수 있는 것은, 당업자에게는 이해되는 부분이다.

[0046] 도 4는, 실시형태에 관한 극저온냉동기(10)의 진단방법을 나타내는 플로차트이다. 본 방법은, 극저온냉동기(10) 내의 압력을 나타내는 측정압력파형(S1)을 취득하는 것과(S10), 측정압력파형(S1)으로부터 대상의 주파수성분의 진폭을 연산하는 것과(S20), 연산되는 진폭에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단하는 것(S30)을 구비한다.

[0047] S10에서는, 압력센서(50)를 사용하여, 측정압력파형(S1)이 취득된다. 측정압력파형(S1)은, 극저온냉동기(10)의

운전 중, 수시취득되어도 된다.

- [0048] 혹은, 극저온냉동기(10)는, 진단용의 운전모드를 가져도 되고, 측정압력파형(S1)을 취득하기 위하여 이 운전모드를 실행해도 된다. 진단용의 운전모드는, 극저온냉동기(10)를 탑재한 예를 들면 초전도기기나 MRI시스템 등의 극저온냉동기이용설비의 미사용시간대(예를 들면, 야간이나, 당해 이용설비의 메인터넌스작업 중 등)에 실행되어도 된다. 진단용의 운전모드에서는, 극저온냉동기(10)는, 미리 정해진 구동주파수로 운전되어도 된다. 그와 함께, 진단용의 운전모드에서는, 극저온냉동기(10)는, 미리 정해진 냉각온도로 운전되어도 된다. 이와 같이 하면, 측정압력파형(S1)을 매번 동일한 운전조건으로 취득할 수 있어, 진단정밀도의 향상으로 이어진다.
- [0049] S20에서는, 연산처리장치(60)를 사용하여, 극저온냉동기(10)의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭이 측정압력파형(S1)으로부터 연산된다. 그 때문에, 연산처리장치(60)는, 측정압력파형(S1)을 수신하고, 측정압력파형(S1)으로부터 극저온냉동기(10)의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭을 연산하도록 구성된다. 연산처리장치(60)는, 적어도, 극저온냉동기(10)의 구동주파수의 진폭을 측정압력파형(S1)으로부터 연산해도 된다.
- [0050] 여기에서, 극저온냉동기(10)의 구동주파수란, 극저온냉동기(10)의 냉동사이클의 단위시간당의 횟수에 상당하고, 팽창기(14)의 구동모터(42)의 운전주파수 또는 회전수에 근거하여 결정된다. 구동주파수는, 전형적으로 예를 들면 1Hz 정도이다. 구동주파수의 값은, 연산처리장치(60)에 미리 입력되어 저장되어 있어도 된다. 연산처리장치(60)는, 측정압력파형(S1)으로부터 구동주파수를 구해도 된다.
- [0051] 연산처리장치(60)는, 측정압력파형(S1)으로부터 극저온냉동기(10)의 구동주파수 및 그 정수배의 주파수성분 중 복수의 주파수성분 각각에 대하여 진폭을 연산하도록 구성되어도 된다. 연산처리장치(60)는, 극저온냉동기(10)의 구동주파수의 진폭, 구동주파수의 2배의 주파수성분의 진폭, 및 구동주파수의 3배의 주파수성분의 진폭으로부터 선택되는 적어도 2개의 진폭(예를 들면, 구동주파수 및 그 2배의 주파수성분의 진폭), 또는, 이를 3개의 진폭을 연산해도 된다.
- [0052] 또, 극저온냉동기(10)의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭을 연산함과 함께, 또는 이것 대신에, 연산처리장치(60)는, 측정압력파형(S1)의 직류성분(즉, 측정압력파형(S1)의 평균압력)을 연산하도록 구성되어도 된다.
- [0053] 연산처리장치(60)는, 고속푸리에변환(Fast Fourier transform; FFT)처리를 실행 가능한 프로세서여도 되고, 측정압력파형(S1)에 FFT처리를 적용함으로써 대상의 주파수성분의 진폭을 연산해도 된다. 이와 같이 하여, 연산처리장치(60)가 생성하는 데이터(S2)에는, 연산된 대상의 주파수성분의 진폭 및 직류성분을 나타내는 데이터가 포함될 수 있다.
- [0054] S30에서는, 진단장치(70)를 사용하여, 극저온냉동기(10)의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분의 진폭에 근거하여 극저온냉동기(10)가 진단된다. 진단장치(70)는, 연산처리장치(60)에 의하여 연산되는 진폭을 수신하고, 진폭에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단하도록 구성된다. 상술과 같이 진단장치(70)가 연산처리장치(60)로부터 원격으로 배치되는 경우, 진단장치(70)는, 연산처리장치(60)에 의하여 연산되는 진폭을 통신네트워크(80)를 통하여 수신하도록 구성된다.
- [0055] 연산처리장치(60)에 의하여 상술과 같이 측정압력파형(S1)으로부터 복수의 주파수성분이 연산되는 경우, 진단장치(70)는, 그들 복수의 주파수성분의 진폭을 수신하고, 복수의 주파수성분의 진폭에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단하도록 구성되어도 된다. 연산처리장치(60)에 의하여 측정압력파형(S1)의 직류성분이 추가적으로 연산되는 경우, 진단장치(70)는, 연산되는 진폭 및 직류성분을 수신하고, 진폭 및 직류성분에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단하도록 구성되어도 된다.
- [0056] 진단장치(70)는, 취득되는 진폭을 진폭임계값과 비교하고(및/또는, 취득되는 직류성분을 그 임계값과 비교하며), 비교결과에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단해도 된다. 진단장치(70)는, 진폭 및/또는 직류성분이 임계값에 도달할 때, 극저온냉동기(10)의 고장을 검지해도 된다. 혹은, 진단장치(70)는, 진폭 및/또는 직류성분이 임계값에 도달할 때, 가까운 장래에 고장이 발생할 수 있다고 극저온냉동기(10)의 고장을 예측해도 된다. 이와 같은 진폭 및/또는 직류성분의 임계값은, 설계자의 경험적 지식 또는 설계자에 의한 실험이나 시뮬레이션 등에 근거하여 적절히 설정하는 것이 가능하다.
- [0057] 혹은, 진단장치(70)는, 심충학습 등의 기계학습에 근거하는 진단알고리즘을 구비해도 되고, 진단알고리즘은, 취득되는 진폭 및/또는 직류성분을 입력으로 하여 특정의 진단모드(예를 들면, 후술하는 진단모드 중 적어도

하나)에 대하여 진단결과를 출력하도록 구성되어도 된다.

[0058] 이 실시형태에서는, 진단장치(70)는, 극저온냉동기(10)의 복수의 고장모드를 진단하도록 구성된다. 몇 개의 예시적인 고장모드와 그 진단에 대하여, 도 5 내지 도 10을 참조하여 이하에 설명한다. 이들 고장모드의 진단을 위하여, 연산처리장치(60)는, 측정압력파형(S1)으로부터, 극저온냉동기(10)의 구동주파수(이하, 1차 주파수라고도 한다)의 진폭, 구동주파수의 2배의 주파수성분(이하, 2차 주파수라고도 한다)의 진폭, 구동주파수의 3배의 주파수성분(이하, 3차 주파수라고도 한다)의 진폭, 및 직류성분을 연산한다.

[0059] 도 5 내지 도 10에는, 각각 제1 내지 제6 고장모드에 대하여 진단장치(70)에 의한 진단이 가능한 것을 실증하기 위하여 본 발명자에 의하여 행해진 검토결과가 나타난다. 도 5 내지 도 10의 각 도면은, 좌측에 측정압력파형(S1)을 나타내고, 우측에 대상주파수성분의 진폭 및 직류성분을 나타낸다. 정상인 극저온냉동기(10)에 대하여 취득된 측정압력파형(S1)이 파선으로 나타나고, 고장난 극저온냉동기(10)(보다 정확하게는, 정상인 극저온냉동기(10)에 있어서 당해 고장모드를 모의하도록 구성하거나 또는 동작시킨 것)에 대하여 취득된 측정압력파형(S1)이 실선으로 나타난다. 동일하게, 정상인 극저온냉동기(10)에 대하여 취득된 진폭 및 직류성분이 파선으로 나타나고, 고장난 극저온냉동기(10)에 대하여 취득된 진폭 및 직류성분이 실선으로 나타난다.

[0060] 도 5에 나타나는 제1 고장모드는, 극저온냉동기(10)에 봉입되는 작동가스압력의 부족이다. 봉입압부족이더라도, 압축기(12)의 정상인 운전에 의하여, 그 고압측과 저압측의 차압은 유지된다. 그 때문에, 제1 고장모드의 측정압력파형(S1)은, 정상 시의 측정압력파형(S1)에 대하여 하방으로 평행이동한 것으로 된다. 따라서, 제1 고장모드는, 측정압력파형(S1)의 직류성분(DC)에 나타난다. 1차 주파수를 비롯하여 다른 주파수성분의 진폭은, 파형이 유지되고 있는 점에서, 변하지 않는다.

[0061] 그래서, 측정압력파형(S1)의 직류성분에 대하여 제1 임계값 Th1이 설정된다. 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)의 직류성분을 제1 임계값 Th1과 비교하여, 비교결과에 근거하여 제1 고장모드를 진단한다. 제1 고장모드에 대하여, 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)의 직류성분이 제1 임계값 Th1을 상회할 때 정상으로 판정하고, 측정압력파형(S1)의 직류성분이 제1 임계값 Th1을 하회할 때 이상으로 판정한다. 이와 같이 하여, 진단장치(70)는, 제1 고장모드, 즉 극저온냉동기(10)의 봉입압부족을 검지하거나, 또는 예측할 수 있다.

[0062] 도 6에 나타나는 제2 고장모드는, 팽창기(14) 내의 압력손실증가에 의한 냉각부족이다. 압력손실증가에 의하여 팽창기(14) 내에서 작동가스가 흐르기 어려워지기 때문에, 제2 고장모드의 측정압력파형(S1)은, 정상 시의 측정압력파형(S1)과 비교하여, 고압측의 압력이 보다 높아지고, 저압측의 압력이 보다 낮아진다. 즉 차압이 확대된다. 그 영향에 의하여, 제2 고장모드는, 측정압력파형(S1)의 1차 주파수의 진폭에 나타난다. 도시되는 바와 같이, 2차 주파수 및 3차 주파수의 진폭은 변하지 않는 것을 알 수 있다. 평균압력은 유지되기 때문에, 직류성분도 변하지 않는다.

[0063] 그래서, 1차 주파수의 진폭에 대하여 제2 임계값 Th2가 설정된다. 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)의 1차 주파수의 진폭을 제2 임계값 Th2와 비교하여, 비교결과에 근거하여 제2 고장모드를 진단한다. 제2 고장모드에 대하여, 진단장치(70)는, 1차 주파수의 진폭이 제2 임계값 Th2를 하회할 때 정상으로 판정하고, 1차 주파수의 진폭이 제2 임계값 Th2를 상회할 때 이상으로 판정한다. 이와 같이 하여, 진단장치(70)는, 제2 고장모드, 즉 팽창기(14) 내의 압력손실증가를 검지하거나, 또는 예측할 수 있다.

[0064] 도 7에 나타나는 제3 고장모드는, 고저압블로바이(blowby)이다. 이것은 즉, 팽창기(14) 내에서의 고압영역으로부터 저압영역으로의 작동가스의 누출이며, 그 원인은 예를 들면, 팽창기(14) 내의 시일부(예를 들면 제3 시일(38c))의 열화(劣化), 압력전환밸브(40)가 로터리밸브로 구성되는 경우에 그 회전슬라이딩면에서의 누출 등이 있을 수 있다. 고저압블로바이는 극저온냉동기(10)의 냉동능력저하를 초래할 수 있다.

[0065] 제3 고장모드의 측정압력파형(S1)은, 정상 시의 측정압력파형(S1)과 비교하여, 고압측의 압력이 하강하고, 저압측의 압력이 상승한다. 이와 같이 차압이 축소되기 때문에, 제3 고장모드는, 측정압력파형(S1)의 1차 주파수의 진폭에 나타난다. 도시되는 바와 같이, 2차 주파수 및 3차 주파수의 진폭은 변하지 않는 것을 알 수 있다. 평균압력은 유지되기 때문에, 직류성분도 변하지 않는다.

[0066] 그래서, 1차 주파수의 진폭에 대하여 제3 임계값 Th3이 설정된다. 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)의 1차 주파수의 진폭을 제3 임계값 Th3과 비교하여, 비교결과에 근거하여 제3 고장모드를 진단한다. 제3 고장모드에 대하여, 진단장치(70)는, 1차 주파수의 진폭이 제3 임계값 Th3을 상회할 때 정상으로 판정하고, 1차 주파수의 진폭이 제3 임계값 Th3을 하회할 때 이상으로 판정한다. 이와 같이 하여, 진단장치(70)는, 제3 고장모드, 즉 팽창기(14) 내의 고저압블로바이를 검지하거나, 또는 예측할 수 있다.

- [0067] 도 8에 나타나는 제4 고장모드는, 압축기(12)의 고압저하이다. 이것은 예를 들면, 압축기(12)의 고압측의 작동 가스유로에 마련되는 구성요소(예를 들면, 애드소버(adsorber))에서의 압력손실증가, 또는 그 외의 이상에 기인한다고 생각된다. 압축기(12)의 고압저하도 극저온냉동기(10)의 냉동능력저하를 초래할 수 있다. 고압의 저하에 의하여, 제4 고장모드는, 측정압력파형(S1)의 직류성분과 1차 주파수의 진폭에 나타난다. 도시되는 바와 같이, 2차 주파수 및 3차 주파수의 진폭은 변하지 않는 것을 알 수 있다.
- [0068] 그래서, 제4 고장모드에 대해서는, 측정압력파형(S1)의 직류성분에 대하여 제4 임계값 Th4\_1이 설정되고, 1차 주파수의 진폭에 대하여 다른 임계값 Th4\_2가 설정된다. 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)의 직류성분을 제4 임계값 Th4\_1과 비교하고, 측정압력파형(S1)의 1차 주파수의 진폭을 다른 임계값 Th4\_2와 비교하여, 이를 비교 결과에 근거하여 제4 고장모드를 진단한다. 진단장치(70)는, (i) 측정압력파형(S1)의 직류성분이 제4 임계값 Th4\_1을 상회하는 것, 또는, (ii) 1차 주파수의 진폭이 임계값 Th4\_2를 상회하는 것 중 어느 일방이 성립할 때 정상으로 판정한다. 또, 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)의 직류성분이 제4 임계값 Th4\_1을 하회하고, 또한 1차 주파수의 진폭이 임계값 Th4\_2를 하회할 때 이상으로 판정한다.
- [0069] 이와 같이 하여, 진단장치(70)는, 제4 고장모드, 즉 압축기(12)의 고압저하를 검지하거나, 또는 예측할 수 있다. 직류성분과 1차 주파수의 진폭을 양방 모두 봄으로써, 제1 고장모드와 제4 고장모드를 구별할 수 있다.
- [0070] 도 9에 나타나는 제5 고장모드는, 압력센서(50)의 이상이다. 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)으로부터 연산되는 대상주파수성분의 진폭의 대소관계를 취득하고, 이 대소관계에 근거하여 제5 고장모드를 진단해도 된다. 도면으로부터 이해되는 바와 같이, 정상인 극저온냉동기(10)는, 1차 주파수의 진폭이 가장 크고, 3차 주파수의 진폭이 다음으로 크며, 2차 주파수의 진폭은 이들 중에서 최소로 되는 경향을 취할 수 있다. 이에 대하여, 도 9에 나타나는 제5 고장모드의 측정압력파형(S1)에서는, 일례로서, 2차 주파수의 진폭이 3차 주파수의 진폭보다 커져 있다. 따라서, 정상 시의 진폭의 대소관계 "1차의 진폭>3차의 진폭>2차의 진폭"과 상이한 대소관계가 발생한 경우, 진단장치(70)는, 압력센서(50)의 이상이라고 판단할 수 있다.
- [0071] 도 10에 나타나는 제6 고장모드는, 모터슬립이다. 이 경우, 구동모터(42)의 회전이 불규칙해져, 팽창기(14) 내의 주기적 압력변동도 흐트러지고, 그 결과로서, 측정압력파형(S1)으로부터 연산되는 대상주파수성분의 진폭이 저하된다. 도시되는 바와 같이, 1차 주파수뿐만 아니라, 2차 주파수 및 3차 주파수의 진폭도 저하된다. 그래서, 제6 고장모드에 대해서는, 연산되는 복수의 주파수성분 각각에 임계값이 설정되고, 진단장치(70)는, 각 주파수 성분의 진폭을 대응하는 임계값과 비교하여, 그들 비교결과에 근거하여 제6 고장모드를 진단한다. 제6 고장모드에 대하여, 진단장치(70)는, 모든 주파수성분의 진폭이 각각의 임계값을 하회할 때 이상으로 판정하고, 그 이외의 경우에는 정상으로 판정해도 된다.
- [0072] 이상 설명한 바와 같이, 실시형태에 의하면, 극저온냉동기(10)의 압력측정에 근거하는 진단기술을 제공할 수 있다. 극저온냉동기의 구동주파수 또는 그 정수배의 주파수성분에는 극저온냉동기(10)의 동작 및 성능을 반영하는 정보가 포함되는 것으로 기대되는 점에서, 이러한 주파수성분을 이용하여, 상술과 같이 다양한 고장모드를 진단할 수 있다.
- [0073] 또, 측정압력파형(S1)을 진폭데이터로 가공함으로써, 진단에 사용되는 데이터양을 현저히 저감시킬 수 있다. 1주기분의 냉동사이클에 대한 측정압력파형(S1)을 충분한 재현성으로 표현하기 위해서는 다수의 압력측정점을 필요로 하는 데 대하여, 진폭의 값은 1주기분의 냉동사이클에 대하여 1개만이어도 된다. 따라서, 실시형태는, 진단장치(70)가 연산처리장치(60)로부터 원격으로 배치되는 경우에 적합하다. 측정압력파형(S1)을 진폭데이터로 가공함으로써, 통신네트워크(80)를 통하는 연산처리장치(60)로부터 진단장치(70)로의 통신데이터양을 저감시킬 수 있다.
- [0074] 만일, 극저온냉동기가 갑자기 고장난 경우, 복구까지 걸리는 시간은 비교적 길어지기 쉽다. 예를 들면, 극저온냉동기의 수리서비스가 혼잡하다면, 수리완료까지 수일 이상 기다려야 할지도 모른다. 예정대로 시스템을 가동시킬 수 없어질지도 몰라, 문제이다. 또, 액체 헬륨 등의 극저온냉매가 냉각에 사용되는 시스템에서는, 극저온냉동기가 정지하고 있는 동안, 냉매를 재응축할 수 없다. 극저온냉동기의 정지기간이 늘어날수록, 증발하여 사라지는 냉매의 양도 늘어나, 냉매를 대량으로 보충해야 할지도 모른다. 특히, 냉매가 액체 헬륨인 경우에는, 최근 액체 헬륨은 고가이기 때문에, 유저의 경제적인 부담이 커진다.
- [0075] 그런데, 실시형태에 의하면, 극저온냉동기(10)를 진단할 수 있으므로, 이것을 이용하여, 극저온냉동기(10) 또는 극저온냉동기(10)를 탑재한 시스템(예를 들면 MRI시스템)의 유저 또는 서비스업자는, 수리 또는 신제품과의 교환 등 메인테이너스를 미리 계획할 수 있다. 필요한 타이밍에 메인테이너스를 설정함으로써, 시스템의 가동에 대한

영향을 최소화할 수 있다. 증발에 의한 냉매의 손실도 저감되어, 시스템의 운전비용도 억제할 수 있다.

[0076] 다만, 일 실시형태에 있어서는, 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)을 취득하고, 측정압력파형(S1)에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단하도록 구성되어도 된다. 예를 들면, 진단장치(70)는, 측정압력파형(S1)에 근거하여 상술한 제3 고장모드(고저압블로바이)를 진단해도 된다.

[0077] 도 11은, 실시형태에 관하여, 측정압력파형(S1)에 근거하는 극저온냉동기(10)의 진단의 원리를 설명하기 위한 도이다. 도 11에는, 압력센서(50)의 출력, 즉 측정압력파형(S1)이 나타나 있다. 정상인 극저온냉동기(10)에 대하여 취득된 측정압력파형(S1)이 파선으로 나타나고, 고장난 극저온냉동기(10)에 대하여 취득된 측정압력파형(S1)이 실선으로 나타난다.

[0078] 극저온냉동기(10)가 어느 긴 기간에 걸쳐 운전되고, 팽창기(14) 내의 시일부품(예를 들면 제3 시일(38c))이 열화된 경우, 작동가스가 당해 시일부품에서 고압영역으로부터 저압영역으로 누출되기 때문에, 측정압력파형(S1)의 피크값이 정상 시에 비하여 저하된다. 피크값의 저하량  $\Delta S$ 는, 극저온냉동기(10)의 누적의 운전시간이 길어질수록 확대된다. 저하량  $\Delta S$ 의 확대(즉 내부누출의 증가)는 극저온냉동기(10)의 냉동성능의 저하를 초래한다. 따라서, 피크값의 저하량  $\Delta S$ 에 근거하여, 극저온냉동기(10)를 진단할 수 있다.

[0079] 또, 연산처리장치(60)는, 측정압력파형(S1)에 근거하여 극저온냉동기(10)의 팽창일(팽창기(14)의 PV일(PV work))을 연산하도록 구성되어도 된다. 도 12는, 측정압력파형(S1)으로부터 연산되는 극저온냉동기(10)의 PV선도의 예이다. 도 12의 세로축은 압력(P)을 나타내고, 가로축은 용적(V)을 나타낸다. 정상인 극저온냉동기(10)의 측정압력파형(S1)으로부터 연산되는 PV선도가 파선으로 나타나고, 고장난 극저온냉동기(10)의 측정압력파형(S1)으로부터 연산되는 PV선도가 실선으로 나타난다. 알려진 바와 같이, PV일은 PV선도의 면적으로 주어진다.

[0080] 진단장치(70)는, 연산처리장치(60)에 의하여 연산되는 PV일을 수신하고, PV일에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단해도 된다. PV일은 극저온냉동기(10)의 냉동능력을 대체로 양호하게 나타내기 때문에, 진단을 위하여 PV일에 임계값이 설정되어도 된다. 진단장치(70)는, 취득되는 PV일을 임계값과 비교하여, 비교결과에 근거하여 극저온냉동기(10)를 진단한다. 진단장치(70)는, PV일이 임계값을 상회할 때 정상으로 판정하고, PV일이 임계값을 하회할 때 이상으로 판정해도 된다. 이와 같이 하여, 진단장치(70)는, 극저온냉동기(10)의 냉동능력저하를 검지하거나, 또는 예측할 수 있다.

[0081] 극저온냉동기의 냉각온도를 모니터링함으로써 극저온냉동기의 고장을 예지하는 시도가 있다. 이것은, 극저온냉동기가 장기간의 사용에 따라 점점 차가워지기 어려워져, 냉각온도가 장기적으로 조금씩 높아질 수 있는 것에 근거한다. 그러나, 냉각온도는, 누적의 운전시간뿐만 아니라, 극저온부로의 입열 등 극저온냉동기의 운전조건에 의존한다(입열증가를 냉동능력저하로 오컴지할 리스크가 있다). 또, 냉각온도는, 누적의 운전시간에 따라 선형으로 변화한다고는 한정되지 않는다. 따라서, 현실적으로는, 냉각온도에 근거하는 고장예지가 양호하게 가능하는 경우는 한정적이다.

[0082] 이에 대하여, PV일에 근거하는 진단은, 극저온냉동기(10)로의 외부로부터의 열부하의 영향을 받지 않는다. 그 때문에, 냉각온도에 근거하는 진단에 비하여, 정확한 진단이 가능해지는 것으로 기대된다.

[0083] 이상, 본 발명을 실시예에 근거하여 설명했다. 본 발명은 상기 실시형태에 한정되지 않고, 다양한 설계변경이 가능하며, 다양한 변형예가 가능한 것, 또 그러한 변형예도 본 발명의 범위에 있는 것은, 당업자에게 이해되는 바이다. 일 실시형태에 관련하여 설명한 다양한 특징은, 다른 실시형태에도 적용 가능하다. 조합에 의하여 발생하는 새로운 실시형태는, 조합된 실시형태 각각의 효과를 겸비한다.

[0084] 상술한 실시형태에서는, GM냉동기를 예로서 설명하고 있지만, 본 발명은 이에 한정되지 않는다. 일 실시형태에 있어서는, 극저온냉동기(10)는, 예를 들면, 솔베이냉동기, 스텔링냉동기, 필스관냉동기 등, 다른 형식의 극저온냉동기여도 된다.

[0085] 상술한 실시형태에서는, 극저온냉동기(10)가 예를 들면 MRI시스템 등 초전도기기에 탑재되어 그 냉각에 이용되는 경우를 예로서 설명하고 있지만, 이것은 예시에 지나지 않는다. 일 실시형태에 있어서는, 극저온냉동기(10)는, 예를 들면 크라이오펌프 등 다른 극저온기기에 탑재되어 그 냉각에 이용되어도 된다. 실시형태에 관한 진단기술은, 그러한 극저온기기에 적용 가능하다.

[0086] 실시형태에 근거하여, 구체적인 어구를 이용하여 본 발명을 설명했지만, 실시형태는, 본 발명의 원리, 응용의 일 측면을 나타내고 있는 것에 지나지 않고, 실시형태에는, 청구범위에 규정된 본 발명의 사상을 벗어나지 않는 범위에 있어서, 많은 변형이나 배치의 변경이 인정된다.

[0087] 산업상 이용가능성

[0088] 본 발명은, 극저온냉동기진단시스템, 극저온냉동기 및 극저온냉동기진단방법의 분야에 있어서의 이용이 가능하다.

**부호의 설명**

[0089] 10 극저온냉동기

14 팽창기

40 압력전환밸브

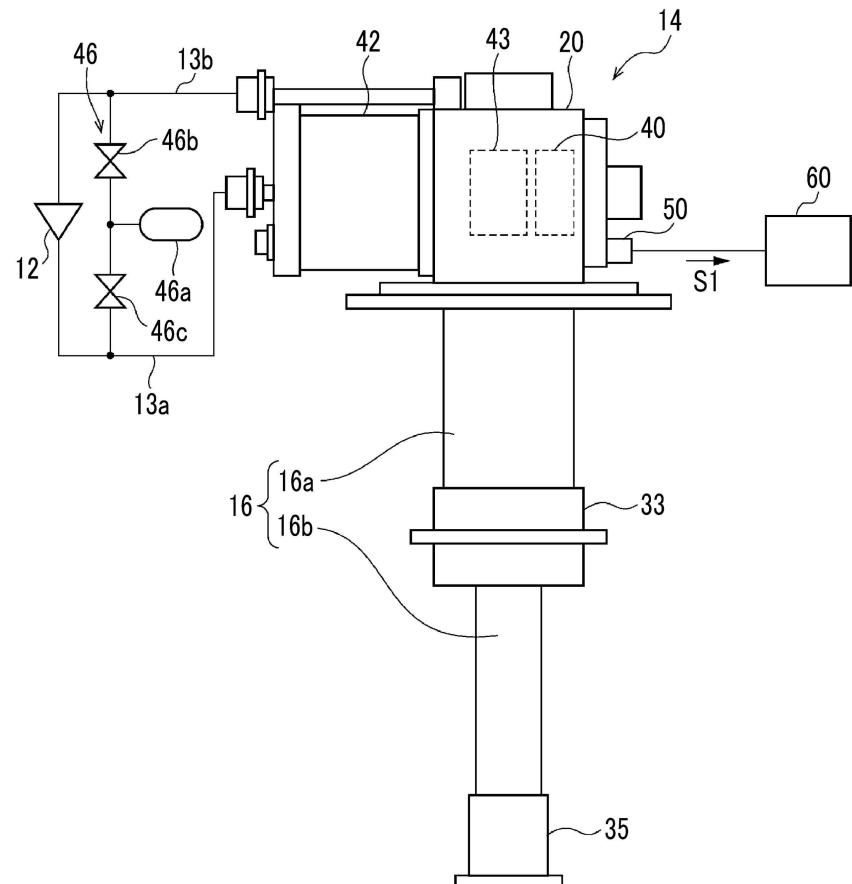
50 압력센서

60 연산처리장치

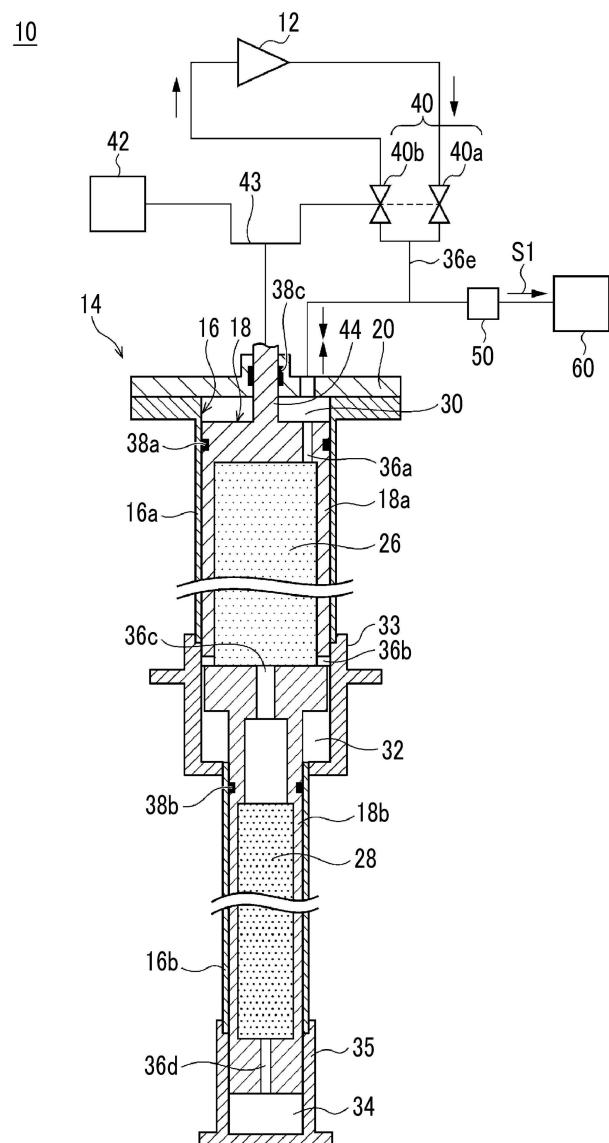
70 진단장치

80 통신네트워크

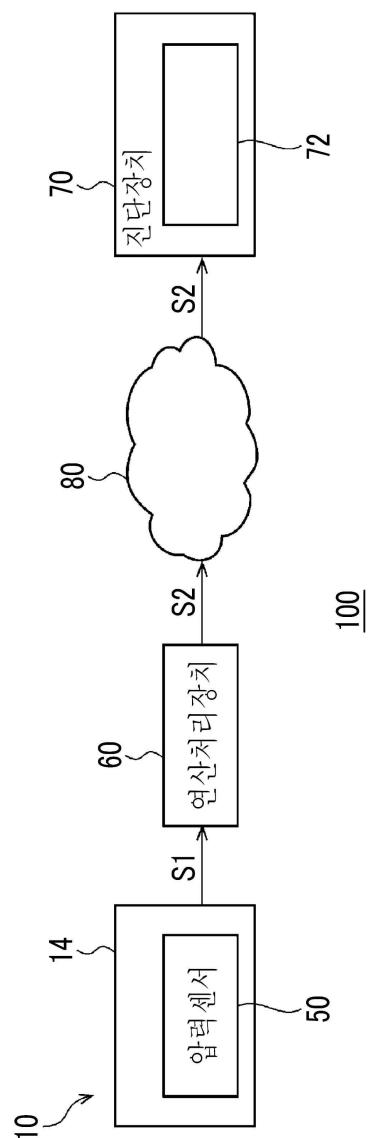
100 진단시스템

**도면****도면1**

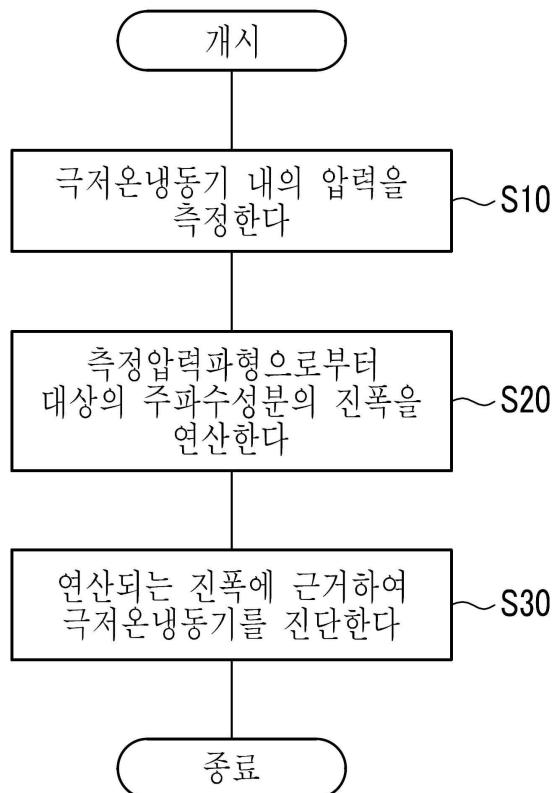
도면2



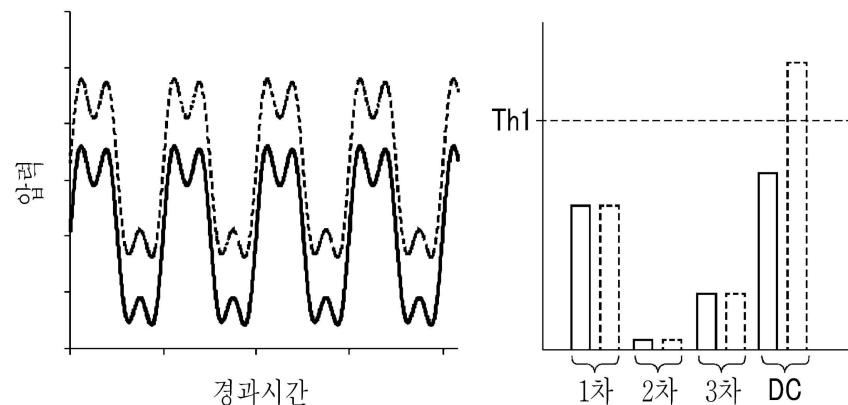
## 도면3



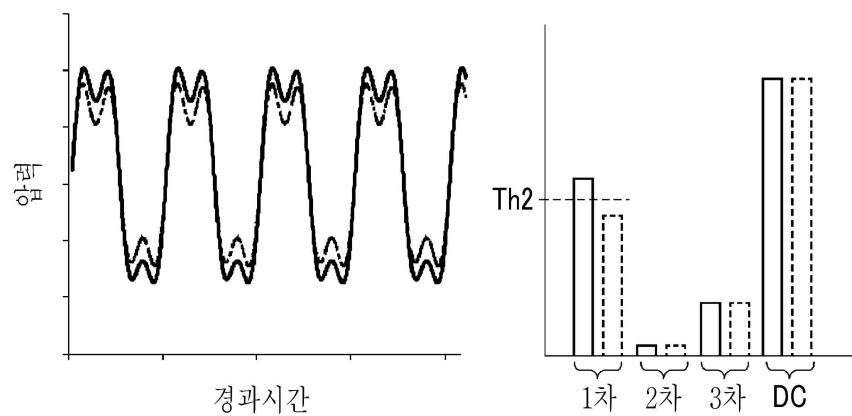
## 도면4



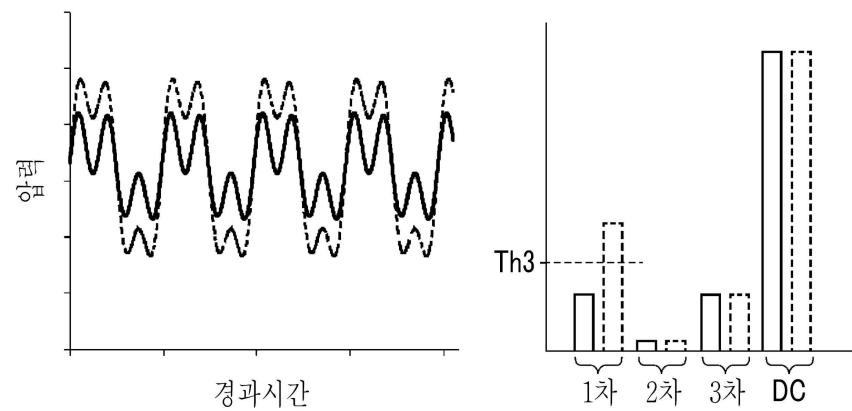
## 도면5



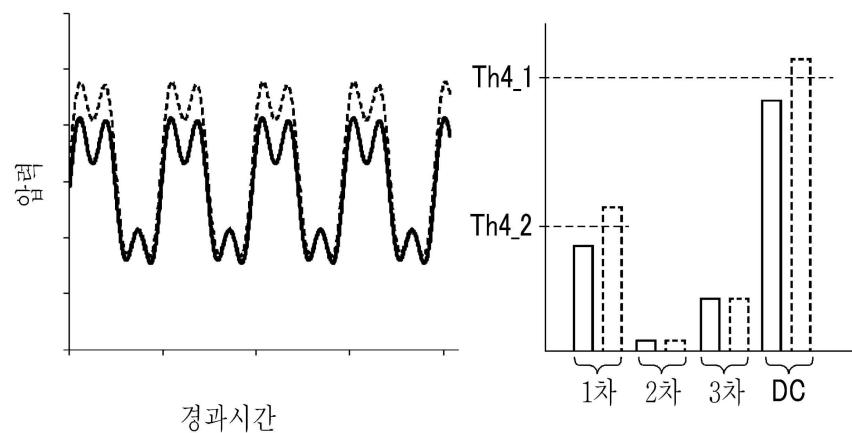
도면6



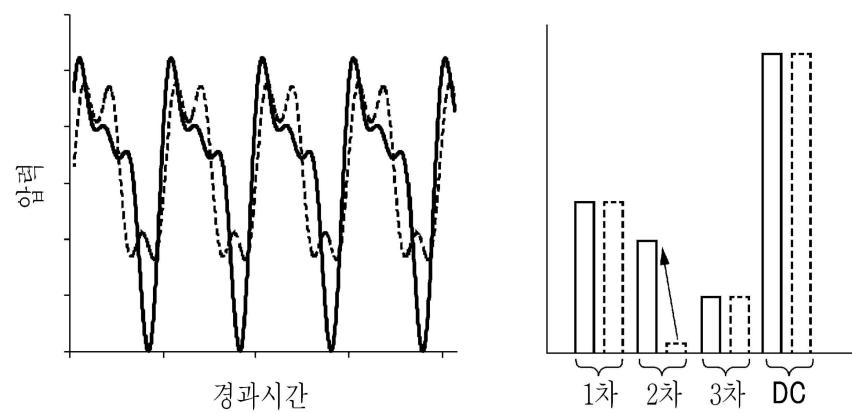
도면7



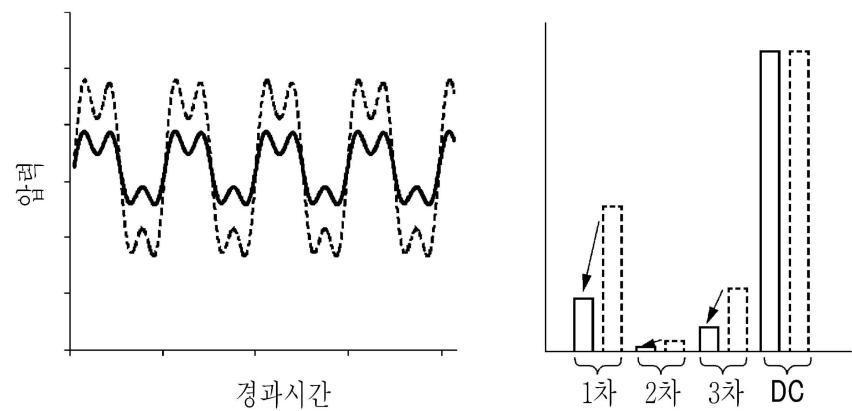
도면8



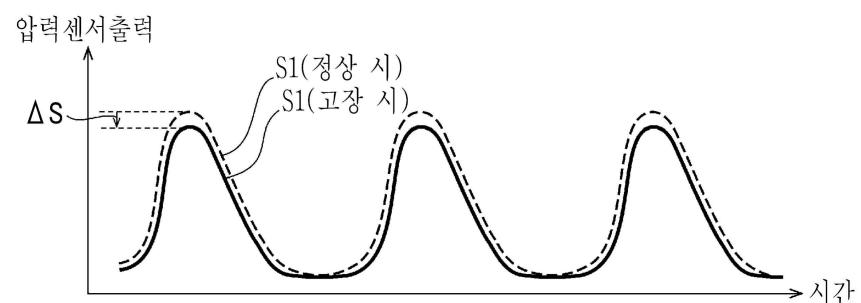
도면9



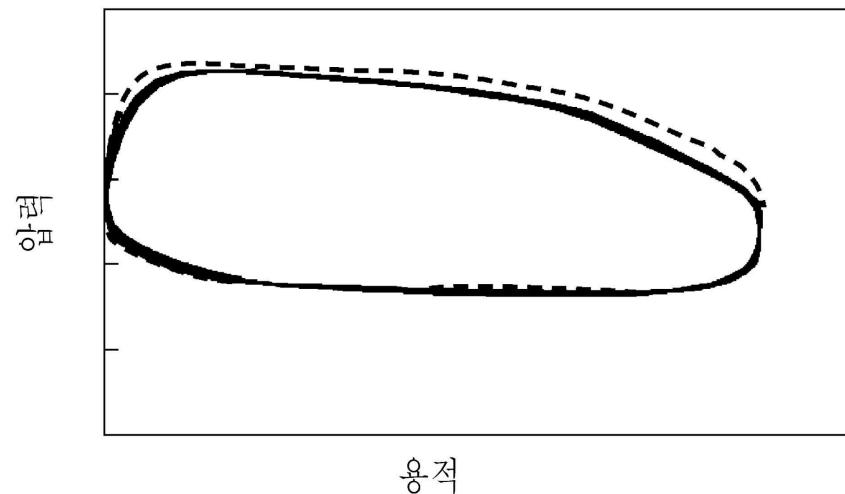
도면10



도면11



도면12



용적