



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0054924  
(43) 공개일자 2024년04월26일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
F25B 9/08 (2006.01) F25B 1/10 (2006.01)  
F25B 40/00 (2006.01) F25B 41/24 (2021.01)  
F25B 9/00 (2022.01)
- (52) CPC특허분류  
F25B 9/08 (2013.01)  
F25B 1/10 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7045404
- (22) 출원일자(국제) 2022년07월04일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2023년12월29일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2022/025306
- (87) 국제공개번호 WO 2023/280439  
국제공개일자 2023년01월12일
- (30) 우선권주장  
21020348.5 2021년07월05일  
유럽특허청(EPO)(EP)

- (71) 출원인  
린데 크라이오테크닉 아게  
스위스 폰겐 8422 데트리코너르스트라세 5
- (72) 발명자  
데커, 루츠  
독일 플라흐 82049 디알.-카를-폰-린데-슈트라세  
6-14 아이피 이엠에이 린데 게엠베하 내
- (74) 대리인  
양영준, 조윤성

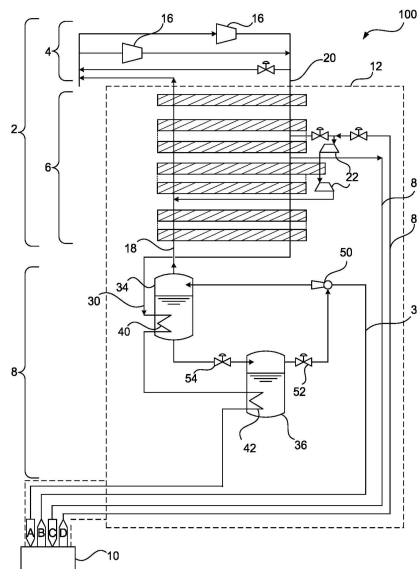
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 헬륨 냉각을 공급하는 예냉 회로 및 방법

(57) 요약

본 발명은 냉각될 적어도 하나의 소비자(72)에게 헬륨 냉각을 공급하기 위한 예냉 회로에 관한 것으로, 이 예냉 회로는, 냉각될 적어도 하나의 소비자와 열을 교환하도록 설계된 냉각 장치(10)를 통해 서로 연결되는 공급 라인(30) 및 복귀 라인(32); 열을 환경으로 방출하고, 되돌아 흐르는 헬륨을 압축하고, 압축된 헬륨을 상기 공급 라(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



인으로 공급하도록 설계된 헬륨 냉각 시스템(2); 제1 및 제2 냉각조 컨테이너(34, 36) - 공급 라인은 제1 냉각조 컨테이너(34)의 바닥 영역에 배치된 제1 열교환기(40)를 통하여 연장되고 이어서 제2 냉각조 컨테이너(36)의 바닥 영역에 배치된 제2 열교환기(42)를 통하여 냉각 장치의 방향으로 연장되고, 제1 냉각조 컨테이너의 상부 영역은 재순환 라인(18)을 통해 상기 헬륨 냉각 시스템에 연결됨 -; 복귀 라인에 연결되는 구동 흐름 개구, 상기 제2 냉각조 컨테이너의 상부 영역에 연결되는 흡입 개구, 및 제1 냉각조 컨테이너의 상부 영역에 연결되는 토출 개구를 갖는 이젝터(50)로서, 냉각 장치로부터 되돌아 흐르는 헬륨을, 제2 냉각조 컨테이너로부터 헬륨 증기를 흡입하여 이를 제1 냉각조 컨테이너의 압력까지 높이기 위한 구동 흐름으로서 사용하도록 설계된 이젝터를 포함한다.

(52) CPC특허분류

**F25B 40/00** (2013.01)

**F25B 41/24** (2022.08)

**F25B 9/002** (2013.01)

**F25B 2341/0011** (2013.01)

**F25B 2400/075** (2013.01)

**F25B 2400/23** (2013.01)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

냉각될 적어도 하나의 소비자(72)에게 헬륨 냉각을 공급하기 위한 예냉 회로(100, 200, 300, 400)로서,

상기 냉각될 적어도 하나의 소비자와 열을 교환하도록 설계된 냉각 장치(10)를 통해 서로 연결되는 공급 라인(30) 및 복귀 라인(32);

열을 환경으로 방출하고, 복귀하는 헬륨을 압축하고, 압축된 헬륨을 상기 공급 라인으로 공급하도록 설계된 헬륨 냉각 시스템(2);

제1 및 제2 냉각조 컨테이너(34, 36) - 상기 공급 라인은 상기 제1 냉각조 컨테이너(34)의 바닥 영역에 배치된 제1 열교환기(40)를 통하여 연장되고 이어서 상기 제2 냉각조 컨테이너(36)의 바닥 영역에 배치된 제2 열교환기(42)를 통하여 상기 냉각 장치의 방향으로 연장되고, 상기 제1 냉각조 컨테이너의 상부 영역은 복귀 헬륨이 상기 헬륨 냉각 시스템으로 공급되도록 재순환 라인(18)을 통해 상기 헬륨 냉각 시스템에 연결됨 -;

구동 흐름 개구, 흡입 개구, 및 토출 개구를 갖는 이젝터(50)를 포함하고, 상기 구동 흐름 개구는 상기 복귀 라인에 연결되고, 상기 흡입 개구는 상기 제2 냉각조 컨테이너의 상부 영역에 연결되고, 상기 토출 개구는 상기 제1 냉각조 컨테이너의 상부 영역에 연결되고, 상기 이젝터는 상기 냉각 장치로부터 복귀하는 헬륨을, 상기 제2 냉각조 컨테이너로부터 헬륨 증기를 흡인하여 이를 상기 제1 냉각조 컨테이너의 압력까지 높이기 위한 구동 흐름으로서 사용하도록 설계된, 예냉 회로(100, 200, 300, 400).

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 소비자의 하류에서 복귀 라인(32)으로부터 분기된 2차 복귀 라인(58)이 상기 제1 냉각조 컨테이너(34)의 바닥 영역에 배치된 제4 열교환기(46)를 통과하여 연장되어 상기 이젝터의 상기 구동 흐름 개구의 상류에서 복귀 라인으로 개방되고;

바람직하게는 적어도 하나의 밸브(60, 62)가 상기 2차 복귀 라인을 관통하는 흐름을 제어하기 위해 상기 2차 복귀 라인에 그리고/또는 상기 2차 복귀 라인에 평행한 복귀 라인에 배치된, 예냉 회로(200, 400).

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

제3 냉각조 컨테이너(38)를 포함하고, 상기 제2 냉각조 컨테이너 하류의 공급 라인(30)은 상기 제3 냉각조 컨테이너의 바닥 영역에 배치된 제3 열교환기(44)를 통과하여 연장되고, 상기 제3 냉각조 컨테이너의 상부 영역은 헬륨 증기를 상기 상부 영역 밖으로 펌핑하여 상기 헬륨 냉각 시스템에 공급하도록 설계된 진공 펌프(64)에 연결되고, 펌핑된 헬륨의 압력 수준을 상기 헬륨 냉각 시스템의 압력 수준까지 높이는 압축기(66)가 바람직하게 제공되는, 예냉 회로(300, 400).

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 냉각조 컨테이너(34)는 상기 상부 영역의 헬륨 증기와 평형 상태에 있는 액체 헬륨을 상기 바닥 영역에 수용하도록 설계되고, 평형 압력은 1.0 바 내지 1.5 바의 범위이고,

상기 제2 냉각조 컨테이너(36)는 상기 상부 영역의 헬륨 증기와 평형 상태에 있는 액체 헬륨을 상기 바닥 영역에 수용하도록 설계되고, 제2 평형 압력은 바람직하게는 0.4 바 내지 0.65 바의 범위이고,

제3항에 종속되는 경우이면, 상기 제3 냉각조 컨테이너(38)는 상기 상부 영역의 헬륨 증기와 평형 상태에 있는 액체 헬륨을 상기 바닥 영역에 수용하도록 설계되고, 제3 평형 압력은 바람직하게는 0.1 바 내지 0.3 바의 범위

인, 예냉 회로(100, 200, 300, 400).

**청구항 5**

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 헬륨 냉각 시스템(2)은 적어도 하나의 압축기(16)를 포함하고, 헬륨을 7 바 내지 18 바 범위, 바람직하게는 10 바 내지 15 바 범위의 압력으로 압축하도록 설계된, 예냉 회로(100, 200, 300, 400).

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 헬륨 냉각 시스템(2)은 열교환기 시스템(6)을 포함하고, 복귀하는 헬륨은 압축된 헬륨에 대한 역류로 상기 열교환기 시스템을 통해 공급되는, 예냉 회로(100, 200, 300, 400).

**청구항 7**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 냉각 장치(10)는 차폐 회로를 포함하고;

상기 헬륨 냉각 시스템은 헬륨 차폐 흐름을 제공하도록 설계되고, 상기 헬륨 차폐 흐름은 상기 헬륨 냉각 시스템으로부터 상기 차폐 회로로 공급되며 다시 상기 차폐 회로로부터 상기 헬륨 냉각 시스템으로 공급되는, 예냉 회로(100, 200, 300, 400).

**청구항 8**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 냉각 장치(10)는 냉각될 복수의 소비자들(72)과 열을 교환하도록 설계되고, 상기 소비자들은 서로 독립적으로 상기 공급 라인 및 상기 복귀 라인에 연결되고 이로부터 분리될 수 있는, 예냉 회로(100, 200, 300, 400).

**청구항 9**

극저온 시스템으로서, 제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 따른 폐쇄형 예냉 회로와, 냉각 장치에 냉각될 적어도 하나의 소비자로서 연결되는 적어도 하나의 회석 저온 유지 장치를 포함하고, 상기 냉각 장치는 공급 라인과 복귀 라인이 적어도 하나의 회석 저온 유지 장치의 적어도 하나의 헬륨 조에 연결되도록 바람직하게 설계되는, 극저온 시스템.

**청구항 10**

극저온 방법으로서, 적어도 하나의 샘플이 제9항에 따른 극저온 시스템의 적어도 하나의 회석 저온 유지 장치에 배치되고 1K 미만의 온도까지 냉각되는, 극저온 방법.

**청구항 11**

냉각될 적어도 하나의 소비자에게 헬륨 냉각을 공급하는 방법으로서,

복귀하는 헬륨이 압축되는 단계;

압축된 헬륨이 제1 냉각조(34) 및 후속한 제2 냉각조(36)를 통해 유인되어 초임계 상태의 헬륨이 얻어지도록 하는 단계;

상기 초임계 헬륨이 냉각 장치(10)로 공급되어, 냉각될 적어도 하나의 소비자와 열교환하게 되는 단계;

헬륨의 복귀 흐름이 상기 냉각 장치로부터 이젝터(50)의 구동 흐름 개구로 공급되는 단계;

상기 제2 냉각조와 평형 상태에 있는 제2 헬륨 증기가 상기 이젝터에 의해 흡인되어 상기 제1 냉각조와 평형 상태에 있는 제1 헬륨 증기로 공급되는 단계;

상기 제1 헬륨 증기를 소산시켜, 복귀하는 헬륨이 얻어지도록 하는 단계를 포함하는, 냉각될 적어도 하나의 소비자에게 헬륨 냉각을 공급하는 방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서,

상기 복귀 흐름의 적어도 일부를 분기하여 2차 복귀 흐름이 형성되도록 하는 단계;

상기 2차 복귀 흐름을 상기 제1 냉각조를 통해 유인하고 이어서 상기 복귀 흐름 안으로 유인하는 단계를 포함하는, 냉각될 적어도 하나의 소비자에게 헬륨 냉각을 공급하는 방법.

**청구항 13**

제11항 또는 제12항에 있어서,

상기 압축된 헬륨을 제3 냉각조를 통해 상기 제2 냉각조 하류에 유인하는 단계를 포함하는, 냉각될 적어도 하나의 소비자에게 헬륨 냉각을 공급하는 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 냉각될 적어도 하나의 소비자에게 헬륨 냉각을 공급하는 예냉 회로 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 양자 컴퓨터 냉각을 위해서 뿐만 아니라 기초 연구에는 1K보다 훨씬 낮은 냉각 온도가 필요하다. 이를 위해, 현재의 선행 기술에서는 맥동 튜브, 스티어링(Sterling) 또는 기포드 맥마혼(Gifford-McMahon) 냉각기로 3 내지 4K 범위까지 냉각되는 희석 저온 유지 장치(dilution cryostat)가 사용된다. 낮은 예냉 온도는 희석 저온 유지 장치의 효율성을 위한 전제 조건이다. 이러한 예냉 기계의 냉각 용량은 실드 냉각으로 50K의 추가 냉각 용량을 포함하여 불과 몇 와트 범위에 있다. 따라서, 희석 저온 유지 장치에는 각각 예를 들어 2개의 맥동 튜브 냉각기가 장착된다.

[0003] 특히, 양자 컴퓨터 연구의 발전에 따라 예냉에 필요한 전력 요구량도 크게 증가하고 있다. 그러나 위에서 언급한 예냉 시스템의 효율성은 아주 낮다. 희석 저온 유지 장치의 대체로 높은 구매 가격이 결정적인 소규모 응용 분야에서는 이는 특별하게 중요한 것이 아니다. 그러나 예냉 시스템을 여러 번 배치하게 되면 에너지 소비가 선형적으로 증가하게 되어 그에 따른 운영 비용이 상당해진다. 예를 들어, 복수의 양자 컴퓨터에 대해 복수의 희석 저온 유지 장치를 추가로 가동하게 되면 문제는 증폭된다.

[0004] 따라서, 하나 이상의 희석 저온 유지 장치에 냉각, 특히 헬륨 냉각을 가능한 한 낮은 온도로 공급할 수 있는 효율적인 예냉 시스템이 필요하며, 이 경우 냉각 공급 또는 냉각 용량은 특히 복수의 희석 저온 유지 장치의 경우에는 가변적이어야 한다.

**발명의 내용**

[0005] 본 발명의 목적은 독립 청구항의 특징을 갖는, 적어도 하나의 소비자에게 헬륨 냉각을 공급하는 예냉 회로 및 방법에 의해 달성된다. 종속 청구항은 바람직한 실시형태에 관련된 것이다.

[0006] 냉각될 적어도 하나의 소비자에게 헬륨 냉각을 공급하기 위한 (폐쇄형) 예냉 회로는, 냉각될 적어도 하나의 소비자와 열을 교환하도록 설계된 냉각 장치를 통해 서로 연결되는 공급 라인 및 복귀 라인; 열을 환경으로 방출하고, 복귀하는 헬륨을 압축하고, 압축된 헬륨을 공급 라인으로 공급하도록 설계된 헬륨 냉각 시스템; 제1 및 제2 냉각조 컨테이너(cooling bath container) - 공급 라인은 제1 냉각조 컨테이너의 바닥 영역에 배치된 제1 열교환기를 통하여 연장되고 이어서 제2 냉각조 컨테이너의 바닥 영역에 배치된 제2 열교환기를 통하여 냉각 장치의 방향으로 연장되고, 제1 냉각조 컨테이너의 상부 영역은 복귀 헬륨이 헬륨 냉각 시스템으로 공급되도록 채순환 라인을 통해 헬륨 냉각 시스템에 연결됨 -; 구동 흐름 개구, 흡입 개구, 및 토출 개구를 갖는 이젝터를 포함하고, 구동 흐름 개구는 복귀 라인에 연결되고, 흡입 개구는 제2 냉각조 컨테이너의 상부 영역에 연결되고, 토출 개구는 제1 냉각조 컨테이너의 상부 영역에 연결되고, 이젝터는 냉각 장치로부터 복귀 라인을 통해 복귀하는 헬륨을, 제2 냉각조 컨테이너로부터 헬륨 증기를 흡인하여 이를 제1 냉각조 컨테이너의 압력까지 높이기 위한 구동 흐름으로서 사용하도록 설계된다. "바닥 영역"이라는 용어는 "섬프 공간"으로도 알려져 있다.

- [0007] 본 발명에 따른 예냉 회로는 압축 시스템에 의해 압축된 헬륨을 소비자에게 초임계 상태로 공급할 수 있게 하여, 제어하기 어려운 2상 혼합물(기체와 액체의 헬륨)이 발생하지 않게 한다. 헬륨은 소비자를 통과한 후에도, 제2 냉각조 컨테이너의 헬륨 증기를 이젝터에 의해 제1 냉각조 컨테이너의 압력까지 상승시키기에 충분한 압력을 여전히 갖는다. 전반적으로, 그에 따라 다단 조 냉각(multistage bath cooling)을 사용할 수 있게 되어 낮은 온도가 달성될 수 있다.
- [0008] 냉각될 적어도 하나의 소비자는 바람직하게는 희석 저온 유지 장치이다.
- [0009] 바람직하게는, 소비자의 하류에서 복귀 라인으로부터 분기된 2차 복귀 라인이 제1 냉각조 컨테이너의 바닥 영역에 배치된 제4 열교환기를 통과하여 연장되어 이젝터의 구동 흐름 개구의 상류에서 복귀 라인으로 개방되고, 더 바람직하게는, 적어도 하나의 밸브가 2차 복귀 라인을 관통하는 유량을 제어하기 위해 2차 복귀 라인에 그리고/또는 2차 복귀 라인에 평행한 복귀 라인에 배치된다. 이는 예냉 회로의 부분적 소비자 작동을 허용하므로, 특히, 다양한 수의 소비자들에게 냉각을 공급할 수 있다.
- [0010] 예냉 회로는 바람직하게는 제3 냉각조 컨테이너를 포함하고, 제2 냉각조 컨테이너 하류의 공급 라인은 제3 냉각조 컨테이너의 바닥 영역에 배치된 제3 열교환기를 통과하여 연장되고, 제3 냉각조 컨테이너의 상부 영역은 헬륨 증기를 상부 영역 밖으로 펌핑하여 헬륨 냉각 시스템에 공급하도록 설계된 진공 펌프에 연결되고, 펌핑된 헬륨의 압력 수준을 헬륨 냉각 시스템의 압력 수준까지 높이는 압축기가 제공되는 것이 바람직하다. 이는 더 낮은 온도를 달성할 수 있게 한다.
- [0011] 제1 냉각조 컨테이너는 상부 영역의 헬륨 증기와 평형 상태에 있는 액체 헬륨을 바닥 영역에 수용하도록 설계되는 것이 바람직하고, 여기서 평형 압력은 1.0 바 내지 1.5 바의 범위이고, 제2 냉각조 컨테이너는 상부 영역의 헬륨 증기와 평형 상태에 있는 액체 헬륨을 바닥 영역에 수용하도록 설계되고, 여기서 제2 평형 압력은 바람직하게는 0.4 바 내지 0.65 바의 범위이고, 선택적으로, 제3 냉각조 컨테이너는 상부 영역의 헬륨 증기와 평형 상태에 있는 액체 헬륨을 상기 바닥 영역에 수용하도록 설계되고, 여기서 제3 평형 압력은 바람직하게는 0.1 바 내지 0.3 바의 범위이다. 2단(two-stage)인 경우, 3.6K 이하의 온도가 달성될 수 있다. 3단(three-stage)인 경우, 3K 미만의 온도가 달성될 수 있다.
- [0012] 헬륨 냉각 시스템은 바람직하게는 적어도 하나의 압축기를 포함하고, 헬륨을 7 바 내지 18 바 범위, 바람직하게는 10 바 내지 15 바 범위의 압력으로 압축하도록 설계된다. 높은 압력은 2상 헬륨 혼합물의 형성을 방지한다.
- [0013] 헬륨 냉각 시스템은 바람직하게는 열교환기 시스템을 포함하고, 복귀하는 헬륨은 압축된 헬륨에 대한 역류로 열교환기 시스템을 통해 공급된다.
- [0014] 또한, 냉각 장치는 바람직하게는 차폐 회로를 포함하고; 헬륨 냉각 시스템은 헬륨 차폐 흐름을 제공하도록 설계되고, 헬륨 차폐 흐름은 헬륨 냉각 시스템으로부터 차폐 회로로 공급되며 차폐 회로로부터 다시 헬륨 냉각 시스템으로 공급된다. 이에 의해, 소비자의 외부 차폐 냉각이 공급될 수 있다.
- [0015] 냉각 장치는 냉각될 복수의 소비자들과 열을 교환하도록 설계되는 것이 바람직하고, 소비자들은 서로 독립적으로 공급 라인 및 복귀 라인에 연결되고 이로부터 분리될 수 있다. 따라서, 소비자의 수를 다양하게 하는 것이 가능하다.
- [0016] 본 발명에 따른 극저온 시스템은 본 발명에 따른 (폐쇄형) 예냉 회로와, 냉각 장치에 냉각될 적어도 하나의 소비자로 연결되는 적어도 하나의 희석 저온 유지 장치를 포함하고, 냉각 장치는 공급 라인과 복귀 라인이 적어도 하나의 희석 저온 유지 장치의 적어도 하나의 헬륨 조(helium bath)에 연결되도록 설계되는 것이 바람직하다.
- [0017] 본 발명에 따른 극저온 방법에서, 적어도 하나의 샘플이 본 발명에 따른 극저온 시스템의 적어도 하나의 희석 저온 유지 장치에 배치되고 1K 미만의 온도까지 냉각된다.
- [0018] 냉각될 적어도 하나의 소비자에게 냉각 헬륨을 공급하는 본 발명에 따른 방법은 복귀하는 헬륨이 압축되는 단계; 압축된 헬륨이 제1 냉각조 및 후속한 제2 냉각조를 통해 유인되어 초임계 상태의 헬륨이 얻어지도록 하는 단계; 초임계 헬륨이 냉각 장치로 공급되어, 냉각될 적어도 하나의 소비자와 열교환하게 되는 단계; 헬륨의 복귀 흐름이 냉각 장치로부터 이젝터의 구동 흐름 개구로 공급되는 단계; 제2 냉각조와 평형 상태에 있는 제2 헬륨 증기가 이젝터에 의해 흡인되어 제1 냉각조와 평형 상태에 있는 제1 헬륨 증기로 공급되는 단계, 및 제1 헬륨 증기를 소산시켜 복귀하는 헬륨이 얻어지도록 한 단계를 포함한다.
- [0019] 바람직하게는, 본 방법은 복귀 흐름의 적어도 일부를 분기하여 2차 복귀 흐름이 형성되도록 하는 단계, 2차 복

귀 흐름을 제1 냉각조를 통해 유인하고 이어서 복귀 흐름 안으로 공급하는 단계를 더 포함한다.

[0020] 바람직하게는, 본 방법은 압축된 헬륨을 제3 냉각조를 통해 제2 냉각조 하류에 유인하는 단계를 포함한다.

[0021] 단순화를 위해, 본 출원에서는 예냉 회로에 의한 "냉각 공급" 또는 "냉각 출력"을 언급하거나, "소비자에게 냉각이 공급된다"거나 "냉각이 소비자에게 전달된다"는 점을 언급한다. 이는 각각의 경우에서 소비자로부터 열이 예냉 회로에 의해(대응하는 열교환 장치에 의해) 흡수되거나 제거된다는 의미로 이해되어야 한다.

[0022] "라인" 또는 "공급"이라는 용어는 유체용, 특히, 바람직하게는 기체인 헬륨용 라인을 지칭한다. 이는 파이프 또는 파이프라인을 의미한다. 마찬가지로, "연결"이라는 용어는 (파이프) 라인을 통해 유체 연결이 존재한다는 점을 지칭한다. 모든 경우에서, 라인을 관통하는 유체 흐름을 제어하거나 그에 영향을 미치는 밸브들이 제공될 수 있다.

[0023] 이하에서는 본 발명 및 본 발명의 특징을 종래 기술과 비교하여 예시하는 첨부 도면을 참조하여 본 발명을 더 상세히 설명한다.

### 도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시형태에 따른 2단 조 냉각을 갖춘 예냉 회로를 도시한다.

도 2는 본 발명의 다른 바람직한 실시형태에 따른 가변적으로 설계된 2단계 조 냉각을 갖춘 예냉 회로를 도시한다.

도 3은 본 발명의 또 다른 바람직한 실시형태에 따른 3단 조 냉각을 갖춘 예냉 회로를 도시한다.

도 4는 본 발명의 또 다른 바람직한 실시형태에 따른 가변적으로 설계된 3단 조 냉각을 갖춘 예냉 회로를 도시한다.

도 5는 냉각될 소비자들, 특히 희석 저온 유지 장치에 연결된 냉각 장치를 도시한다.

도 6은 바람직한 일 실시형태의 본 발명에 따른 방법을 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시형태에 따른 2단 조 냉각을 갖춘 예냉 회로(100)를 도시한다. 예냉 회로는 압축기 시스템(4) 및 열교환기 시스템(6)을 포함하는 헬륨 냉각 시스템(2)과, 제1 냉각조 컨테이너(34) 및 제2 냉각조 컨테이너(36)를 포함하는 조 냉각 시스템(8)을 포함한다. 냉각될 적어도 하나의 소비자와 열교환하도록 설계된 냉각 장치(10)와 함께, 폐쇄형 예냉 회로(소비자를 더 냉각시키기 위한 것)가 형성되며, 여기서 냉각 매체로는 헬륨이 사용된다.

[0026] 압축기 시스템(4)은 재순환 라인(18)을 통해 되돌아 흐르는 헬륨을 압축하는 적어도 하나의 압축기(16)를 포함한다. 복귀하는 헬륨의 압력은 일반적으로 약 1.05 바이다. 압축된 헬륨의 압력은 일반적으로 7 내지 18 바의 범위, 바람직하게는 10 내지 15 바의 범위이다. 또한, 압축기 시스템 내부 또는 상에 열 소산 장치(미도시)가 제공될 수 있으며, 열 소산 장치를 통해 열이 환경으로 소산될 수 있다.

[0027] 압축된 헬륨은 공급 라인(20)을 통해 공급 라인(30)으로 공급된다. 재순환 라인(18)과 공급 라인(20)은 열교환기 시스템(6)을 관통하여 연장되므로, 복귀하는 헬륨과 압축된 헬륨 사이에서 역류 방식으로 열교환이 이루어지는 것이 가능해진다.

[0028] 또한, 냉각 시스템(2)에 하나 이상의 터빈(22)이 제공될 수 있으며, 이 터빈을 통해, 열교환기 시스템(6)의 한 위치에 있는 공급 라인으로부터 제거된 압축된 헬륨이 공급 라인의 압력 수준까지 팽창되고, 열교환기 시스템의 (아마도 다른) 위치에 있는 재순환 라인 내의 복귀 헬륨으로 다시 공급되므로, 원칙적으로 브레이튼(Brayton) 사이클이 형성된다.

[0029] 조 냉각 시스템(8)을 통해 연장되는 공급 라인(30)은 처음에는 제1 냉각조 컨테이너(34)의 바닥 영역에 배치된 제1 열교환기(40)를 통과하고 그 다음에는 제2 냉각조 컨테이너(36)의 바닥 영역에 배치된 제2 열교환기(42)를 통과한다. 냉각조 컨테이너 각각은 바닥 영역에는 헬륨 조, 즉 액체 상태의 헬륨이 있고 상부 영역에는 바닥 영역에 있는 액체 헬륨과 평형 상태에 있는 헬륨 증기가 있도록 설계된다. 따라서, 냉각조 컨테이너 내의 압력, 즉 평형 압력(증기압 곡선에 상응함)에 상응하는 온도가 부여될 수 있다. 제1 냉각조 컨테이너(34)의 압력은 바람직하게는 대략 1.25 바, 즉 1.0 바 내지 1.5 바의 범위이다. 제2 냉각조 컨테이너(36)의 압력은 바람

직하계는 대략 0.5 바, 즉 0.4 바 내지 0.65 바의 범위이다. 제1 냉각조 컨테이너(34)의 바닥 영역이 라인을 통해 제2 냉각조 컨테이너(36)에 연결되거나 상부 영역이 헬륨을 제2 냉각조 컨테이너에 공급할 수 있도록 연결되며, 라인에는 이러한 헬륨 공급을 제어할 수 있도록 한 밸브(54)가 제공된다.

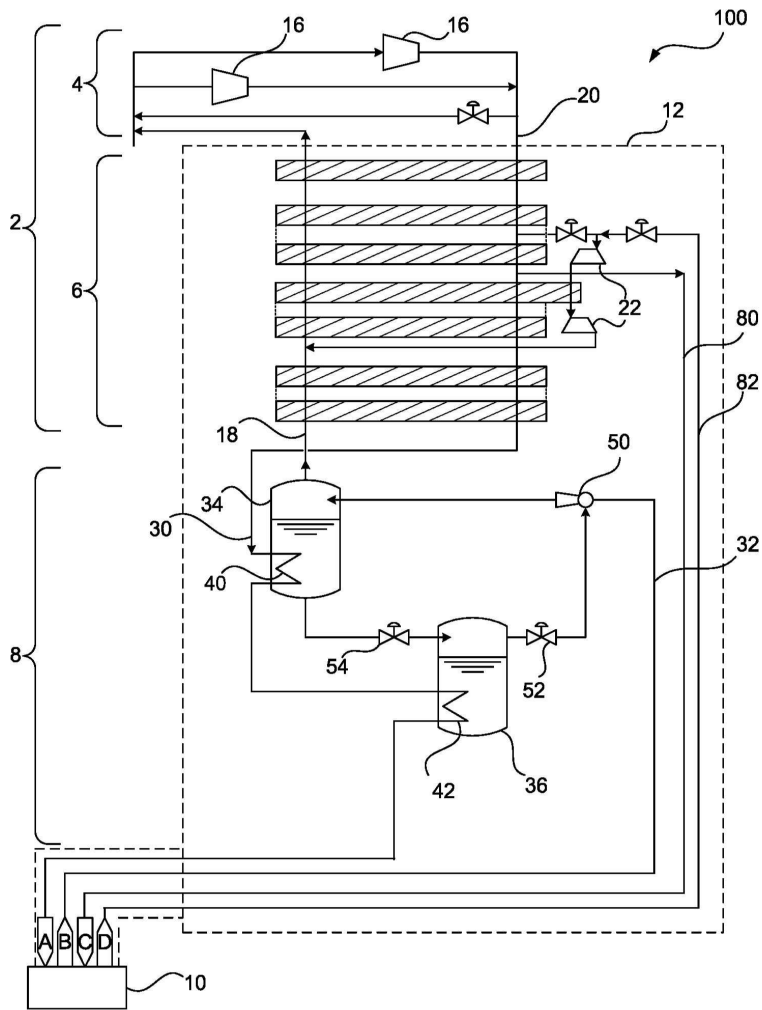
- [0030] 전반적으로, 냉각 장치(10)에 공급되는 헬륨의 온도가 (제1 및 제2 냉각조 컨테이너(34, 36)에서의) 2단 조 냉각에 의해 3.6K 이하로 낮춰질 수 있다.
- [0031] 헬륨이 공급 라인(30)을 통해 냉각 장치(10)에 공급되어서 적어도 하나의 소비자를 냉각하기 위한 냉각 장치에 의해 사용된 후, 헬륨은 냉각 장치로부터 복귀 라인(32)으로 공급된다.
- [0032] 제2 냉각조 컨테이너(36)로부터 헬륨 증기가 흡인되어 그 헬륨 증기가 제1 냉각조 컨테이너(34)의 압력까지 가압되어 제1 냉각조 컨테이너로 토출되도록 하기 위해, 냉각 장치로부터 복귀 라인에 의해 복귀된 헬륨이 이젝터에서 구동 흐름으로 사용될 수 있도록, 복귀 라인(32)이 이젝터(50)와 연결된다. 따라서, 이젝터의 구동 흐름 개구가 복귀 라인에 연결되고, 이젝터의 흡입 개구가 (라인을 통해) 제2 냉각조 컨테이너의 상부 영역에 연결되고, 이젝터의 토출 개구가 (라인을 통해) 제1 냉각조 컨테이너의 상부 영역에 연결된다. 예냉 회로에서의 헬륨의 추가 액화를 이러한 방식으로 피할 수 있다. 제2 냉각조 컨테이너(36)의 상부 영역과 이젝터(50) 또는 이젝터의 흡입 개구 사이의 연결 라인에는 제2 냉각조 컨테이너의 상부 영역으로부터 이젝터까지의 증기 흐름을 제어할 수 있도록 한 밸브(52)가 마련되는 것이 바람직하다.
- [0033] 제1 냉각조 컨테이너(34)의 상부 영역이 냉각 시스템(2)의 재순환 라인(20)에 연결되어서 헬륨 회로가 폐쇄된다.
- [0034] 또한, 이는 소비자에 의해 외부 냉각을 위해 사용될 수 있는 차폐 냉각 흐름을 제공하도록 마련될 수 있다. 이를 위해, 예를 들어, 차폐 흐름 공급 라인(80)과 차폐 흐름 복귀 라인(82)이 제공되는데, 열교환기 시스템(6) 또는 공급 라인(18)으로부터 제거된 압축 헬륨이 차폐 흐름 공급 라인(80)을 통해 소비자에게 공급되고, 그 압축 헬륨은 차폐 흐름 복귀 라인(82)을 통해서 예를 들어 터빈(22)을 거쳐서 다시 열교환기 시스템(6)으로 공급된다.
- [0035] 압축기 시스템(4)을 제외하고, 예냉 회로의 요소들은 콜드 박스(12) 내에 배열되는, 즉 단열 벽으로 둘러싸이는 것이 바람직하다. 마찬가지로, 냉각 장치(10)로 이어지고 그리고 냉각 장치로부터 나오는 라인들도 단열벽으로 둘러싸인다. 각 경우에 점선으로 표시된다.
- [0036] 도 2는 본 발명의 다른 바람직한 실시형태에 따른 가변적으로 설계된 2단 조 냉각을 갖춘 예냉 회로(200)를 도시한다. 이 실시형태는 대부분은 도 1에 도시된 실시형태에 대응한다. 따라서, 이하에서는 본질적으로 다르거나 추가적인 요소들만 논의될 것이고, 도 1과 관련하여 이미 설명된 요소들에 대해서는 다시 설명되지 않을 것이다.
- [0037] 도 1과 대조적으로, 여기에는 2차 복귀 라인(58)이 추가로 제공된다. 2차 복귀 라인은 복귀 라인(32)의 분기에 연결되고, 따라서 냉각 장치(10)로부터 나오는 헬륨이 복귀 라인으로부터 부분적으로 방향 전환되거나 분기될 수 있다. 2차 복귀 라인 및 복귀 라인에는 헬륨이 2차 복귀 라인 또는 복귀 라인으로 흐르는 것을 제어할 수 있도록 한 밸브(60, 62)가 제공된다.
- [0038] 2차 복귀 라인(58)은 제1 냉각조 컨테이너(34)의 바닥 영역에 배치된 제4 열교환기(46)를 통과하고 이어서 이젝터(50)의 상류에서 복귀 라인(32)과 다시 합쳐진다. 2차 복귀 라인을 통해 공급된 헬륨 부분을 냉각함으로써 이젝터의 구동 흐름 개구의 온도에 영향을 미칠 수 있고, 이는 이젝터(50)의 작동점을 (2차 복귀 라인 또는 복귀 라인의 밸브(60, 62)에 의해 간접적으로) 조정할 수 있게 한다. 따라서, 헬륨 흐름이 이젝터의 작동점에 의해 실질적으로 결정되므로, 예냉 회로는 다양한 소비자들에게 사용될 수 있다. 예를 들어, 다양한 수의 냉각 대상 소비자들에게 냉각 장치(10)를 통해 냉각이 공급될 수 있다.
- [0039] 도 3은 본 발명의 더 바람직한 실시형태에 따른 3단 조 냉각을 갖춘 예냉 회로(300)를 도시한다. 이 실시형태는 대부분은 도 1에 도시된 실시형태에 대응한다. 따라서, 이하에서는 본질적으로 다르거나 추가적인 요소들만 논의될 것이고, 도 1과 관련하여 이미 설명된 요소들에 대해서는 다시 설명되지 않을 것이다.
- [0040] 이 실시형태는 제3 냉각조 컨테이너(38)를 추가로 포함하고, 공급 라인(32)이 제2 냉각조 컨테이너(36) 하류의 제3 냉각조 컨테이너(38)의 바닥 영역에 배치된 제3 열교환기(44)를 통과한다. 제3 냉각조 컨테이너(38)에서는 바닥 영역의 액체 헬륨과 상부 영역의 헬륨 증기 사이의 평형이 다시 존재한다. 압력은 대략 0.2 바, 즉 0.1 바 내지 0.3 바 범위인 것이 바람직하다. 이러한 방식으로, 냉각 장치의 공급 라인에 의해 공급되는 헬륨의 추

가 온도 감소가 달성될 수 있다. 예를 들어, 3K 미만의 온도가 달성될 수 있다.

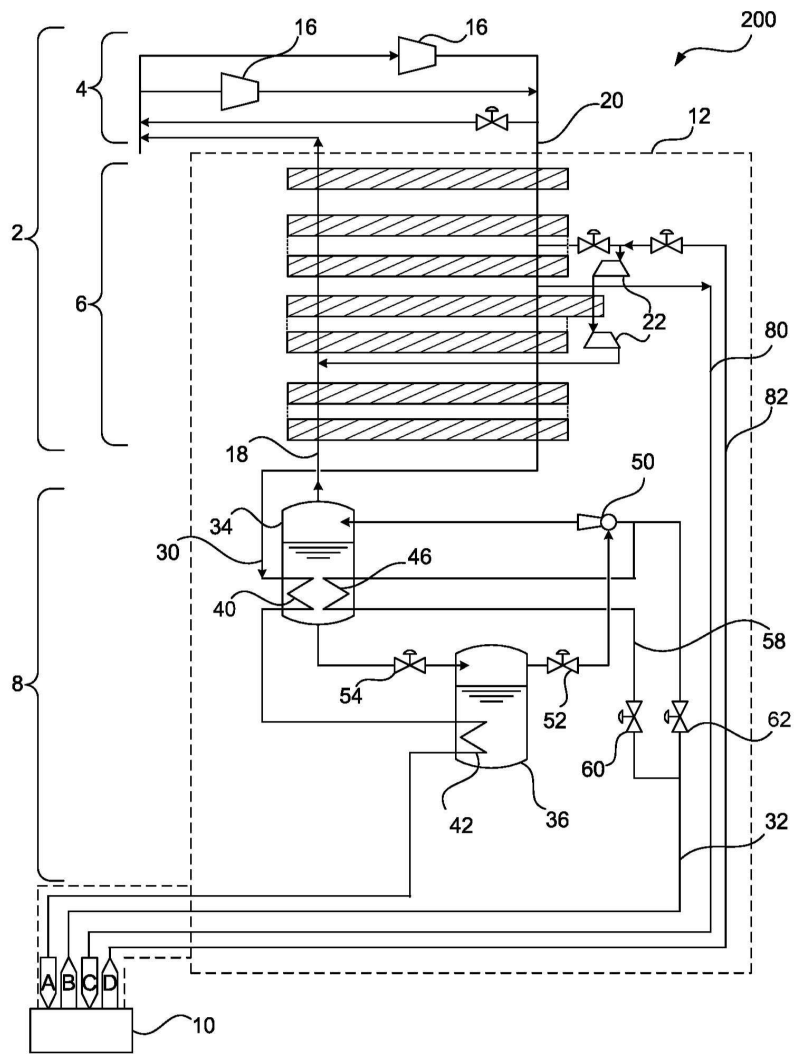
- [0041] 진공 펌프(64)가 라인을 통해 제3 냉각조 컨테이너(38)의 상부 영역에 연결되고, 헬륨 증기를 상부 영역 밖으로 펌핑하도록 설계된다. 펌핑된 헬륨은 압축기(66)가 배치된 라인(68)을 통해 냉각 시스템(2)의 재순환 라인(18)으로 공급된다. 압축기는 헬륨의 압력을 재순환 라인 내의 수준까지 높이는 데 사용된다.
- [0042] 제1 냉각조 컨테이너(34)의 바닥 영역은 라인을 통해 제3 냉각조 컨테이너(38) 또는 이의 상부 영역에 헬륨을 공급할 수 있도록 연결되며, 라인에는 이러한 헬륨 공급을 제어할 수 있도록 한 밸브(56)가 제공된다.
- [0043] 도 2와 도 3의 실시형태들을 결합하는 것, 즉 도 3에 따른 제3 냉각 스테이지, 즉 제3 냉각조 컨테이너, 진공 펌프, 압축기, 및 상응하는 라인들/밸브들을 도 2에 따른 실시형태에 추가로 제공하는 것도 가능하다. 이에 상응하는 예냉 회로(400)가 도 4에 도시되어 있다. 이 예냉 회로의 모든 요소는 도 1 내지 도 3과 관련하여 이미 설명되었다.
- [0044] 도 5는 냉각될 소비자들(72), 특히 희석 저온 유지 장치들에 연결되는 냉각 장치(10)를 도시한다. 이러한 냉각 장치(10)는 특히 도 1, 도 2, 도 3에 대응하는 실시형태들 각각에 사용될 수 있다. 도면에서 연결 할당은 'A', 'B', 'C' 및 'D' 문자가 제공된 화살표로 표시된다.
- [0045] 냉각 장치(10)는 복수(예를 들어, 3개)의 밸브 그룹(74)을 포함하며, 각 경우에서, 개별 소비자들 또는 소비자 그룹들(72)로의 라인들이 공급 라인(32) 또는 복귀 라인(34)에 연결된다. 이러한 라인들에는, 헬륨이 공급 라인으로부터 개별 소비자에게 표적 지향 방식으로 공급될 수 있고 개별 소비자로부터 복귀 라인으로 공급될 수 있도록, 밸브들이 밸브 그룹으로 제공된다. 따라서, 소비자들(72)은 서로 독립적으로 공급 라인('A') 및 복귀 라인('B')에 연결되고 이로부터 분리될 수 있다. 이는 부분적인 소비자 작동을 가능하게 하는 도 2 및 도 4의 예냉 회로(200, 400)와 함께 특히 유리하다.
- [0046] 밸브 그룹(74)에는 차폐 냉각 흐름을 위한 라인들 및 밸브들이 마찬가지로 제공되며, 이 라인들을 통해 상기 차폐 냉각 흐름이 차폐 흐름 공급 라인('C')으로부터 소비자들에게 공급되고 다시 차폐 흐름 복귀 라인('D')으로 공급될 수 있다. 이에 따라 차폐 회로가 생성된다.
- [0047] 냉각 박스 또는 복수의 냉각 박스가 바람직하게 다시 제공되고, 그 안에 밸브 그룹들 및 바람직하게는 또한 소비자들, 특히 희석 저온 유지 장치들이 배치된다.
- [0048] 도 6은 바람직한 일 실시형태의 본 발명에 따른 방법을 도시한다. 개별 단계들은 헬륨이 통과하는 회로의 일부이다. 단계 602에서, 복귀하는 헬륨이 (예를 들어, 압축기 시스템에 의해) 압축된다. 달성된 압력은 7 내지 18 바, 바람직하게는 10 내지 15 바 범위이다.
- [0049] 단계 604에서, 압축된 헬륨이 제1 냉각조와 후속하는 제2 냉각조를 통해 공급되어 초임계 상태의 헬륨이 얻어진다. 바람직한 단계 606에서, 헬륨이 제2 냉각조 하류의 제3 냉각조를 통해 공급된다. 냉각조들은 상응하는 제 1, 제2, 또는 제3 헬륨 증기와 평형을 이룬다. 평형 압력은 각 경우에서 제1, 제2, 또는 제3 냉각조 컨테이너와 관련하여 위에서 언급한 압력에 해당한다.
- [0050] 단계 610에서, 냉각될 적어도 하나의 소비자와 열교환 상태에 있는 냉각 장치에 초임계 헬륨이 공급된다.
- [0051] 단계 612에서, 헬륨의 복귀 흐름이 냉각 장치로부터 이젝터의 구동 흐름 개구로 공급된다. 선택적으로, 단계 614에서, 복귀 흐름의 적어도 일부가 분기되어 2차 복귀 흐름을 형성할 수 있고, 2차 복귀 흐름은 제1 냉각조를 통해 공급되고 후속해서 복귀 흐름으로 공급될 수 있다.
- [0052] 단계 616에서, 이젝터는 제2 냉각조와 평형 상태에 있는 제2 헬륨 증기를 흡인하여 그 헬륨 증기를 제1 냉각조와 평형 상태에 있는 제1 헬륨 증기에 공급한다.
- [0053] 제1 헬륨 증기가 단계 618에서 소산되어 단계 602에서 압축되어 복귀 헬륨이 얻어지고, 이에 따라 회로가 완성된다.

도면

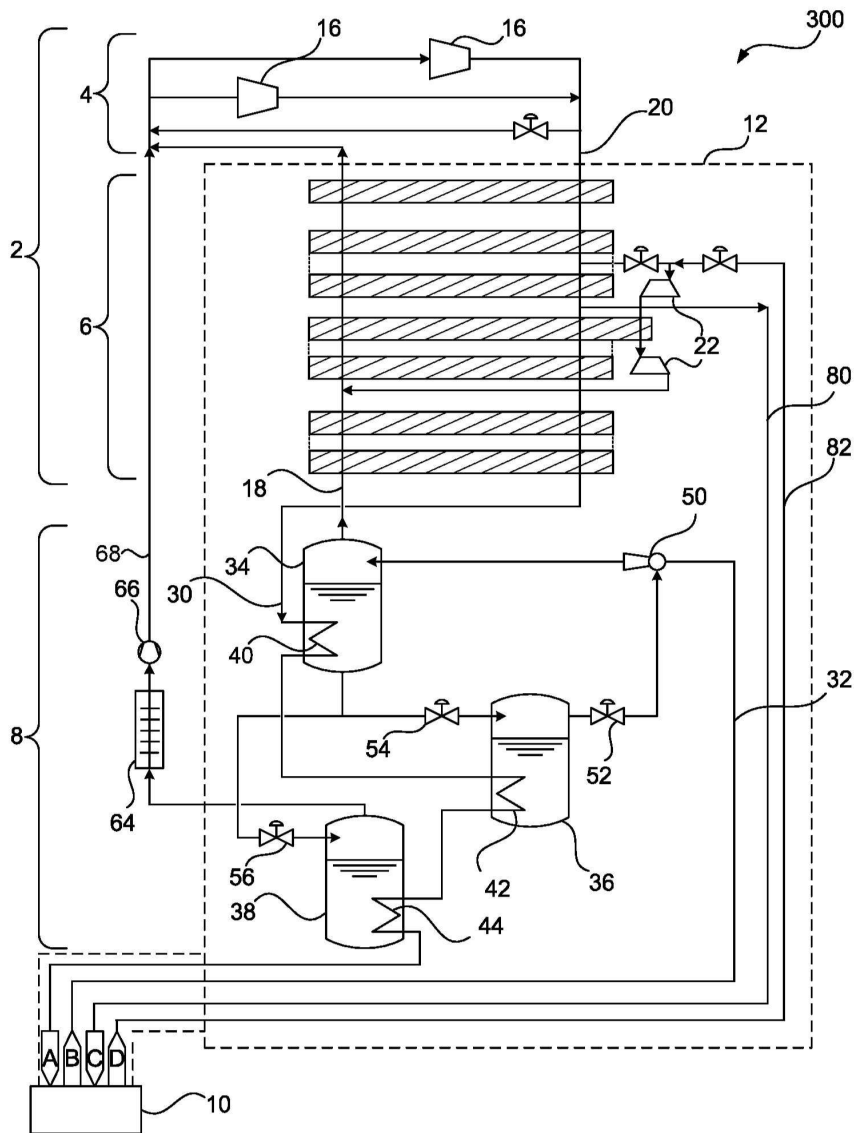
도면1



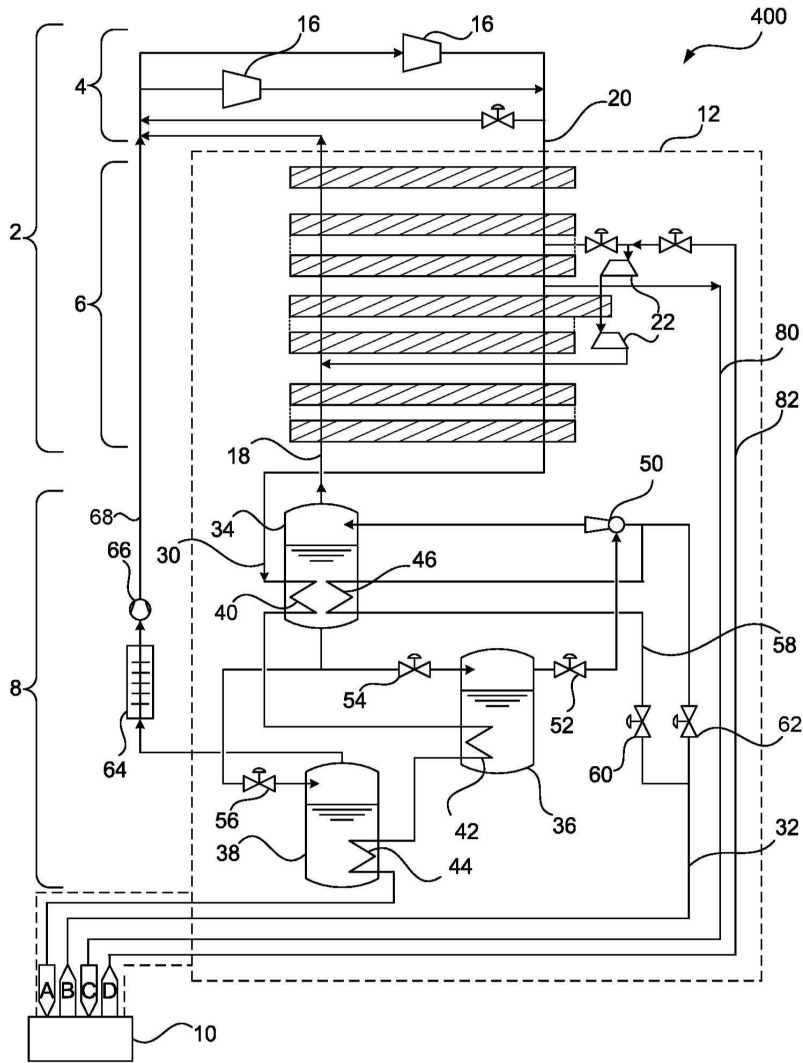
도면2



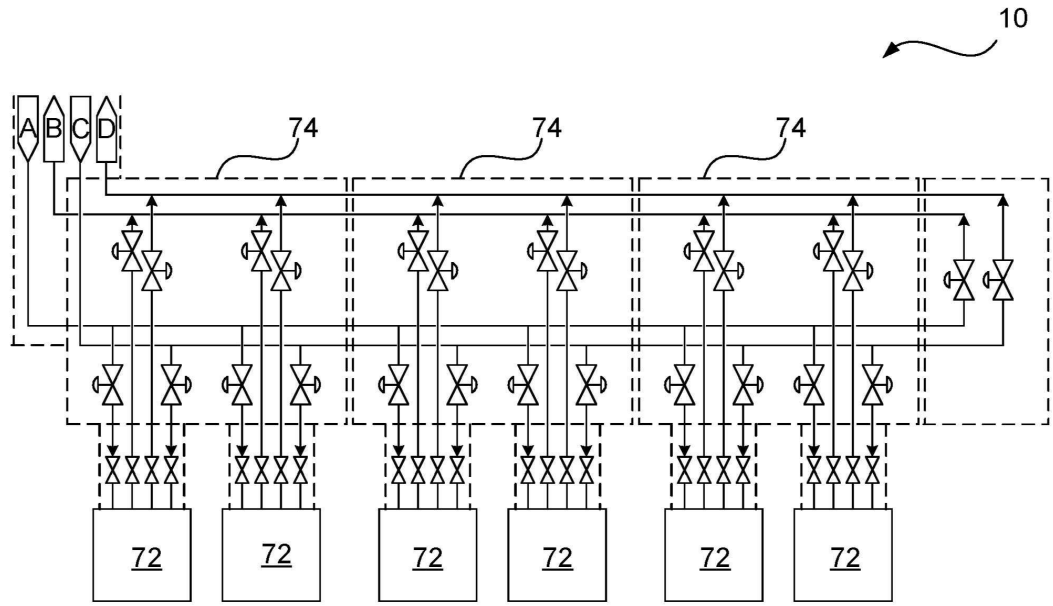
도면3



도면4



도면5



도면6

