

명세서

발명의 명칭: 선박의 액화가스 재기화 방법 및 시스템

기술분야

- [1] 본 발명은 액화가스를 재기화시키기 위해, 액화가스와 열교환시키는 열전달 매체가 순환하는 사이클의 주요 지점에서, 운전 조건을 일정하게 유지시켜 사이클을 안정적으로 운전할 수 있도록 한, 선박의 액화가스 재기화 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로, 천연가스는 생산지에서 극저온으로 액화된 액화천연가스(LNG; Liquefied Natural Gas)의 상태로 만들어진 후 LNG 운반선에 의해 목적지까지 원거리에 걸쳐 운반된다. LNG는 천연가스를 상압에서 약 -163°C 의 극저온으로 냉각하여 얻어지는 것으로서, 가스 상태의 천연가스일 때보다 그 부피가 대략 1/600로 감소되므로 해상을 통한 원거리 운반에 매우 적합하다.
- [3] LNG RV(LNG Regasification Vessel) 또는 LNG FSRU(Floating Storage and Regasification Unit)와 같은 LNG 재기화 선박 또는 부유식 해상 구조물(이하, 'LNG 재기화 선박'으로 통칭함.)은 해상에서 LNG(Liquefied Natural Gas)를 재기화시킨 천연가스를 육상의 가스 수요처로 공급하는 것을 목적으로 하는 선박이다.
- [4] 이러한 LNG 재기화 선박에는, LNG를 저장하는 LNG 저장탱크와, LNG 저장탱크에 저장된 LNG를 재기화시켜 육상의 수요처로 공급하는 재기화 설비가 설치되며, 재기화 설비에서 기화된 천연가스는, 배관을 통해 육상의 수요처로 이송한다.
- [5] LNG 재기화 선박의 재기화 설비는, LNG 저장탱크에 저장된 LNG를 수요처에서 요구하는 압력으로 압축하는 고압펌프와, 고압펌프에서 압축된 고압 LNG를 천연가스로 기화시키는 기화기를 포함한다.
- [6] 기화기에서 LNG를 기화시키는 열원으로는 주로 수급이 용이한 해수가 사용된다. LNG와 직접 또는 간접 열교환하면서 LNG의 냉열을 회수한 저온의 해수는 해상으로 다시 배출시킨다. 즉, LNG를 재기화시키는 과정에서 해수에 의해 회수된 LNG의 냉열은 해상으로 그대로 버려지고 있다.
- [7] LNG는 kg당 200kcal의 냉열 에너지를 보유하고 있으며, 따라서 LNG 재기화 선박에서 LNG를 재기화시키는 과정에서 이 냉열은 유의미하게 사용되지 못하고 버려지고 있는 것이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [8] 따라서, 본 발명은 액화가스의 재기화 과정에서 버려지는 냉열을 회수하여 전력을 생산함으로써 에너지 효율을 개선할 수 있고, 또한, 압력을 제어하여 시스템을 안정적으로 운전할 수 있는, 선박의 액화가스 재기화 방법 및 시스템을 제공하고자 한다.

기술적 해결 방법

- [9] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 측면에 의하면, 액화가스와 제1 열전달 매체를 기화기에서 열교환시켜 상기 액화가스를 기화시키고, 상기 기화기로부터 배출되는 제1 열전달 매체의 냉열을 회수한 후 상기 기화기로 재순환시키며, 상기 제1 열전달 매체의 냉열을 회수하는 것은, 상기 기화기에서 열교환에 의해 응축된 액체 상태의 제1 열전달 매체를 제1 열교환기에서 기화시키고, 상기 기화된 제1 열전달 매체를 팽창-발전기로 공급하여 팽창시킴으로써 전력을 생성하며, 상기 팽창된 제1 열전달 매체를 상기 기화기로 공급하되, 상기 팽창-발전기의 전단 또는 후단 압력을 제어하여, 상기 기화기 후단의 압력을 제어하는, 선박의 액화가스 재기화 방법이 제공된다.
- [10] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 일 측면에 의하면, 액화가스를 제1 열전달 매체와 열교환시켜 기화시키는 기화기; 상기 기화기에서 열교환에 의해 응축된 액체 상태의 제1 열전달 매체를 기화시키는 제1 열교환기; 상기 제1 열교환기에서 기화된 제1 열전달 매체를 팽창시켜 전력을 생산하는 팽창-발전기; 및 상기 팽창-발전기의 전단 또는 후단 압력을 제어하는 압력 제어수단;을 포함하여, 상기 팽창-발전기의 전단 또는 후단 압력을 제어하여, 상기 기화기 후단의 압력을 제어하는, 선박의 액화가스 재기화 시스템이 제공된다.
- [11] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 일 측면에 의하면, 액화가스와 제1 열전달 매체를 기화기에서 열교환시켜 상기 액화가스를 기화시키고, 상기 기화기로부터 배출되는 제1 열전달 매체의 냉열을 회수한 후 상기 기화기로 재순환시키며, 상기 제1 열전달 매체의 냉열을 회수하는 것은, 상기 기화기에서 열교환에 의해 응축된 액체 상태의 제1 열전달 매체를 제1 열교환기에서 기화시키고, 상기 기화된 제1 열전달 매체를 팽창-발전기로 공급하여 팽창시킴으로써 전력을 생성하며, 상기 팽창된 제1 열전달 매체를 상기 기화기로 공급하고, 상기 팽창-발전기의 후단 압력을 제어하기 위하여, 상기 기화기에서 배출된 제1 열전달 매체를 리시버에 수용하고, 상기 리시버로부터 제1 열전달 매체를 배출시켜 기화시키되, 상기 리시버의 압력 측정값이 설정값보다 작을 때에는 상기 팽창-발전기에서 팽창된 고온의 제1 열전달 매체를 상기 기화기를 우회시켜 리시버로 공급하는 바이패스 모드로 운전하고, 상기 리시버의 압력 측정값이 설정값보다 클 때에는 상기 기화기로부터 배출된 저온의 제1 열전달 매체를 상기 리시버 상부에 분사 공급하는 쿨링 모드로

운전하는, 선박의 액화가스 재기화 방법이 제공된다.

- [12] 바람직하게는, 상기 제1 열전달 매체는 상기 기화기 및 제1 열교환기에서 열교환에 의해 상변화할 수 있다.
- [13] 바람직하게는, 상기 기화기로부터 열교환 후 배출되는 저온의 제1 열전달 매체의 온도와, 상기 기화기로부터 열교환 후 배출되는 재기화 가스의 온도가 설정값을 유지하도록 상기 기화기로 공급하는 액화가스의 유량을 조절할 수 있다.
- [14] 바람직하게는, 상기 기화기로부터 열교환 후 배출되는 저온의 제1 열전달 매체의 온도를 설정값으로 유지하기 위한 출력값과, 상기 기화기로부터 열교환 후 배출되는 재기화 가스의 온도를 설정값으로 유지하기 위한 출력값 중에서, 작은값에 따라 상기 기화기로 공급하는 액화가스의 유량을 제어할 수 있다.
- [15] 바람직하게는, 상기 제1 열전달 매체의 온도 설정값은 제1 열전달 매체의 포화온도이고, 상기 제1 열전달 매체의 포화 압력에 따라 상기 제1 열전달 매체의 온도 설정값을 변화시켜 상기 팽창-발전기의 후단 압력을 제어할 수 있다.
- [16] 바람직하게는, 상기 기화기에서 기화된 재기화 가스는 트림히터에서 제2 열전달 매체와 열교환시켜 가스 수요처에서 요구하는 온도까지 가열할 수 있다.
- [17] 바람직하게는, 상기 팽창-발전기의 후단 압력이 설정값보다 낮거나 발전 부하가 낮을 때에는 상기 기체 상태의 제1 열전달 매체를 상기 팽창-발전기를 우회하여 후단으로 가도록 제어할 수 있다.
- [18] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 일 측면에 의하면, 액화가스를 제1 열전달 매체와 열교환시켜 기화시키는 기화기; 상기 기화기로부터 열교환 후 배출되는 저온의 제1 열전달 매체를 수용하는 리시버; 상기 리시버로부터 공급받은 액체 상태의 제1 열전달 매체를 기화시키는 제1 열교환기; 상기 제1 열교환기에서 기화된 제1 열전달 매체를 팽창시켜 전력을 생산하는 팽창-발전기; 상기 팽창-발전기로부터 팽창된 제1 열전달 매체가 기화기로 이송되고, 기화기에서 액화가스의 냉열을 회수한 제1 열전달 매체가 리시버로 이송되도록 하는 제1 열매체 라인; 상기 팽창-발전기의 하류에서 제1 열전달 매체가 기화기를 우회하여 리시버로 이송되도록 하는 제2 밸브; 상기 기화기로부터 배출된 제1 열전달 매체가 상기 리시버 상부의 분사 노즐을 통해 분사 공급되도록 하는 제3 밸브; 및 상기 리시버의 압력 측정값이 설정값보다 낮으면 상기 제2 밸브를 개방하고, 설정값보다 높으면 상기 제3 밸브를 개방하는 제2 제어부;를 포함하는, 선박의 액화가스 재기화 시스템이 제공된다.
- [19] 바람직하게는, 상기 기화기로 공급하는 액화가스의 유량을 조절하기 위한 제1 밸브; 및 상기 기화기로부터 열교환 후 배출되는 저온의 제1 열전달 매체의 온도와, 상기 기화기로부터 열교환 후 배출되는 재기화 가스의 온도가 설정값을 유지하도록 상기 제1 밸브를 제어하는 제1 제어부;를 더 포함할 수 있다.
- [20] 바람직하게는, 상기 제1 열전달 매체의 온도 설정값은 제1 열전달 매체의

- 포화온도이고, 상기 리시버의 압력 측정값에 따라 상기 제1 열전달 매체의 온도 설정값을 조정하는 제3 제어부;를 더 포함할 수 있다.
- [21] 바람직하게는, 상기 기화기에서 기화된 제기화 가스를 가스 수요처에서 요구하는 온도까지 더 가열하는 트림히터;를 포함할 수 있다.
- [22] 바람직하게는, 상기 트림히터에서 상기 제기화 가스와 열교환하여 상기 제기화 가스의 냉열을 회수하는 제2 열전달 매체를 순환시키는 제2 사이클;을 더 포함할 수 있다.
- [23] 바람직하게는, 상기 제1 열교환기에서 기화된 제1 열전달 매체가 상기 팽창-발전기를 우회하여 팽창-발전기의 하류로 이송되도록 하는 제3 유량 조절밸브; 및 기 팽창-발전기의 후단 압력 및 상기 팽창-발전기의 발전 부하에 따라 상기 제3 유량 조절밸브를 제어하는 거버너;를 더 포함할 수 있다.
- [24] 바람직하게는, 상기 기화기는 1 패스 타입의 쉘 앤 튜브 열교환기일 수 있다.
- [25] 바람직하게는, 상기 트림히터는 2 패스 타입의 쉘 앤 튜브 열교환기일 수 있다.
- [26] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 일 측면에 의하면, 액화가스와 제1 열전달 매체를 기화기에서 열교환시켜 상기 액화가스를 기화시키고, 상기 기화기로부터 배출되는 제1 열전달 매체의 냉열을 회수한 후 상기 기화기로 재순환시키며, 상기 제1 열전달 매체의 냉열을 회수하는 것은, 상기 기화기에서 열교환에 의해 응축된 액체 상태의 제1 열전달 매체를 제1 열교환기에서 기화시키고, 상기 기화된 제1 열전달 매체를 팽창-발전기로 공급하여 팽창시킴으로써 전력을 생성하며, 상기 팽창된 제1 열전달 매체를 상기 기화기로 공급하고, 상기 제1 열교환기에서 기화된 제1 열전달 매체를 팽창-발전기로 공급하기 전에 녹아웃 드럼에 수용하고, 상기 녹아웃 드럼의 압력 측정값이 설정값보다 높을 때에는 상기 팽창-발전기의 출력을 증가시켜 상기 팽창-발전기의 전단 압력을 제어하는, 선박의 액화가스 제기화 방법이 제공된다.
- [27] 바람직하게는, 상기 팽창-발전기의 출력을 증가시키는 것은, 상기 녹아웃 드럼으로부터 팽창-발전기로 제1 열전달 매체가 유입되도록 하는 제2 유량 제어밸브의 개도율을 증가시키고, 상기 팽창-발전기의 출력을 상기 제2 유량 제어밸브의 개도율에 상응하여 증가시킬 수 있다.
- [28] 바람직하게는, 상기 팽창-발전기의 회전수는 제6 제어부에 제어되고, 상기 제2 유량 조절밸브의 개도는, 상기 압력 측정값에 따른 제어 신호를 제5 제어부로부터 전송받은 제6 제어부에 의해 조절될 수 있다.
- [29] 바람직하게는, 상기 제2 유량 제어밸브의 개도율이 최대이거나, 상기 팽창-발전기의 출력이 최대가 되면, 상기 제5 제어부에 의해 상기 제1 열전달 매체가 상기 녹아웃 드럼으로부터 팽창-발전기를 우회하여 팽창-발전기의 하류로 이송되도록 하는 제3 유량 제어밸브를 개방하도록 할 수 있다.
- [30] 바람직하게는, 상기 팽창-발전기의 출력을 증가시키는 것은, 상기 제1 열전달 매체가 상기 녹아웃 드럼으로부터 팽창-발전기를 우회하여 팽창-발전기의 하류로 이송되도록 하는 제3 유량 제어밸브를 먼저 개방한 후, 상기 제3 유량

- 제어밸브의 개도율을 감소시키면서 상기 팽창-발전기의 허용 범위 내에서 출력을 증가시키고, 상기 녹아웃 드럼으로부터 팽창-발전기로 제1 열전달 매체가 유입되도록 하는 제2 유량 제어밸브의 개도율을 증가시킬 수 있다.
- [31] 바람직하게는, 상기 팽창-발전기의 회전수는 제6 제어부에 제어되고, 상기 제3 유량 제어밸브의 변위를 관장하는 제7 제어부는, 상기 제3 유량 제어밸브의 개도율이 0%가 될 때까지 상기 팽창-발전기의 회전수를 증가시키도록 상기 제6 제어부에 신호를 전달할 수 있다.
- [32] 바람직하게는, 상기 제1 열전달 매체의 순환 유량은, 상기 기화기의 히팅 듀티에 따라 결정될 수 있다.
- [33] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 일 측면에 의하면, 액화가스를 제1 열전달 매체와 열교환시켜 기화시키는 기화기; 상기 기화기에서 열교환에 의해 응축된 액체 상태의 제1 열전달 매체를 기화시키는 제1 열교환기; 상기 제1 열교환기에서 기화된 제1 열전달 매체를 팽창시켜 전력을 생산하는 팽창-발전기; 상기 기화기에서 기화된 제1 열전달 매체를 수용하는 녹아웃 드럼; 상기 녹아웃 드럼으로부터 배출된 기체 상태의 제1 열전달 매체가 상기 팽창-발전기로 공급되도록 개도가 조절되는 제2 유량 조절밸브; 상기 녹아웃 드럼으로부터 배출된 기체 상태의 제1 열전달 매체가 상기 팽창-발전기를 우회하도록 개도가 조절되는 제3 유량 조절밸브; 및 상기 녹아웃 드럼의 압력 측정값에 따라 상기 팽창-발전기의 출력을 제어하고 상기 팽창-발전기의 출력에 따라 상기 제2 유량 조절밸브의 개도를 조절하는 제6 제어부;를 포함하여, 상기 팽창-발전기의 전단 압력을 제어하는, 선박의 액화가스 재기화 시스템이 제공된다.
- [34] 바람직하게는, 상기 녹아웃 드럼의 압력 측정값에 따라 상기 제6 제어부에 팽창-발전기 출력 증가 신호를 보내고, 상기 팽창-발전기의 출력이 최대가 되면 상기 제3 유량 조절밸브를 개방하는 제5 제어부;를 더 포함할 수 있다.
- [35] 바람직하게는, 상기 녹아웃 드럼의 압력 측정값이 설정값보다 높으면 상기 제3 유량 조절밸브를 개방하는 압력 조절기; 및 상기 제3 유량 조절밸브의 개도율이 최소가 될 때까지 상기 제6 제어부에 회전수 증가 신호를 보내는 제7 제어부;를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [36] 본 발명에 따른 선박의 액화가스 재기화 방법 및 시스템은, 버려지는 액화가스의 냉열을 회수하여 전력을 생산함으로써 시스템 전체의 에너지 효율을 높이고, 전력을 생산하기 위한 연료 소모량을 줄일 수 있으며 따라서 온실가스의 배출을 저감할 수 있다.
- [37] 또한, 리시버의 압력 제어를 통해 기화기 후단의 압력을 제어함으로써, 기화기 후단의 압력을 제어하기 위한 제1 열전달 매체의 온도 및 기화시킬 액화가스의 유량을 제어하는 데 있어 그 응답성을 향상시킬 수 있다.

- [38] 또한, 팽창-발전기의 입구 측(고압측) 압력을 제어함으로써, 기화기 후단의 압력을 제어하기 위한 제1 열전달 매체의 온도 및 기화시킬 액화가스의 유량을 제어하는 데 있어 그 응답성을 향상시킬 수 있다.
- [39] 또한, 제1 열전달 매체를 이용하여 전력을 생산하므로 기화기에서 제1 열전달 매체의 열용량이 부족하더라도, 트림히터를 이용함으로써 재기화 가스를 최소 송출 온도 이상으로 가열하여 안정적으로 수요처에 송출할 수 있다.
- [40] 또한, 트림히터를 사용함으로써, 재기화 시스템의 기동 초기에 제1 열전달 매체 루프 사이클의 액화가스 공급량과 제1 열전달 매체 공급량 사이의 열균형이 맞지 않아 액화가스가 충분히 기화되지 않는 문제를 방지할 수 있으므로, 시스템을 안정적으로 운전할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [41] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 선박의 액화가스 시스템을 간략하게 도시한 구성도이다.
- [42] 도 2는 본 발명의 제1 실시예에 따른 기화기 후단의 압력 제어 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- [43] 도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 기화기 후단의 압력 제어 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- [44] 도 4는 본 발명의 제3 실시예에 따른 팽창-발전기의 입구 압력 제어 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- [45] 도 5는 본 발명의 제4 실시예에 따른 팽창-발전기의 입구 압력 제어 구성을 설명하기 위한 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [46] 본 발명의 동작상 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부도면 및 첨부도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [47] 이하 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 구성 및 작용을 상세히 설명하면 다음과 같다. 여기서 각 도면의 구성요소들에 대해 참조 부호를 부가함에 있어 동일한 구성요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호로 표기되었음에 유의하여야 한다. 또한, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [48] 후술하는 본 발명의 실시예에서 액화가스는, 가스를 저온으로 액화시켜 수송할 수 있는 액화가스일 수 있으며, 예를 들어, LNG(Liquefied Natural Gas), LEG(Liquefied Ethane Gas), LPG(Liquefied Petroleum Gas), 액화에틸렌가스(Liquefied Ethylene Gas), 액화프로필렌가스(Liquefied Propylene Gas) 등과 같은 액화 석유화학 가스일 수 있다. 또는, 액화 이산화탄소, 액화 수소, 액화 암모니아 등의 액체 가스일 수도 있다. 다만, 후술하는 실시예에서는

대표적인 액화가스인 LNG가 적용되는 것을 예로 들어 설명하기로 한다.

- [49] 또한, 후술하는 본 발명의 일 실시예에 따른 LNG 재기화 시스템은, 선박에 적용되는 것을 예로 들어 설명하지만, 육상에서 적용될 수도 있다.
- [50] 또한, 본 발명의 일 실시예에서 LNG 재기화 선박은, LNG를 재기화시켜 가스 수요처로 공급할 수 있는 LNG 재기화 설비가 설치된 모든 종류의 선박, 즉, LNG RV(Regasification Vessel)와 같은 자체 추진 능력을 갖는 선박을 비롯하여, LNG FSRU(Floating Storage Regasification Unit)와 같이 해상에 부유하고 있는 해상 구조물일 수 있다. 다만, 후술하는 실시예에서는 LNG FSRU인 것을 예로 들어 설명하기로 한다.
- [51] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 LNG 재기화 선박은, LNG를 해상에서 재기화시키고, 재기화 가스(Regas)를 배관망을 통해 육상의 가스 수요처로 공급할 수 있다.
- [52]
- [53] 이하, 도 1 내지 도 5를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 선박의 액화가스 재기화 시스템 및 방법을 설명하기로 한다.
- [54] 본 실시예에 따른 선박의 액화가스 재기화 시스템은, LNG를 저장하는 LNG 저장탱크(미도시)로부터 배출된 LNG를 가스 수요처(미도시)에서 요구하는 압력 또는 그 이상으로 압축하는 고압펌프(미도시), 고압펌프에서 압축된 고압의 LNG를 제1 열전달 매체와의 열교환에 의해 기화시키는 기화기(120) 및 기화기(120)에서 기화된 재기화 가스, 즉 천연가스를 가스 수요처에서 요구하는 온도로 조절하거나 또는 기화기(120)에서 기화되지 않은 LNG를 완전히 기화시키고 가스 수요처에서 요구하는 온도로 가열하는 트림히터(130)를 포함한다.
- [55] LNG 저장탱크에는, 저장된 LNG를 배출시켜 고압펌프로 공급하는 공급펌프(미도시)가 구비될 수 있다. 공급펌프는, LNG 저장탱크의 내부에 설치될 수 있고, LNG 저장탱크에 저장된 LNG에 잠긴 상태에서 운전될 수 있는 반잠수식 펌프일 수 있다.
- [56] 본 실시예의 고압펌프는, 재기화시킬 LNG를 가스 수요처에서 요구하는 재기화 가스의 압력으로 압축시켜 기화기(120)로 공급한다. 가스 수요처에서 요구하는 압력은 각 제티(jetty)별로 다르지만 일반적으로 약 50 bar 내지 100 bar 정도이다. 즉, 본 실시예의 고압펌프는 LNG를 약 50 bar 내지 100 bar 또는 압력손실 등을 고려하여 그보다 일정 수준 높은 압력까지 압축시킬 수 있다.
- [57] 본 실시예의 기화기(120)에서는, 고압펌프에 의해 가스 수요처에서 요구하는 재기화 가스의 압력으로 압축된 고압의 LNG가 제1 사이클을 순환하는 제1 열전달 매체와의 열교환에 의해 기화되어 기체 상태가 되거나, 일부만이 기화되어 기액 혼합 상태가 될 수 있다. 기화기(120)에서 기화되는 압축 LNG의 온도는 제1 열전달 매체 및/또는 해수의 온도나 유량 등 열원의 상태에 따라 달라질 수 있다.

- [58] 본 실시예의 기화기(120)는 쉘 앤 튜브 열교환기일 수 있고, 특히, 튜브가 쉘을 한 번만 통과하는 1 pass 타입의 쉘 앤 튜브 열교환기일 수 있다.
- [59] 본 실시예의 트림히터(130)에서는, 기화기(120)에서 기화된 재기화 가스를, 가스 수요처에서 요구하는 온도까지 가열하여, 가스 수요처로 공급한다. 또한, 제1 열전달 매체의 열용량이 부족하여 기화기(120)에서 기화되지 않은 LNG가 있다면 트림히터(130)에서 전량이 기화되고, 가스 수요처에서 요구하는 온도까지 가열될 수 있다.
- [60] 본 실시예의 트림히터(130)는 쉘 앤 튜브 열교환기일 수 있고, 특히, 튜브가 쉘을 두 번 통과하는 2 pass 타입의 쉘 앤 튜브 열교환기일 수 있다.
- [61] 육상의 가스 수요처에서는 통상적으로 약 0°C 내지 10°C, 또는 8°C 내지 10°C이면서 50 bar 내지 100 bar의 재기화 가스를 요구하므로, 트림히터(130)에서는 기화기(120)로부터 육상의 가스 수요처로 공급되는 재기화 가스를 약 0°C 내지 10°C까지 가열하여 가스 수요처로 공급할 수 있다.
- [62] 본 실시예에 따르면, LNG 저장탱크에 저장된 LNG는 액화가스 라인(LL)을 따라 유동하며 고압펌프에서 압축되고, 기화기(120)에서 기화되며, 트림히터(130)에서 가열되어 가스 수요처로 이송된다.
- [63] 한편, 액화가스 라인(LL)에는, 기화기(120)의 상류에 구비되며, 기화기(120)로 공급되는 LNG의 유량을 제어하기 위한 제1 밸브(LV)가 구비될 수 있다.
- [64] 제1 밸브(LV)는, 기화기(120)에서 LNG와 열교환 후 배출되는 제1 열전달 매체의 온도를 측정하는 제2 온도 제어부(TIC02)의 온도 측정값을 이용한 출력값 및 기화기(120)에서 기화되어 배출되는 천연가스의 온도를 측정하는 제1 온도 제어부(TIC01)의 온도 측정값을 이용한 출력값에 의해 제어된다.
- [65] 본 실시예에서 제1 온도 제어부(TIC01)는, 온도를 측정하는 온도 측정기(TT01)와, 온도 측정기(TT01)의 온도 측정값을 전송받아 온도 조절에 필요한 각종 수단을 제어하기 위한 출력값을 산출하고 각종 수단에 제어 신호를 송출할 수 있는 온도 조절기(temperature controller)를 모두 포함하여 지칭하는 것일 수 있다.
- [66] 또한, 제2 온도 제어부(TIC02) 역시, 온도를 측정하는 온도 측정기(TT02)와, 온도 측정기(TT02)의 온도 측정값을 전송받아 온도 조절에 필요한 각종 수단을 제어하기 위한 출력값을 산출하고 각종 수단에 제어 신호를 송출할 수 있는 온도 조절기(temperature controller)를 모두 포함하여 지칭하는 것일 수 있다.
- [67] 제1 밸브(LV)를 제어하는 제1 제어부(LS1)는, 로우 셀렉터(low selector)일 수 있다. 즉, 제1 제어부(LS1)는, 제2 온도 제어부(TIC02)의 온도 측정값에 따른 출력값과, 제1 온도 제어부(TIC01)의 온도 측정값에 따른 출력값 중에서 더 작은값으로 제1 밸브(LV)를 제어할 수 있다.
- [68] 또한, 본 실시예에 따른 선박의 액화가스 재기화 시스템은, 기화기(120)에서 LNG와 열교환하여 LNG를 기화시키기 위한 열원으로서 제1 열전달 매체를 순환시키는 랭킨 사이클인 제1 사이클을 포함할 수 있다.

- [69] 본 실시예에서 제1 열전달 매체는 제1 사이클을 순환하면서 상변화를 수반하는 냉매일 수 있다.
- [70] 기존에는 기화기(120)에서 LNG를 기화시키기 위한 열전달 매체로서 주로 글리콜 워터를 사용하였다. 글리콜 워터를 열전달 매체로 채택하는 경우, 기화기(120)에서 LNG와 열교환하는 과정 및 열교환기에서 해수와 열교환하면서 가열되는 과정에서 상변화가 일어나지 않는다. 즉 현열을 이용해서만 열전달이 이루어진다.
- [71] 반면, 본 실시예와 같이 기화기(120)에서 LNG와 열교환하는 과정 및 열교환기에서 해수와 열교환하면서 가열되는 과정에서 상변화가 수반되는 냉매를 열전달 매체로서 채택하는 경우, 잠열에 의해서도 열전달이 이루어지므로, LNG를 기화시키기 위한 듀티가 동일한 조건을 기준으로, 사이클을 순환시켜야 하는 열전달 매체의 유량이 글리콜 워터를 사용하는 경우에 비해 현저히 줄어들기 때문에, 열전달 매체를 순환시키기 위한 펌프의 동력이 감소하여 시스템 전반의 효율을 개선할 수 있다.
- [72] 본 실시예의 제1 사이클은, 제1 열전달 매체를 순환시키는 제1 펌프(210), 제1 펌프(210)에 의해 가압된 제1 열전달 매체를 기화시키는 제1 열교환기(220), 제1 열교환기(220)에서 기화된 제1 열전달 매체를 팽창시키고, 제1 열전달 매체의 팽창일을 전력으로 전환하여 전력을 생산하는 팽창-발전기(230) 및 기화기(120)에서 LNG와의 열교환에 의해 응축된 제1 열전달 매체를 저장하는 리시버(240)를 포함한다.
- [73] 제1 열전달 매체는, 제1 열매체 라인(RL)을 따라 유동하면서, 제1 펌프(210)에 의해 가압되고, 제1 열교환기(220)에서 기화되며, 팽창-발전기(230)에서 팽창된 후, 기화기(120)에서 응축되고, 리시버(240)를 거쳐 제1 펌프(210)로 순환되도록 형성되는 루프 사이클인 제1 사이클을 순환한다.
- [74] 본 실시예의 제1 열교환기(220)에서 제1 열전달 매체는, 해수펌프(미도시)에 의해 흡입되고 제1 해수라인(SL1)을 따라 제1 열교환기(220)로 공급된 해수와 열교환에 의해 기화된다.
- [75] 제1 열교환기(220)에서 해수는 제1 열전달 매체를 기화시키면서 냉각되고, 냉각된 해수는 제1 해수라인(SL1)을 따라 제1 열교환기(220)로부터 배출된다.
- [76] 본 실시예에서는 제1 열교환기(220)에서 제1 열전달 매체를 기화시키는 열원으로서 해수가 사용되는 것을 예로 들어 설명하지만, 열원은 선내 스팀 생성기(미도시)에서 생산된 스팀을 사용할 수도 있고, 해수와 스팀을 상호 보완적으로 사용할 수도 있을 것이다.
- [77] 해수와 스팀을 상호 보완적으로 사용한다는 것은, 예를 들어, 제1 열교환기(220)는 해수와 스팀과 제1 열전달 매체를 열교환시키는 3 스트림 열교환기로 구비하는 것을 포함할 수 있다. 또는 해수와 제1 열전달 매체가 열교환하는 1단 열교환기와 스팀과 제1 열전달 매체가 열교환하는 2단 열교환기를 직렬로 설치하여 제1 열전달 매체가 단계적으로 가열되도록 할 수도

- 있으며, 또는 해수와 제1 열전달 매체가 열교환하는 1단 열교환기와 스팀과 제1 열전달 매체가 열교환하는 2단 열교환기를 병렬로 설치하여 제1 열교환기(220)에서의 제1 열전달 매체의 가열 온도를 조절할 수도 있을 것이다. 또는, 해수를 스팀과의 열교환에 의해 가열하는 해수 가열기를 추가로 구비하고, 해수 가열기에서 가열된 해수를 제1 열교환기(220)로 공급할 수도 있을 것이다.
- [78] 또한, 본 실시예의 제1 열교환기(220)는 셸 앤 튜브 열교환기(shell and tube heat exchanger) 또는 판형 열교환기(plate heat exchanger)일 수 있다.
- [79] 제1 열교환기(220)에서 해수에 의해 기화 또는 가열된 제1 열전달 매체는 팽창-발전기(expander-generator)(230)로 공급되어 팽창되고, 제1 열전달 매체의 팽창일은 전력으로 전환된다. 팽창-발전기(230)에서 생산된 전력은 선내 전력 수요처에서 사용될 수 있다.
- [80] 제1 열매체 라인(RL)의 제1 펌프(210)의 하류에는, 제1 펌프(210)로부터 제1 열교환기(220)로 공급되는 제1 열전달 매체의 유량을 조절하기 위한 제1 유량 조절밸브(FV1)가 구비될 수 있다.
- [81] 제1 유량 조절밸브(FV1)는, 제4 제어부(LS2)에 의해 제1 펌프(210)의 회전속도 또는 부하, 제1 열교환기(210)로부터 열교환 후 배출되는 제1 열전달 매체의 온도 및 기화기(120)로부터 열교환 후 배출되는 천연가스의 유량을 이용한 출력값에 따라 제어될 수 있다.
- [82] 제4 제어부(LS2)는 로우 셀렉터일 수 있다. 즉, 제4 제어부(LS2)는, 제1 펌프(210)의 회전속도 또는 부하 측정값에 따른 출력값, 제1 열교환기(210)로부터 열교환 후 배출되는 제1 열전달 매체의 온도 측정값에 따른 출력값 및 기화기(120)로부터 열교환 후 배출되는 천연가스의 유량 측정값에 따른 출력값 중에서 가장 작은값으로 제1 유량 조절밸브(FV1)를 제어할 수 있다.
- [83] 한편, 본 실시예에 따르면, 본 실시예의 제1 열매체 라인(RL)은, 팽창-발전기(230)의 상류에서 분기되며 제1 열교환기(220)에서 기화된 제1 열전달 매체가 팽창-발전기(230)를 우회하여, 즉 팽창-발전기(230)를 거치지 않고, 제1 열교환기(220)로부터 기화기(120)로 직접 공급되도록 연결되는, 제1 분기라인(RL1)을 포함한다.
- [84] 팽창-발전기(230)의 고장 등 팽창-발전기(230)를 사용할 수 없을 때에는, 제1 분기라인(RL1)을 활용하여, 제1 열교환기(220)가 제1 분기라인(RL1)을 통해 기화기(120)로 공급되도록 함으로써, 육상의 수요처로의 천연가스 공급에 영향을 미치지 않도록 한다.
- [85] 본 실시예의 제1 분기라인(RL1)은, 팽창-발전기(230)의 유지보수(maintenance) 시 제1 열전달 매체를 우회시키기 위한 목적과, 기화기(120)의 급격한 재기화 용량 증가에 따른 제1 열전달 매체의 순환 유량 증가 시 팽창-발전기(230)의 입구 측 밸브인 제2 유량 조절밸브(FV2)의 반응속도 지연에 따른 전단 압력을 조절하기 위한 목적으로 구비된다.
- [86] 또한, 본 실시예의 제1 사이클은, 제1 열교환기(220)와 팽창-발전기(230) 사이에

구비되며, 제1 열교환기(220)에서 기화된 제1 열전달 매체를 팽창-발전기(230)로 공급하기 전에 임시 저장하고, 팽창-발전기(230)로 공급할 제1 열전달 매체에 포함된 액상을 분리하는 녹아웃 드럼(250)을 더 포함할 수 있다.

- [87] 녹아웃 드럼(250)과 팽창-발전기(230) 사이의 제1 열매체 라인(RL)에는, 녹아웃 드럼(250)으로부터 팽창-발전기(230)로 이송되는 기체 상태의 제1 열전달 매체의 유량을 조절하기 위한 제2 유량 조절밸브(FV2)가 구비된다.
- [88] 제2 유량 조절밸브(FV2)는 팽창-발전기(230)의 발전기 부하 또는 속도, 팽창-발전기(230)에 의해 팽창된 후 배출되는 제1 열전달 매체의 압력 및 녹아웃 드럼(250)의 압력에 따라 제어될 수 있다.
- [89] 또한, 팽창-발전기(230)의 발전기 부하 또는 속도 측정값, 팽창-발전기(230)에 의해 팽창된 후 배출되는 제1 열전달 매체의 압력 측정값 및 녹아웃 드럼(250)의 압력 측정값을 이용하여 제2 유량 조절밸브(FV2)와 제1 분기라인(RL1)에 구비되는 제3 유량 조절밸브(FV3)를 제어함으로써, 녹아웃 드럼(250)으로부터 기체 상태의 제1 열전달 매체가 제1 열매체 라인(RL) 또는 제1 분기라인(RL1)을 따라 이송되도록 제어할 수 있다.
- [90] 제2 유량 조절밸브(FV2) 및 제3 유량 조절밸브(FV3)는 거버너(governor)에 의해, 팽창-발전기(230)의 후단 압력과, 팽창-발전기(230)의 발전 부하 측정값과, 팽창-발전기(230)의 회전수와, 녹아웃 드럼(250)의 압력 중 어느 하나 이상에 의한 출력값에 따라 제어될 수 있다.
- [91] 팽창-발전기(230)에서는 제1 열교환기(220)에서 해수와의 열교환에 의해 기화 또는 가열된 제1 열전달 매체가 팽창하면서 압력 및 온도가 낮아질 수 있다.
- [92] 팽창-발전기(230)에서 팽창된 제1 열전달 매체는 제1 열매체 라인(RL)을 따라 기화기(120)로 공급되어 LNG와 열교환하면서 냉각 또는 응축된다. 기화기(120)에서 냉각 또는 응축된 제1 열전달 매체는 제1 열매체 라인(RL)을 따라 리시버(240)로 이송된다.
- [93] 본 실시예의 리시버(240)는 기화기(120)에서 응축된 제1 열전달 매체가 모이는 압력 베슬(pressure vessel)로서, 제1 사이클을 순환하는 제1 열전달 매체의 유량 및 압력을 제어하는 등 완충 탱크로서의 역할도 가진다.
- [94] 본 실시예에 따르면, 리시버(240)의 압력을 조절하기 위한 수단을 더 포함할 수 있으며, 리시버(240)의 압력 조절수단은, 후술할 제2 밸브(RV) 및 제3 밸브(QV)를 포함한다.
- [95] 또한, 본 실시예에 따르면, 제1 펌프(210)의 하류에서 제1 열매체 라인(RL)으로부터 분기되며 리시버(240)로 연결되는 제4 분기라인(RL4) 및 녹아웃 드럼(250)으로부터 제4 분기라인(RL4)으로 연결되는 제5 분기라인(RL5)을 더 포함할 수 있다.
- [96] 제4 분기라인(RL4)에는 제1 펌프(210)의 최소 유량을 유지시키기 위하여, 제1 열교환기(220)에서 요구하는 제1 열전달 매체의 유량이 최소 유량보다 적을 때와 같이 제1 펌프(210)의 토출 유량 중에서 제1 열전달 매체의 요구 유량을 초과하는

양이 있는 경우 그 해당 유량을 리시버(240)로 되돌리기 위한 제1 수위밸브(LV1)가 구비된다. 제1 수위밸브(LV1)는 제1 펌프(210)의 회전속도에 의한 출력값에 따라 제어될 수 있다.

- [97] 또한, 제5 분기라인(RL5)에는, 녹아웃 드럼(250)에서 분리된 액상의 제1 열전달 매체가 리시버(240)로 회수되도록 개폐가 제어되는 제2 수위밸브(LV2)가 구비된다. 제2 수위밸브(LV2)는 녹아웃 드럼(250)의 수위 측정값에 의한 출력값에 따라 제어될 수 있다.
- [98] 본 실시예에서 제1 열전달 매체는, 제1 사이클을 순환하면서 상변화를 수반하는 물질 또는 혼합물로 선택될 수 있다. 즉, 제1 열전달 매체는, 제1 열교환기(220)에서 해수와 열교환하며 기화되고, 팽창-발전기(230)에서 팽창된 후, 기화기(120)에서 응축될 수 있다.
- [99] 본 실시예에서 제1 열전달 매체는, 기본적으로 화재 및 폭발의 위험이 없는 자연 냉매, HFC계(Hydrofluorocarbons) 및 HFO계(Hydrofluorolefin) 냉매를 단일 또는 혼합하여 사용할 수 있고, 예를 들어, R-23, R-32, R-134a, R-407c, R-410A 등이 단일로, 또는 혼합된 상태로 적용될 수 있다.
- [100] 한편, 팽창-발전기(230)에서 제1 열전달 매체는 등엔트로피 팽창하고, 이 과정에서 제1 열전달 매체의 온도는 감소하게 된다.
- [101] 예를 들어, 제1 열교환기(220)에서 기화 또는 가열되어 배출되는 제1 열전달 매체가 11°C, 5 barG이고, 팽창-발전기(230)에서 2 barG까지 팽창된다면, 제1 열전달 매체의 온도는 약 -10.5°C까지 떨어진다. 팽창-발전기(230)로부터 배출되는 -10.5°C의 제1 열전달 매체가 기화기(120)에서 LNG를 기화시키기 위한 열원으로 공급된다면, 기화기(120)로부터 배출되는 천연가스의 최소온도 조건, 예를 들어 8°C를 충족시킬 수 없다.
- [102] 따라서, 본 실시예에 따르면, 기화기(120)로부터 가스 수요처로 공급하는 천연가스를 가스 수요처에서 요구하는 최소온도 조건 이상으로 트림히터(130)를 더 포함한다.
- [103] 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제1 열교환기(220)에서 기화된 제1 열전달 매체가, 팽창-발전기(230)에서 전력을 생산하면서 온도가 낮아지고, 그에 따라 기화기(120)로 공급되는 제1 열전달 매체의 온도가 재기화 가스의 온도를 가스 수요처에서 요구하는 온도까지 가열하기 위해 필요한 온도보다 낮기 때문에, 기화기(120) 하류에 트림히터(130)를 구비하여 해당 문제를 해결할 수 있다.
- [104] 본 발명의 일 실시예에 따른 재기화 시스템은, 트림히터(130)에서 천연가스를 가열하기 위한 열원으로서 제2 열전달 매체를 순환시키는 제2 사이클을 더 포함할 수 있다.
- [105] 트림히터(130)에서는 제2 사이클을 순환하는 제2 열전달 매체와 천연가스가 열교환하여 천연가스는 최소온도 조건, 즉 가스 수요처에서 요구하는 온도 또는 그 이상으로 가열되고 제2 열전달 매체는 천연가스의 냉열을 회수하여 냉각

또는 응축된다.

- [106] 본 실시예의 제2 사이클은, 제2 열전달 매체를 순환시키는 제2 펌프(미도시)와, 제2 열전달 매체를 가열 또는 기화시키는 제2 열교환기(미도시)와, 트림히터(130)에서 열교환 후 배출되는 제2 열전달 매체를 안정화시키는 팽창탱크(미도시)를 포함한다.
- [107] 제2 열전달 매체는, 제2 열매체 라인(미도시)을 따라 유동하면서, 제2 펌프에 의해 가압되고, 제2 열교환기에서 기화 또는 가열되며, 트림히터(130)에서 냉각 또는 응축되고, 팽창탱크를 거쳐 제2 펌프로 순환되도록 형성되는 루프 사이클인 제2 사이클을 순환한다.
- [108] 본 실시예의 제2 열교환기에서 제2 열전달 매체를 가열하는 열원은, 해수펌프에 의해 흡입되고 제2 해수라인을 따라 제2 열교환기로 공급된 해수일 수 있다.
- [109] 제2 열교환기에서 제2 열전달 매체를 기화 또는 가열시키면서 냉각된 해수는 제2 해수라인을 따라 외부로 배출될 수 있다.
- [110] 또한, 본 실시예에서는, 제2 열교환기에서 제2 열전달 매체를 기화 또는 가열시키는 열원으로서 해수가 사용되는 것을 예로 들어 설명하지만, 열원은 선내 스팀 생성기에서 생산된 스팀을 사용할 수도 있고, 상술한 제1 열교환기(220)의 경우와 마찬가지로 해수와 스팀을 상호 보완적으로 사용할 수도 있을 것이다.
- [111] 또한, 본 실시예의 제2 열교환기는 판형 열교환기(plate heat exchanger)일 수 있다.
- [112] 본 실시예의 팽창탱크는 제2 열교환기에서의 열교환에 의해 제2 열전달 매체의 온도 변화에 따른 부피 팽창에 대응하기 위한 완충기로서의 역할을 가진다.
- [113] 또한, 팽창탱크에서는, 제2 열전달 매체에 침입된 공기(air) 등 이물질질을 제2 열전달 매체로부터 분리될 수 있고, 트림히터(130)에서 천연가스가 누출(leak)되어 제2 열전달 매체로 가스가 유입된 경우, 제2 열전달 매체로 유입된 가스도 제2 열전달 매체로부터 분리될 수 있다.
- [114] 본 실시예에서 제2 열전달 매체는 글리콜 워터(glycol water)일 수 있다.
- [115] 팽창-발전기(230)에서는 제1 열교환기(220)에서 해수와의 열교환에 의해 기화 또는 가열된 제1 열전달 매체가 팽창하면서 압력이 낮아지고 온도도 낮아진다. 제1 열교환기(220)에서 열원으로 사용되는 해수의 온도가 가스 수요처의 최소온도 조건보다 충분히 높은 경우를 제외하면, 제1 열전달 매체의 팽창-발전기(230)에서의 압력 변화 과정에서 온도 강하가 매우 크고, 제1 열전달 매체의 열용량이 작아 천연가스를 최소온도 조건 이상으로 가열하는데 어려움이 있다.
- [116] 따라서, 본 실시예에 따르면, 천연가스를 최소온도 조건 이상으로 가열(trim heating)하기 위한 중간 열매체로서 제2 열전달 매체, 즉 글리콜 워터를 사용할 수 있다.

- [117] 일반적으로 고압펌프를 이용하여 LNG를 최소 압력조건 이상으로 압축하고, 기화기(120)에서 최소 온도조건 이상으로 기화 및 가열되어야 한다. 예를 들어, 기화기(120)로부터 배출되는 천연가스의 최소 온도조건이 8°C라고 하면, 이를 충족시키기 위해 기화기(120)로 공급되는 제1 열전달 매체의 온도는 최소 온도조건인 8°C보다 높아야 한다. 일반적인 열교환기에서 가열유체와 피가열유체 간의 최소 온도차가 2 ~ 3°C임을 고려하면, 기화기(120)로 공급되는 제1 열전달 매체의 온도는 약 11°C 이상이어야 한다.
- [118] 또한, 본 실시예에서 제1 열전달 매체는 제1 열교환기(220)에서 해수와의 열교환에 의해 가열되므로, 마찬가지로 일반적인 열교환기의 가열유체와 피가열유체 간의 최소 온도차를 고려하면, 제1 열교환기(220)로 공급되는 해수의 온도는 약 14°C 이상이어야 한다.
- [119] 그러나, 제1 열교환기(220)에서 제1 열전달 매체가 11°C로 가열되었다고 하더라도, 상술한 바와 같이 팽창-발전기(230)에서 전력을 생산하면서 제1 열전달 매체의 온도는 -10.5°C까지 낮아질 수 있다.
- [120] 따라서, 본 실시예에 따르면 필수적으로 트림히터(130)를 이용하여, 기화기(120)에서 기화된 천연가스를 가스 수요처의 최소 온도조건, 즉 천연가스의 최종 송출 온도까지 가열해주어야 한다.
- [121] 만약, 제1 열교환기(220)로부터 팽창-발전기(230)로 공급되는 제1 열전달 매체의 일부를 분기시켜 트림히터(130)에서 천연가스를 가열하기 위한 열전달 매체로 사용하게 되면, 해수의 온도가 충분히 높아 제1 열교환기(220)에서 열교환하는 제1 열전달 매체와 해수와의 온도차가 최소 수준 이상으로 높은 경우를 제외하고는, 트림히터(130)에서의 열교환 성능이 충분하지 않아 천연가스를 최종 송출 온도까지 가열할 수 없는 문제가 발생할 수 있다.
- [122] 제1 열전달 매체의 낮은 열용량과 상변화로 인해 트림히터(130)의 내부에서 핀치 포인트가 결정되므로, 트림히터(130)의 설계는 쉽지 않다. 따라서, 이러한 설계 상의 어려움을 제2 열전달 매체를 사용함으로써 해결하고, 재기화 가스를 안정적으로 가열할 수 있다.
- [123] 본 실시예에 따르면, 제1 열교환기(220)에서 해수와의 열교환에 의해 제1 열전달 매체, 즉 냉매는 기화기(120)의 열원으로만 사용하고, 제2 열교환기에서 해수와의 열교환에 의해 가열한 제2 열전달 매체, 즉 글리콜 워터를 트림히터(130)의 열원으로 공급하여 핀치 포인트가 트림히터(130)의 내부에서 발생되지 않도록 함으로써, 충분한 열교환 성능을 확보하고 천연가스를 최종 송출 온도까지 안정적으로 가열할 수 있다.
- [124] 또한, 재기화 시스템의 초기 기동시에는, LNG가 기화기(120)로 공급되지 않으면 제1 열전달 매체가 기화기(120)에서 응축되지 않으므로, 제1 열전달 매체의 순환이 불가능하기 때문에, LNG와 제1 열전달 매체의 공급 균형을 잘 유지하면서 기화기(120)의 부하를 증가시켜야 한다. 이는 운전상에 많은 어려움을 야기한다.

- [125] 본 실시예에 따르면, 트립히터(130)에서 천연가스를 가열하기 위한 제2 열전달 매체로서 글리콜 워터를 사용함으로써, 재기화 시스템의 초기 기동시에, LNG 공급량과 제1 열전달 매체의 열 균형이 맞지 않아 LNG가 기화기(120)로 넘어가는 상황이 방지되어 안정적인 운전이 가능하다.
- [126] 한편, 본 실시예에서는 팽창-발전기(230)에서 제1 열전달 매체에 의해 전력을 생산하므로, 상술한 재기화 선박에 설치되는 발전 엔진의 부하를 낮추고, 연료 소모량을 줄일 수 있다.
- [127] 이와 같이, 본 실시예에 따르면, 고압 가스상의 제1 열전달 매체의 냉열을 활용하여 팽창-발전기(230)를 구동시킴으로써 전력을 생산하고, 팽창-발전기(230)를 구동시킨 후의 저압 가스상의 제1 열전달 매체를 이용하여 LNG를 기화시키는데, 이때 고압부인 팽창-발전기(230)의 입구 측과 저압부인 팽창-발전기(230)의 출구 측의 압력 제어가 매우 중요하다.
- [128] 이를 목적으로 구비되는 리시버(240)는 팽창-발전기(230)의 출구 압력을 일정하게 제어하기 위한 역할과, 제1 펌프(210)로 액체 상태의 제1 열전달 매체가 안정적으로 공급되도록 하기 위한 버퍼 탱크의 역할을 가진다.
- [129] 재기화 시스템이 정상적으로 운전될 때, 기화기(120)에서 LNG와의 열교환에 의해 기화기(120)로부터 나오는 제1 열전달 매체의 온도는 낮아지게 된다. 이때 제1 열전달 매체와 열교환하는 LNG의 유량, 즉, 기화기(120)로 공급되는 LNG의 유량을 조절함으로써, 기화기(120)로부터 배출되는 제1 열전달 매체의 온도를 조절할 수 있다.
- [130] 기화기(120)로부터 열교환 후 응축되어 배출되는 제1 열전달 매체의 온도에 따라 제1 열전달 매체의 포화압력이 결정되므로, 기화기(120)로부터 배출되는 제1 열전달 매체의 온도를 정상적으로 제어해야만 팽창-발전기(230)로부터 배출되는 제1 열전달 매체의 압력도 정상적으로 수행할 수 있다.
- [131] 즉, 리시버(240)의 압력은, 기화기(120)로부터 배출된 제1 열전달 매체의 온도에 따른 포화 압력으로 유지되어야 한다.
- [132] 정상적인 상황에서는 제1 열전달 매체의 온도에 따라 리시버(240)의 압력이 안정적으로 제어되고 유지되나, 리시버(240)로 유입되는 제1 열전달 매체의 기체 유량이 갑자기 많아지는 상황(transient) 등의 문제가 발생하면, 응답속도가 늦어 기화기(120)로부터 배출되는 제1 열전달 매체의 온도는 정상적으로 제어된다고 하더라도 리시버(240)의 압력이 그에 추종되지 않을 수 있다.
- [133] 따라서, 본 발명의 일 실시예들에 따른 재기화 시스템 및 방법은, 이와 같이 응답속도가 늦어지는 상황에서도 재기화 시스템의 제어 응답성을 향상시키기 위하여, 팽창-발전기(230)의 후단 압력, 즉 저압측 압력을 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [134] 보다 구체적으로는, 기화기(120)의 후단 압력, 즉 리시버(240)의 압력을 제어함으로써 팽창-발전기(230)의 후단 압력을 빠르게 제어한다.
- [135] 도 2를 참조하면, 본 발명의 제1 실시예에 따른 재기화 시스템은,

팽창-발전기(230)의 하류에서 제1 열매체 라인(RL)으로부터 분기되어 리시버(240)로 연결되는 제2 분기라인(RL2) 및 제2 분기라인(RL2)에 구비되는 제2 밸브(RV), 리시버(240)의 상류에서 제1 열매체 라인(RL)으로부터 분기되어 리시버(240)의 상단부로 연결되는 제3 분기라인(RL3) 및 제3 분기라인(RL3)에 구비되는 제3 밸브(QV)를 포함한다.

- [136] 또한, 리시버(240)의 압력을 측정하는 제1 압력 제어부(PIC01) 및 제1 압력 제어부(PIC01)에 의한 압력 측정값에 의한 출력값에 따라 제2 밸브(RV) 및 제3 밸브(QV)를 제어하는 제2 제어부(BQ)를 더 포함한다.
- [137] 본 실시예에서 제1 압력 제어부(PIC01)는, 압력을 측정하는 압력 측정기(PT01)와, 압력 측정기(PT01)의 압력 측정값을 전송받아 압력 조절에 필요한 각종 수단을 제어하기 위한 출력값을 산출하고 각종 수단에 제어 신호를 송출할 수 있는 압력 조절기(pressure controller)를 모두 포함하여 지칭하는 것일 수 있다.
- [138] 제2 제어부(BQ)의 제어 로직은 스플릿 레인지 제어(split range control)로서, 제1 압력 제어부(PIC01)에 의해 측정된 리시버(240)의 압력 측정값이 설정값보다 낮으면, 팽창-발전기(230)로부터 기화기(120)로 공급되는 고온의 제1 열전달 매체가 제2 분기라인(RL2)을 통해 기화기(120)를 우회하여 리시버(240)로 공급되도록 제2 밸브(RV)를 개방하는 바이패스 모드(bypass mode)를 포함한다.
- [139] 또한, 제2 제어부(BQ)의 제어 로직은, 제1 압력 제어부(PIC01)에 의해 측정된 리시버(240)의 압력 측정값이 설정값보다 높으면, 기화기(120)로부터 배출된 저온의 제1 열전달 매체가 제3 분기라인(RL3)을 통해 리시버(240)의 상단에서 리시버(240) 내부로 분사 공급되도록 제3 밸브(QV)를 개방하는 퀀칭 모드(queching mode)를 더 포함한다.
- [140] 바이패스 모드는, 리시버(240)의 압력 측정값이 설정값보다 낮아지면, 제2 밸브(RV)를 개방하여 고온의 제1 열전달 매체가 리시버(240)로 유입되도록 함으로써 리시버(240)의 압력을 높이고, 팽창-발전기(230)의 출구 압력이 낮아지지 않도록 사전에 빠르게 제어할 수 있다.
- [141] 바이패스 모드는 리시버(240)의 압력 측정값이 설정값에 도달할 때까지 지속할 수 있다.
- [142] 한편, 정상시에는 제1 열전달 매체를 제1 열매체 라인(RL)을 따라 리시버(240)의 중간 높이에 구비되는 유체 입구를 통해 리시버(240)로 공급하다가, 퀀칭 모드가 작동되면, 제3 밸브(QV)를 개방하여 저온의 제1 열전달 매체가 리시버(240)의 상부에 구비되는 분사 노즐을 통해 분사 공급되도록 함으로써, 리시버(240)의 상부에 존재하고 있는 고온의 기체 상태의 제1 열전달 매체의 온도를 낮추어 리시버(240) 내 압력을 낮춘다. 리시버(240) 내 압력을 낮춤으로써 팽창-발전기(230)의 출구 압력이 높아지지 않도록 사전에 빠르게 제어할 수 있다.
- [143] 퀀칭 모드는 리시버(240)의 압력 측정값이 설정값에 도달할 때까지 지속할 수

있다.

- [144] 한편, 제1 열전달 매체의 실제 조성 등 여러가지 요인에 의해 포화압력과 온도와의 관계가 초기 설정값 달라질 수 있다. 예를 들면, 제1 열전달 매체가 여러 성분이 혼합된 복합냉매인 경우, 끓는점이 낮은 성분은 운전 중 일부가 기화되어 소실되는 등의 상황이 발생하여 제1 열전달 매체의 조성이 운전 중 달라질 수 있고 그에 따라 압력과 온도의 관계도 달라진다.
- [145] 이와 같이, 제1 열전달 매체의 조성이 운전 초기와 달라졌음에도 제2 제어부(BQ)의 각종 온도 측정값 및 압력 측정값을 초기 설정값을 유지한 상태에서 운전한다면, 괴리가 발생하여 필요 이상의 바이패스 모드와 쿨링 모드에 따른 밸브 조작이 일어날 수 있다.
- [146] 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 발명의 제2 실시예에 따른 재기화 시스템은, 압력과 온도 간의 포화 곡선 관계를 조정하기 위하여 설정값(set point) 조정 수단을 포함한다.
- [147] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 설정값 조정 수단으로서, 제1 압력 제어부(PIC01)의 압력 측정값을 이용하여, 제2 온도 제어부(TIC02)의 설정값을 변경하는 제3 제어부(PID)를 더 포함할 수 있다.
- [148] 즉, 리시버(240)의 포화 압력에 따라 기화기(120)로부터 배출되는 제1 열전달 매체의 온도의 설정값, 즉, 제1 열전달 매체 온도의 포화 온도를 조정하여, 제1 열전달 매체의 조성이 변동되더라도, 그에 맞추어 리시버(240)의 설정압력 제2 밸브(BV) 및 제3 밸브(QV)의 개방 시점을 조정하여 시스템을 정상적으로 제어할 수 있다.
- [149]
- [150] 본 실시예에 따른 LNG 재기화 시스템의 제1 열전달 매체는, LNG 재기화 시스템의 정상 운전 시, 기화기(120)에서 LNG와의 열교환에 의해 응축되어 상대적으로 낮은 압력을 유지하면서 제1 사이클을 순환한다.
- [151] 또한, 팽창-발전기(230)의 전단 압력, 즉 제1 사이클의 고압측 압력을 제어하기 위해서는, 제1 사이클을 순환하는 제1 열전달 매체의 유량에 대응하여 팽창-발전기(230) 상류에 구비되는 제2 유량 조절밸브(FV2)와 제3 유량 조절밸브(FV3)의 개도율이 조절되어야 한다.
- [152] 이때, 팽창-발전기(230)에서의 전력 생산량을 최대로 하기 위해서는, 제1 열전달 매체가 제1 분기라인(RL1)으로 유입되어 팽창-발전기(230)를 우회하기 보다는, 팽창-발전기(230)로 공급되도록 흐름이 유도되어야 한다.
- [153] 즉, 한정된 제1 열전달 매체의 유량을 기화기(120) 측으로 흐르게 하는데 있어서, 제3 유량 조절밸브(FV3)의 개도율은 작을수록, 제2 유량 조절밸브(FV2)의 개도율은 클수록 팽창-발전기(230)에 의한 전력 생산량이 증가하여 전체 시스템을 에너지 효율 측면에서 유리하게 운전할 수 있는 것이다.
- [154] 따라서, 후술하는 본 발명의 제3 및 제4 실시예들에 따른 재기화 시스템 및 방법은, 시스템 효율을 개선하기 위해 팽창-발전기(230)의 전단 압력, 즉 고압측

압력을 제어하는 것을 특징으로 한다.

- [155] 도 4를 참조하면, 본 발명의 제3 실시예에 따른 제기화 방법은, 녹아웃 드럼(250)의 압력 측정값에 의한 출력값에 따라 팽창-발전기(230)의 전단 압력을 제어한다.
- [156] 본 실시예에 따르면, 녹아웃 드럼(250)의 압력을 측정하는 제2 압력 제어부(PIC02)와, 제2 압력 제어부(PIC02)의 압력 측정값을 제6 제어부(SIC)에 전송하고, 제2 압력 제어부(PIC02)의 압력 측정값에 의한 출력값에 따라 제3 유량 조절밸브(FV3)의 개도를 조절하는 제5 제어부(FB)와, 제2 압력 제어부(PIC02)의 압력 측정값에 의한 출력값에 따라 팽창-발전기(230)의 출력 및 회전수 제어를 관장하고, 제2 유량 조절밸브(FV2)의 개도를 조절하는 제6 제어부(SIC)를 더 포함한다.
- [157] 본 실시예에서 제2 압력 제어부(PIC02)는, 녹아웃 드럼(250)의 압력을 측정하는 압력 측정기(PT02)와 압력 측정기(PT02)의 압력 측정값(pressure signal)을 전송받아 압력을 조절할 수 있는 각종 수단을 제어하기 위한 출력값을 산출하고 각종 수단에 제어 신호를 송출할 수 있는 압력 조절기(pressure controller)를 모두 포함하여 지칭할 수 있다.
- [158] 제5 제어부(FB)는, 제2 압력 제어부(PIC02)의 압력 측정값이 설정값보다 높으면, 스플릿 레인지 컨트롤(split range control) 방식으로, 제2 유량 조절밸브(FV2)를 우선적으로 개방하도록 제6 제어부(SIC)에 신호를 보내고, 제6 제어부(SIC)는 제5 제어부(FB)로부터 그 신호를 전송받아 팽창-발전기(230)의 출력을 높이고, 제2 유량 조절밸브(FV2)를 개방하거나 개도율을 높여 팽창-발전기(230)의 회전수(rotating speed)가 유지되도록 한다.
- [159] 이때, 제2 유량 조절밸브(FV2)의 개도율이 100%, 즉 최대임에도 불구하고, 녹아웃 드럼(250)의 압력이 계속 설정값 이상인 경우, 또는 팽창-발전기(230)의 출력이 최대값에 도달하는 경우에는, 제5 제어부(FB)의 스플릿 레인지 컨트롤(split range control)에 의해 제3 유량 조절밸브(FV3)를 개방하도록 명령하고, 제1 열전달 매체가 제1 분기라인(RL1)으로도 유입되도록 함으로써 녹아웃 드럼(250)의 압력, 즉 팽창-발전기(230)의 전단 압력을 제어한다.
- [160] 본 실시예에 따르면, 제6 제어부(SIC)는, 거버너(governor)(도 1 참조)일 수 있다. 즉, 본 실시예에 따르면, 안정적인 전력 공급을 위해, 팽창-발전기(230)의 터빈 회전수가 설정 범위 내에서 적정하게 운전되고 있는지를 모니터링 하고 그 회전수(rotating speed)를 제어하는 등 팽창-발전기(230)의 출력 제어를 관장하는 거버너에, 제2 유량 조절밸브(FV2)의 개도를 조절하는 역할을 부여한다.
- [161] 한편, 팽창-발전기(230)의 출력 변환속도는 팽창-발전기(230)의 제작 업체에 따라 그 허용 범위가 달라질 수 있는데, 평균적으로는 분당 10% 수준이다. 즉, 팽창-발전기(230)의 출력을 증가시킬 때에는, 1분당 10% 범위 내에서 증가시켜야 한다.
- [162] 상술한 바와 같이 녹아웃 드럼(250)의 압력 측정값에 의한 출력값에 따라

팽창-발전기(230)의 출력(터빈 회전수)을 변환시키는데 있어서, 제1 열전달 매체의 순환량 변화가 팽창-발전기(230)의 출력 조정률보다 빠르게 이루어지는 경우나, 녹아웃 드럼(250)로 유입되는 제1 열전달 매체의 기체 유량이 갑자기 많아지는 상황(transient condition) 등의 문제가 발생하면, 팽창-발전기(230)의 입구 압력이 요구 압력 범위를 크게 벗어나 시스템의 과부하를 일으키는 문제가 발생한다. 따라서, 안정적으로 팽창-발전기(230)를 운전할 수 없다.

- [163] 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 발명의 제4 실시예에 따른 재기화 방법은, 제2 압력 제어부(PIC02)의 압력 측정값에 의한 출력값에 따라 제3 유량 조절밸브(FV3)를 우선적으로 개방하여 팽창-발전기(230)의 전단 압력을 신속하게 제어하도록 한다.
- [164] 본 실시예에 따르면, 제2 압력 제어부(PIC02)의 압력 측정값이 설정값보다 높아지면, 우선적으로 제3 유량 조절밸브(FV3)를 개방함으로써, 압력 초과분만큼의 제1 열전달 매체를 녹아웃 드럼(250)으로부터 제1 분기라인(RL1)으로 배출시켜 팽창-발전기(230)의 입구 압력을 요구 압력 범위(설정값)까지 낮아지도록 신속하게 제어한다.
- [165] 또한, 본 실시예에서는 제5 제어부(FB)에서 제2 압력 제어부(PIC02)의 압력 조절기로부터 압력 측정값을 전송받아 제3 유량 조절밸브(FV3)를 제어하는 제3 실시예와는 달리, 제2 압력 제어부(PIC02)의 압력 조절기가 압력 측정값에 의한 출력값에 따라 제3 유량 조절밸브(FV3)에 개도 제어 신호를 직접 전송한다.
- [166] 또한, 본 실시예에 따르면, 도 5에 도시된 바와 같이, 제3 유량 조절밸브(FV3)의 밸브 변위를 제어하는 제7 제어부(ZIC)를 더 포함한다.
- [167] 본 실시예의 제7 제어부(ZIC)는 제3 유량 조절밸브(FV3)의 개도율을 폐쇄상태(SP: 0%)로 하기 위해 필요한 만큼의 부하가 팽창-발전기(230)에 할당되도록, 제2 유량 조절밸브(FV2)의 개도율을 조절한다.
- [168] 이와 같이 본 실시예에 따르면, 녹아웃 드럼(250)의 압력 측정값이 설정값보다 높은 경우, 제3 유량 조절밸브(FV3)를 우선적으로 개방하여 팽창-발전기(230)의 입구 압력을 설정값으로 먼저 맞춘다.
- [169] 그 다음, 제7 제어부(ZIC)에서 제3 유량 조절밸브(FV3)의 개도율을 가능한 한 최대 감소시키고, 팽창-발전기(230)의 출력을 최대한으로 높이도록 제6 제어부(SIC)에 신호를 전송한다.
- [170] 제6 제어부(SIC)는 그에 따라 제2 유량 조절밸브(FV2)의 개도율을 가능한 최대 증가시킴으로써, 팽창-발전기(230)의 전단 압력을 유지시키면서도 팽창-발전기(230)의 출력을 허용 범위 내에서 변화시키면서 발전량을 최대 할 수 있다.
- [171]
- [172] 이상과 같이 본 발명에 따른 실시예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다.

그러므로 상술한 실시예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고, 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

- [173]
- [174] <부호의 설명>
- [175] 120 : 기화기 130 : 트림히터
- [176] 210 : 제1 펌프 220 : 제1 열교환기
- [177] 230 : 팽창-발전기 240 : 리시버
- [178] 250 : 녹아웃 드럼
- [179] LL : 액화가스 라인 RL : 제1 열매체 라인
- [180] RL1 : 제1 분기라인 RL2 : 제2 분기라인
- [181] RL3 : 제3 분기라인 RL4 : 제4 분기라인
- [182] RL5 : 제5 분기라인 SL1 : 제1 해수라인
- [183] LV : 제1 밸브 FV1 : 제1 유량 조절밸브
- [184] FV2 : 제2 유량 조절밸브 FV3 : 제3 유량 조절밸브
- [185] LV1 : 제1 수위밸브 LV2 : 제2 수위밸브
- [186] RV : 제2 밸브 QV : 제3 밸브
- [187] TIC01 : 제1 온도 제어부 TIC02 : 제2 온도 제어부
- [188] PIC01 : 제1 압력 제어부 PIC02 : 제2 압력 제어부
- [189] LS1 : 제1 제어부 BQ : 제2 제어부
- [190] PID : 제3 제어부 LS2 : 제4 제어부
- [191] FB : 제5 제어부 SIC : 제6 제어부
- [192] ZIC : 제7 제어부