

명세서

발명의 명칭: LNG 선의 증발가스 재액화 방법

기술분야

- [1] 본 발명은, LNG 선의 저장탱크 내부에서 발생한 증발가스 중, 엔진에서 사용하고 남은 잉여 증발가스를, 증발가스 자체를 냉매로 사용하여 재액화시키는 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 근래, 액화천연가스(Liquefied Natural Gas, LNG) 등의 액화가스의 소비량이 전 세계적으로 급증하고 있는 추세이다. 가스를 저온에서 액화시킨 액화가스는 가스에 비해 부피가 매우 작아지므로 저장 및 이송 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 또한, 액화천연가스를 비롯한 액화가스는 액화과정 중에 대기오염 물질을 제거하거나 줄일 수 있어, 연소시 대기오염 물질 배출이 적은 친환경 연료로도 볼 수 있다.
- [3] 액화천연가스는 메탄(methane)을 주성분으로 하는 천연가스를 약 -163°C 로 냉각해서 액화시킴으로써 얻을 수 있는 무색투명한 액체로서, 천연가스와 비교해 약 1/600 정도의 부피를 가진다. 따라서, 천연가스를 액화시켜 이송할 경우 매우 효율적으로 이송할 수 있게 된다.
- [4] 그러나 천연가스의 액화 온도는 상압 -163°C 의 극저온이므로, 액화천연가스는 온도변화에 민감하여 쉽게 증발된다. 이로 인해 액화천연가스를 저장하는 저장탱크에는 단열처리를 하지만, 외부의 열이 저장탱크에 지속적으로 전달되므로 액화천연가스 수송과정에서 저장탱크 내에서는 지속적으로 액화천연가스가 자연 기화되면서 증발가스(Boil-Off Gas, BOG)가 발생한다.
- [5] 증발가스는 일종의 손실로서 수송효율에 있어서 중요한 문제이다. 또한, 저장탱크 내에 증발가스가 축적되면 탱크 내압이 과도하게 상승할 수 있어, 심하면 탱크가 파손될 위험도 있다. 따라서, 저장탱크 내에서 발생하는 증발가스를 처리하기 위한 다양한 방법이 연구되는데, 최근에는 증발가스의 처리를 위해, 증발가스를 재액화하여 저장탱크로 복귀시키는 방법, 증발가스를 선박의 엔진 등 연료소비처의 에너지원으로 사용하는 방법 등이 사용되고 있다.
- [6] 증발가스를 재액화하기 위한 방법으로는 별도의 냉매를 이용한 냉동 사이클을 구비하여 증발가스를 냉매와 열교환하여 재액화하는 방법, 및 별도의 냉매가 없이 증발가스 자체를 냉매로 하여 재액화하는 방법 등이 있다. 특히, 후자의 방법을 채용한 시스템을 부분 재액화 시스템(Partial Re-liquefaction System, PRS)이라고 한다.
- [7] 한편, 일반적으로 선박에 사용되는 엔진 중 천연가스를 연료로 사용할 수 있는 엔진으로 DFDE, X-DF 엔진, ME-GI 엔진 등의 가스연료엔진이 있다.
- [8] DFDE은, 4행정으로 구성되며, 비교적 저압인 6.5bar 정도의 압력을 가지는

천연가스를 연소공기 입구에 주입하여, 피스톤이 올라가면서 압축을 시키는 오토 사이클(Otto Cycle)을 채택하고 있다.

[9] X-DF 엔진은, 2행정으로 구성되고, 16 bar 정도의 천연가스를 연료로 사용하며, 오토 사이클을 채택하고 있다.

[10] ME-GI 엔진은, 2행정으로 구성되며, 300bar 부근의 고압 천연가스를 피스톤의 상사점 부근에서 연소실에 직접 분사하는 디젤 사이클(Diesel Cycle)을 채택하고 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[11] 본 발명은 재액화 성능을 안정화시켜 전반적인 재액화 효율 및 재액화량을 증가시킬 수 있는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법을 제공하고자 한다.

과제 해결 수단

[12] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 측면에 따르면, 1) 증발가스를 압축시키는 단계; 2) 증발가스를 냉매로 상기 1)단계에서 압축된 증발가스를 열교환기에 의해 열교환시켜 냉각시키는 단계; 3) 상기 2)단계에서 냉각된 유체를 팽창시키는 단계; 및 4) 상기 1)단계에서 압축된 후 상기 열교환기로 공급되는 재액화 대상 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계;를 포함하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법이 제공된다.

[13] 상기 LNG 선의 증발가스 재액화 방법은, 상기 열교환기의 열용량비(Heat Capacity Ratio)가 0.7 내지 1.2가 되어도 재액화 성능이 안정적으로 유지되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[14] 상기 1)단계 내지 3)단계를 거쳐 재액화된 증발가스의 양이 HYSYS에 의한 계산값의 50% 이상으로 유지될 수 있다.

[15] 상기 LNG 선의 증발가스 재액화 방법은, 5) 상기 3)단계에서 팽창된 유체를 기액분리하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[16] 상기 5)단계에서 기액분리된 기체 성분은 증발가스와 합류되어 상기 2)단계에서 열교환의 냉매로 사용될 수 있다.

[17] 상기 LNG 선의 증발가스 재액화 방법은, LNG 선은 10 내지 17 knot의 속도로 운항하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[18] 상기 1)단계에서 압축된 증발가스의 일부는 엔진의 연료로 사용될 수 있고, 상기 엔진에서 연료로 사용하는 증발가스의 유량이 1100 내지 2660 kg/h인 것을 특징으로 할 수 있다.

[19] 상기 엔진은 추진용 엔진 및 발전용 엔진을 포함할 수 있다.

[20] 상기 LNG 선의 증발가스 재액화 방법은, 상기 재액화 대상 증발가스의 유량이 1900 내지 3300 kg/h인 것을 특징으로 할 수 있다.

[21] 상기 LNG 선의 증발가스 재액화 방법은, 상기 2)단계에서 열교환의 냉매로

사용되는 증발가스의 유량 대비 상기 재액화 대상 증발가스의 유량의 비가 0.42 내지 0.72의 범위인 것을 특징으로 할 수 있다.

- [22] 상기 1)단계에서 압축된 증발가스 중 상기 엔진으로 보내지지 않은 증발가스를 추가로 압축시킨 후 상기 열교환기로 보낼 수 있다.
- [23] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 측면에 따르면, 1) 증발가스를 압축시키는 단계; 2) 증발가스를 냉매로 상기 1)단계에서 압축된 증발가스를 열교환시켜 냉각시키는 단계; 3) 상기 2)단계에서 냉각된 유체를 팽창시키는 단계; 및 4) 상기 2)단계에서 열교환의 냉매로 사용되는 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계;를 포함하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법이 제공된다.
- [24] 상기 1)단계 내지 3)단계를 거쳐 재액화된 증발가스의 양이 HYSYS에 의한 계산값의 50% 이상으로 유지될 수 있다.
- [25] 상기 LNG 선의 증발가스 재액화 방법은, 5) 상기 3)단계에서 팽창된 유체를 기액분리하는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 5)단계에서 기액분리된 기체 성분은 증발가스와 합류되어 상기 2)단계에서 열교환의 냉매로 사용될 수 있다.
- [26] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 저장탱크로부터 배출되는 증발가스를 고압으로 압축시키고 고압 압축 증발가스의 전부 또는 일부를 상기 저장탱크로부터 배출되는 증발가스와 열교환기에 의해 열교환시키는 단계; 및 열교환된 고압 압축 증발가스를 감압시키는 단계;를 포함하는, 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법에 있어서, LNG 선의 운항 조건이 변경되거나 재액화 대상 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는, 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법이 제공된다.
- [27] 상기 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법은, 상기 열교환기의 열용량비(Heat Capacity Ratio)가 0.7 내지 1.2가 되어도 재액화 성능이 안정적으로 유지되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [28] 재액화된 증발가스의 양이 HYSYS에 의한 계산값의 50% 이상으로 유지될 수 있다.
- [29] 상기 고압 압축 증발가스는 초임계 상태일 수 있다.
- [30] 상기 고압 압축 증발가스의 압력은 100 내지 400 bara일 수 있다.
- [31] 상기 고압 압축 증발가스의 압력은 150 내지 400 bara일 수 있다.
- [32] 상기 고압 압축 증발가스의 압력은 150 내지 300 bara일 수 있다.

발명의 효과

- [33] 본 발명에 의하면, 재액화 대상 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지할 수 있다.
- [34] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 열교환기로 공급되거나 열교환기로부터

배출되는 유체를 분산시켜 어느 하나의 블럭에 냉매가 집중되는 현상을 완화할 수 있다.

- [35] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 다수개의 블럭 간 뿐만 아니라 하나의 블럭 내에서도 냉매가 고르게 분산되도록 할 수 있고, 다공판과 코어가 이격을 유지하도록 할 수 있다. 특히, 다공판과 코어가 접촉하여 유로를 막음으로써 유체의 코어로의 유동을 막는 경우를 방지할 수 있다.

- [36] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 다공판이 열신축 해소가 가능하도록 열교환기와 결합되므로, 극저온의 증발가스와의 접촉으로 인하여 수축하게 되더라도 다공판이 휘어지거나 파손되지 않으며, 다공판의 연결부위가 파손되지 않는다.

- [37] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 열교환기가 유체에 저항을 줄 수 있는 형상의 채널을 포함하므로, 유체를 분산시키는 별도의 부재를 추가하지 않고도 어느 하나의 블럭에 냉매가 집중되는 현상을 완화 또는 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [38] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화의 개념을 설명하기 위한 기본 모델을 도시한 것이다.

- [39] 도 2a 내지 도 2i는 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템에 있어서, 재액화 대상 증발가스의 압력이 39 bara인 경우 및 10bara씩 증가시킨 50bara 내지 120bara인 경우의, 고온 유체와 저온 유체 각각의 열류량에 따른 온도 변화를 나타낸 그래프이다.

- [40] 도 3a 내지 도 3i는 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템에 있어서, 재액화 대상 증발가스의 압력이 10bara씩 증가시킨 130bara 내지 200bara인 경우 및 300bara인 경우의, 고온 유체와 저온 유체 각각의 열류량에 따른 온도 변화를 나타낸 그래프이다.

- [41] 도 4는 재액화 대상 증발가스 압력이 39 bara인 경우의 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템의 개략도이다.

- [42] 도 5는 재액화 대상 증발가스 압력이 150 bara인 경우의 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템의 개략도이다.

- [43] 도 6은 재액화 대상 증발가스 압력이 300 bara인 경우의 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템의 개략도이다.

- [44] 도 7 및 도 8은 표 1의 "재액화량"을 39 bara 내지 300 bara 압력 범위에서 나타낸 그래프이다.

- [45] 도 9는 종래의 PCHE의 개략도이다.

- [46] 도 10은 본 발명의 바람직한 제1 실시예에 따른 열교환기의 개략도이다.

- [47] 도 11은 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제1 격벽 또는 제2 격벽의 개략도이다.

- [48] 도 12는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제1

- 격벽과 제1 다공판의 개략도이다.
- [49] 도 13은 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제2 격벽과 제2 다공판의 개략도이다.
- [50] 도 14는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제3 격벽 또는 제4 격벽의 개략도이다.
- [51] 도 15는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제3 격벽과 제3 다공판의 개략도이다.
- [52] 도 16은 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제4 격벽과 제4 다공판의 개략도이다.
- [53] 도 17의 (a)는 종래의 열교환기의 냉매 흐름을 도시한 개략도이고, (b)는 본 발명의 바람직한 제1 실시예에 따른 열교환기의 냉매 흐름을 도시한 개략도이고, (c)는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기의 냉매 흐름을 도시한 개략도이다.
- [54] 도 18의 (a)는 열교환기의 내부 온도를 측정하기 위해 설치한 온도 센서의 위치를 나타낸 개략도이고, (b)는 (a)에 도시된 위치에서 온도 센서가 각각 측정한 열교환기 내부의 온도 분포를 나타낸 그래프이다.
- [55] 도 19는 본 발명의 바람직한 제3 실시예에 따른 열교환기의 일부를 나타낸 개략도이다.
- [56] 도 20은 도 19의 A 부분을 확대한 개략도이다.
- [57] 도 21은 본 발명의 바람직한 제4 실시예에 따른 열교환기의 일부를 나타낸 개략도이다.
- [58] 도 22는 도 21의 B 부분을 확대한 개략도이다.
- [59] 도 23의 (a)는 열교환기의 전체 형상의 개략도이고, (b)는 블럭의 개략도이며, (c)는 채널플레이트의 개략도이다.
- [60] 도 24의 (a)는 도 23의 (c)에 도시된 저온유체용 채널플레이트를 C 방향에서 바라본 모습의 개략도이고, (b)는 종래의 열교환기의 저온유체용 채널플레이트의 채널의 개략도이고, (c)는 본 발명의 바람직한 제5 실시예에 따른 열교환기의 저온유체용 채널플레이트의 채널의 개략도이며, (d)는 본 발명의 바람직한 제6 실시예에 따른 열교환기의 저온유체용 채널플레이트의 채널의 개략도이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [61] 이하 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 구성 및 작용을 상세히 설명하면 다음과 같다. 본 발명은, 천연가스를 연료로 사용하는 엔진을 탑재한 선박 및 액화가스 저장탱크를 포함하는 선박 등에 다양하게 응용되어 적용될 수 있다. 또한, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [62] 본 발명의 후술할 증발가스 처리를 위한 시스템들은 저온 액체화물 또는

액화가스를 저장할 수 있는 저장탱크가 설치된 모든 종류의 선박과 해상 구조물, 예컨대 LNG 운반선(LNG Carrier), 액화에탄가스 운반선(Liquefied Ethane Gas Carrier), LNG RV와 같은 선박을 비롯하여, LNG FPSO, LNG FSRU 등과 같은 해상 구조물에 적용될 수 있다. 다만 후술하는 실시예들에서는 설명의 편의상 대표적인 저온 액체화물인 액화천연가스를 예로 들어 설명하며, "LNG 선"은, LNG 운반선, LNG RV, LNG FPSO, LNG FSRU 등을 포괄하는 개념이다.

[63] 또한, 본 발명의 각 라인에서의 유체는, 시스템의 운용 조건에 따라, 액체 상태, 기액 혼합 상태, 기체 상태, 초임계유체 상태 중 어느 하나의 상태일 수 있다.

[64]

[65] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화의 개념을 설명하기 위한 기본 모델을 도시한 것이다.

[66] 도 1을 참조하면, 본 발명에서는, 저장탱크로부터 배출된 증발가스(①)를 열교환기로 보내 냉매로 사용한 후 압축기에 의해 압축시키고, 압축기에 의해 압축된 증발가스는 엔진의 연료로 사용하고(②), 엔진의 요구량을 만족시킨 후 남은 잉여 증발가스(③)는 열교환기로 보내, 저장탱크로부터 배출된 증발가스(①)를 냉매로 열교환시켜 냉각시킨다.

[67] 압축기에 의해 압축된 후 열교환기에 의해 냉각된 재액화 대상 증발가스는, 감압수단(예컨대, 팽창밸브, 팽창기)을 통과한 후 기액분리기에 의해 액체성분과 기체성분으로 분리된다. 기액분리기에 의해 분리된 액체성분은 저장탱크로 복귀되고, 기액분리기에 의해 분리된 기체성분은 저장탱크로부터 배출된 증발가스(①)와 합류되어 냉매로서 다시 열교환기에 공급된다.

[68] 본 발명은, 증발가스를 재액화시키기 위한 별도의 추가 사이클을 사용하는 것이 아니라, 저장탱크로부터 배출된 증발가스 자체를 냉매로 사용하여 증발가스를 재액화시키는 것을 특징으로 한다. 물론 경우에 따라서는 모든 증발가스의 재액화를 담보하기 위하여 별도의 냉동사이클을 구비할 수 있다. 별도의 사이클을 구비함에 따라 별도의 장비를 필요로 하거나 추가의 동력을 필요로 하는 단점이 있으나 거의 모든 증발가스를 재액화하는 것을 담보할 수 있다.

[69] 본 발명과 같은 증발가스 자체를 냉매로 사용하여 증발가스를 재액화시키는 시스템에 있어서 재액화 성능은, 재액화 되는 증발가스(이하, '재액화 대상 증발가스'라고 한다.)의 압력에 따라 크게 차이가 나는데, 재액화 대상 증발가스의 압력에 따른 재액화 성능을 알기 위한 실험(이하, '실험 1'이라고 한다.) 결과는 다음과 같다.

[70] < 실험 1 >

[71] 일단, 재액화 대상 증발가스의 압력에 따른 재액화 성능 평가 실험의 조건은 다음과 같다.

[72] 1. 대상 선박 : 추진용 엔진인 고압가스분사엔진과 발전용 엔진인 저압엔진을 포함하는 LNG 운반선

- [73] 2. 프로세스 계산 프로그램 : Aspen HYSYS V8.0
- [74] 3. 물성치 계산 식 : Peng-Robinson 방정식
- [75] 4. 증발가스의 양 : 170,000 CBM(cubic meter)급 LNG 운반선에 대하여 대략 3500 kg/h 내지 4000 kg/h의 증발가스가 발생하므로, 본 실험에서는 3800 kg/h를 적용함.
- [76] 5. 증발가스의 성분 : 저장탱크로부터 배출된 증발가스 및 압축기에 의해 압축된 증발가스에 공통적으로, 질소(N_2) 10%, 메탄(CH_4) 90%의 조성을 적용함.
- [77] 6. 저장탱크로부터 배출된 증발가스의 온도 및 압력 : 압력은 1.06bara, 온도는 -120 degC를 적용함.
- [78] 7. 엔진에서의 연료 소모량 : 실제 선박 운항시에는 경제성을 고려하여 엔진을 저부하로 운전하는데, 본 실험에서는 추진용 엔진과 발전용 엔진에서 사용되는 증발가스의 총량이, 저장탱크에서 발생하는 증발가스(3800 kg/h)의 70%인 2,660 kg/h라고 가정함.
- [79] 8. 압축기 용량 : 통상 압축기 용량은 저장탱크에서 발생하는 증발가스의 150%를 넘지 않는 수준이며, 본 계산에서는, 압축기 흡입 유량 기준으로, 저장탱크에서 발생하는 증발가스의 120%($3800\text{kg/h} \times 120\% = 4650\text{kg/h}$)를 적용함.
- [80] 9. 열교환기 성능 : 대수평균온도차(LMTD; Logarithmic Mean Temperature Difference) 13 degC 이상, 최소 근사값(Minimum Approach) 3 degC 이상을 적용함.
- [81] 열교환기를 설계할 때에는, 열교환기로 유입되는 저온 유체 및 고온 유체의 온도 및 열류량은 각각 고정시키고, 냉매로 사용되는 유체의 온도가 냉각되는 유체의 온도보다 높아지지 않도록(즉, 열류량에 따른 온도를 나타낸 그래프에서, 저온 유체의 그래프와 고온 유체의 그래프가 교차되지 않도록) 하면서, 대수평균온도차(LMTD; Logarithmic Mean Temperature Difference)가 최대한 작아지도록 한다.
- [82] 대수평균온도차(LMTD)는, 고온 유체와 저온 유체가 서로 반대 방향에서 주입되고 반대쪽에서 배출되는 열교환 방식인 대향류의 경우, 저온 유체가 열교환기를 통과하기 전의 온도를 $tc1$, 저온 유체가 열교환기를 통과한 후의 온도를 $tc2$, 고온 유체가 열교환기를 통과하기 전의 온도를 $th1$, 고온 유체가 열교환기를 통과한 후의 온도를 $th2$ 라고 하고, $d1 = th2 - tc1$, $d2 = th1 - tc2$ 라고 하였을 때, $(d2 - d1) / \ln(d2/d1)$ 으로 표현되는 값인데, 대수평균온도차가 작을수록 열교환기의 효율은 높아진다.
- [83] 열류량에 따른 온도를 나타낸 그래프에서 대수평균온도차(LMTD)는, 냉매로 사용되는 저온 유체와, 냉매와 열교환되어 냉각되는 고온 유체의 간격으로 나타내어지는데, 저온 유체와 고온 유체의 간격이 좁을수록 대수평균온도차(LMTD)가 작다는 것을 의미하며, 대수평균온도차(LMTD)가 작다는 것은 열교환기의 효율이 높다는 것을 의미한다.
- [84] 상기 1 내지 9의 실험 조건 하에서 열역학 계산은, 재액화 대상 증발가스의 고압

압축이 재액화 성능에 미치는 효과를 정량적으로 제시하기 위하여 실시하였다. 증발가스의 압력에 따른 재액화 성능 및 열교환기의 냉각곡선 특성을 검증하기 위하여, 재액화 대상 증발가스 압력은 39bara 지점, 10bara씩 증가시킨 50bara 내지 200bara 구간 지점, 250bara 및 300bara 지점에서 각 압력별 재액화량 및 열교환기의 냉각곡선을 열역학적으로 계산하였다.

- [85] 도 2a 내지 도 2i는 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템에 있어서, 재액화 대상 증발가스의 압력이 39 bara인 경우 및 10bara씩 증가시킨 50bara 내지 120bara인 경우의, 고온 유체와 저온 유체 각각의 열류량에 따른 온도 변화를 나타낸 그래프이고, 도 3a 내지 도 3i는 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템에 있어서, 재액화 대상 증발가스의 압력이 10bara씩 증가시킨 130bara 내지 200bara인 경우 및 300bara인 경우의, 고온 유체와 저온 유체 각각의 열류량에 따른 온도 변화를 나타낸 그래프이다.
- [86] 또한, 도 4는 재액화 대상 증발가스 압력이 39 bara인 경우의 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템의 개략도이고, 도 5는 재액화 대상 증발가스 압력이 150 bara인 경우의 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템의 개략도이며, 도 6은 재액화 대상 증발가스 압력이 300 bara인 경우의 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템의 개략도이다.
- [87] 하기 표 1은, 본 발명의 일 실시예에 따른 증발가스 재액화 시스템에서, 재액화 대상 증발가스의 압력에 따른 재액화 성능의 계산 값을 나타낸 것이다.

[88] [표1]

재액화 대상 증발가스의 압력(bara)	팽창 전 냉각 온도(degC)	재액화량(kg /h)	재액화량 상대 비율(%)
39	-97.7	563.8	100.0
50	-96.1	712.8	126.4
60	-99.6	821.6	145.7
70	-103.8	909.3	161.3
80	-107.8	979.9	173.8
90	-111.5	1036.4	183.9
100	-114.6	1080.5	191.7
110	-117.0	1113.8	197.6
120	-119.0	1137.9	201.9
130	-120.4	1154.7	204.8
140	-121.4	1165.9	206.8
150	-122.1	1173.8	208.1
160	-122.4	1174.6	208.4
170	-122.4	1172.7	208.0
180	-122.4	1170.7	207.7
190	-122.4	1168.6	207.3
200	-122.4	1166.3	206.9
250	-122.5	1153.4	204.6
300	-122.6	1138.2	201.9

[89] 또한, 도 7 및 도 8은 상기 표 1의 "재액화량"을 39 bara 내지 300 bara 압력 범위에서 나타낸 그래프이다.

[90] 도 2(2a 내지 2i) 내지 도 8 및 표 1을 참조하면, 그 결과는, 재액화 대상 증발가스의 냉각곡선에 있어서 비록 증발가스의 압축 압력이 초임계 상태 구간이라고 하더라도 50bara 내지 100bara 구간에서는 39bara일 때 보인 잠열구간과 유사한 수평구간이 점차 줄어들긴 하지만 여전히 존재함을 확인할 수 있으며, 압축 압력 160bara에서 최대 액화량(팽창 전 냉각 온도 -122.4°C, 재액화량 1174.6kg/h, 재액화량 상대비율 208.4%)이 나타나는 것으로 확인되었다.

[91] 재액화 대상 증발가스가 저압인 경우와 고압인 경우에 있어서 가장 큰 차이는

팽창 전 냉각 온도이다. 도 8에서 알 수 있듯이 압력에 따른 냉각 곡선의 차이로 인하여 저압인 경우에는 팽창 전 냉각 온도에서 한계가 발생하여 냉각 온도를 많이 낮출 수 없는 반면, 고압인 경우에는 저장탱크로부터 배출되는 증발가스의 온도 근처까지 냉각이 가능하다.

- [92] 이러한 차이는 증발가스의 주성분인 메탄(methane, CH₄)의 물성치의 특성상 임계압력(순수 메탄의 경우 약 47 bara) 이하에서는 잠열구간이 존재하며, 그 임계압력 이상에서는 잠열구간과 유사한 구간이 존재는 하지만 줄어드는 것을 알 수 있다. 따라서, 재액화량의 관점에서는 증발가스를 재액화할 때에는 임계 압력인 47바 이상에서 수행하는 것이 바람직하다.
- [93] 한편, ME-GI 엔진은 연료가스의 공급 압력을 150bara 내지 400bara(주로 300bara에서 운전)의 범위로 하고 있는데, 도 7 및 표 1의 결과에서와 같이 재액화 대상 증발가스의 압력이 150 내지 170 bara 부근인 경우에 재액화량이 최대값을 보이며, 150 내지 300 bara 사이에서는 액화량 변화가 거의 없다는 점에서, ME-GI 엔진에 연료를 공급하면서 증발가스를 재액화시키는 경우에는 재액화나 연료공급과 관련한 제어가 용이한 장점이 있다.
- [94] 표 1의 '재액화량'은, 도 4 내지 도 6에서 압축기(10), 열교환기(20), 및 감압장치(30)를 통과한 후 기액분리기(40)에 의해 분리된 재액화된 액화천연가스의 유량을 나타내고, '재액화량 상대 비율'은, 재액화 대상 증발가스가 39bara인 경우의 재액화량 대비, 각 압력에서의 재액화량의 상대 비율을 %로 나타낸 것이다.
- [95] 한편, '재액화율'로 재액화 성능을 나타낼 수도 있는데, 재액화율은 재액화된 액화천연가스의 유량을 재액화 대상 증발가스 전체의 유량으로 나눈 값을 나타낸다. 즉, '재액화량'은 재액화된 액화천연가스의 절대량을 나타내고, '재액화율'은 전체 재액화 대상 증발가스 중 재액화된 액화천연가스의 비율을 나타낸다.
- [96] 일례로, 선박의 속도가 낮아 추진용 엔진에서의 증발가스 사용량이 적어지면, 재액화 대상 증발가스의 양이 증가하게 되고, '재액화량'도 증가할 수 있다. 그러나 실험 1의 조건에서는, 냉매로 사용되는 유체인, 저장탱크로부터 배출되는 증발가스와 기액분리기에 의해 분리된 기체 성분의 합이, 압축기의 용량 제한 때문에 거의 일정하므로, '재액화율'은 감소할 수 있다.
- [97] 실험 1에서 압축기에 유입되는 냉매의 유량은, 저장탱크에서 발생하는 증발가스 3800 kg/h의 120%인 4560 kg/h이고, 이 중에서 엔진의 사용량 2660 kg/h(ME-GI 엔진 2042 kg/h + DFDG 618 kg/h)를 제외한 1900 kg/h가 재액화 대상 증발가스가 된다.
- [98] 재액화 대상 증발가스의 압력을 400 bara까지 높여 실험하여도 300 bara인 경우와 큰 차이가 나지 않았으며, 150 bara일 때와 400 bara일 때의 재액화 유량의 차이는 4% 이내로 나타났다.
- [99] 한편, 도 2(2a 내지 2i) 및 도 3(3a 내지 3i)의 각 그래프에서 빨간색(위)으로

표시된 고온 유체는 재액화 대상 증발가스를 의미하고, 파란색(아래)으로 표시된 저온 유체는 저장탱크로부터 배출된 증발가스, 즉 냉매를 의미한다.

- [100] 도 2(2a 내지 2i) 및 도 3(3a 내지 3i)의 각 그래프에서 열류량의 변화에도 온도 변화가 없는 직선 구간이 잠열 구간이며, 초임계 유체 상태에서는 잠열 구간이 나타나지 않는 메탄의 특성상, 초임계 유체인지 여부에 따라 재액화량에 큰 차이가 나타나는 것이다. 즉, 재액화 대상 증발가스가 초임계 유체인 경우에는 열교환시 잠열 구간이 나타나지 않으므로 재액화 유량 및 재액화 비율이 높게 나타난다.
- [101] 이상의 결과를 종합하면, 재액화 대상 증발가스가 초임계 상태인 경우에 재액화 성능이 높으며, 특히 100 bara 내지 400 bara의 범위에서, 바람직하게는 150 bara 내지 400 bara의 범위에서, 더욱 바람직하게는 150 bara 내지 300 bara에서 재액화 성능이 높음을 알 수 있다.
- [102] ME-GI엔진의 요구 압력이 150 bara 내지 400 bara인 점을 고려하였을 때, ME-GI엔진의 요구 압력을 충족시키기 위해 압축된 증발가스를, 그대로 재액화 대상 증발가스로 사용하여 높은 재액화 성능을 낼 수 있으므로, ME-GI엔진에 연료를 공급하는 시스템과 증발가스 자체를 냉매로 사용하는 증발가스 재액화 시스템을 연계하면 매우 유리한 이점이 있음을 확인할 수 있다.
- [103]
- [104] 한편, 상술한 '실험 1'은 재액화 대상 증발가스 압력에 따른 재액화 성능을 시뮬레이션 프로그램에 의하여 평가한 것인데, 이어서 이러한 결과가 열교환기를 사용하는 실제 재액화 장치에서 동일한 결과를 나타내는지를 살펴보기 위하여 PCHE(Printed Circuit Heat Exchanger)를 사용하여 실험(이하, '실험 2'라고 한다.)하여 보았다.
- [105] < 실험 2 >
- [106] 실제 운항조건에서는 증발가스의 발생량은 일정하지만 엔진에서 사용하는 증발가스의 양이 변화하므로 엔진에서 사용하고 남는 재액화 대상 증발가스의 유량이 변화한다. 따라서, '실험 2'에서는 재액화 대상 증발가스의 유량을 변화시켜 가면서 실제 재액화 장치에서의 재액화 성능을 평가하였다. 실험의 편의를 위해 폭발성인 메탄 대신 일반적으로 많이 사용되는 질소를 사용하고, 냉매로 사용되는 질소의 온도는 저장탱크로부터 배출된 증발가스와 동일하게 조절하였으며, 그 밖의 다른 조건들도 '실험 1'의 1 내지 9 조건과 동일하게 조절하였다.
- [107] 또한, 운항조건에 따라서 사용하는 ME-GI 엔진의 연료 소모량이 변화하기 때문에 실제 LNG 운반선을 상정하여 실험하였다. '실험 1'의 조건에서, LNG 운반선의 ME-GI 엔진의 크기를 25 MW(12.5 MW 2기)로 가정하고 최고 속도로 운항하면, 약 19.5 knot(엔진의 연료 소모량 약 3800 kg/h)로 운항할 수 있고, 경제속도로 운항하면 약 17 knot(엔진의 연료 소모량 약 2660 kg/h)로 운항하게 된다. 따라서 실제 운항조건을 고려하면, 최고 운항 속도인 19.5 knot,

경제적 운항 속도인 17 knot 및 정박 상태(ME-GI 엔진의 연료 소모량 0, DFDG의 연료 소모량 618kg/h)가 대부분의 운항 조건이 될 것이다. '실험 2'에서는 이러한 조건에서 각각 재액화 성능을 시험하였다.

- [108] 냉매 및 재액화 대상 증발가스로 질소를 사용하는 경우에는, 재액화 대상 증발가스의 유량에 관계없이 재액화 성능이 '실험 1'에서의 계산 값과 거의 동일한 수준으로 확인되었다. 즉, LNG 운반선의 운항 속도에 따라 추진용 엔진에서의 증발가스 소모량이 달라지므로 재액화 대상 증발가스의 유량도 달라지는데, 냉매 및 재액화 대상 증발가스로 질소를 사용하는 경우에는 재액화 대상 증발가스의 유량과 무관하게 재액화 성능이 안정적으로 유지되었다.
- [109] 그런데, 실제 증발가스 재액화 시스템에서, 냉매 및 재액화 대상 증발가스로 질소 대신 메탄(즉, 실제 저장탱크에서 발생하는 증발가스)을 적용하였을 때에는, LNG 운반선이 정박 상태일 때나, 최고 운항 속도 부근(최고 운항 속도에서는 LNG 저장탱크에서 발생하는 증발가스 대부분을 연료로 사용할 수도 있다.)에서는 재액화 성능이 '실험 1'의 계산값과 거의 유사한 수준으로 나타나나, 경제적 운항 속도인 최고 운항 속도의 연료 소모량의 70%로 선박을 운항하는 경우나 그 이하의 속도로 선박을 운항하는 경우에는, 재액화 성능이 이론적인 예상 값의 70% 이하를 보이며, 운항 속도 구간에 따라서는 재액화 성능이 더 낮은 경우도 확인되었다. 즉, 냉매 및 재액화 대상 증발가스로 질소 대신 메탄(즉, 실제 저장탱크에서 발생하는 증발가스)을 사용하는 경우에는, 재액화 대상 증발가스의 유량에 따라 재액화 성능이 이론적인 계산값에 미치지 못하는 구간이 존재하였다.
- [110] 구체적으로 실제 증발가스 재액화 시스템의 재액화 성능이 이론적인 계산값에 미치지 못하는 구간을 예시하면 다음과 같다.
- [111] 1. 25 MW의 ME-GI 엔진을 사용하는 LNG 운반선이 10 내지 17 knot의 속도로 운항하는 경우
- [112] 2. 저장탱크에서 발생하는 증발가스의 유량이 3800 kg/h라고 가정하는 경우, 엔진(추진용 엔진인 ME-GI 엔진 + 발전용 엔진인 DFDG)에서 연료로 사용하는 증발가스의 유량이 1100 내지 2660 kg/h인 경우
- [113] 3. 저장탱크에서 발생하는 증발가스의 유량이 3800 kg/h라고 가정하는 경우, 재액화 대상 증발가스의 유량이 1900 내지 3300 kg/h인 경우
- [114] 4. 냉매로 사용되는 증발가스(기액분리기에 의해 분리된 기체성분을 포함할 수 있다.)의 유량 대비 재액화 대상 증발가스의 유량의 비가 0.42 내지 0.72의 범위인 경우
- [115] 선박의 운항조건 또는 재액화 대상 증발가스의 유량에 따라서 실제로 측정되는 재액화량이 이론적인 계산값과 매우 상이하므로, 이를 해결하여야 할 필요성이 대두되었다. 재액화 성능이 낮아져 재액화되지 못하는 증발가스가 많아지면, 증발가스를 외부로 배출시키거나 대워버리게 되어 에너지가 낭비되거나, 별도의 재액화 사이클에 의해 재액화 시켜야 하는 등 추가적인 조치가

필요하다는 문제가 있다. 이와 같이 질소와 달리 증발가스에 대한 재액화 성능이 이론적인 예상 값과 크게 차이가 나는 것은, 질소와 증발가스의 물성치 차이로 인한 것으로 보인다.

- [116] 이상의 결과로부터 LNG 운반선의 운항 조건이 변경되어도, 즉 재액화 대상 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계가 필요함을 알 수 있다.
- [117] 따라서, 본 발명의 한 태양에 따르면, 저장탱크로부터 배출되는 증발가스를 고압으로 압축시키고, 고압 압축 증발가스의 전부 또는 일부를 분기시켜 저장탱크로부터 배출되는 증발가스와 열교환시키는 단계 및 열교환된 고압 압축 증발가스를 감압시키는 단계를 포함하는, 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법에 있어서, LNG 선의 운항 조건이 변경되거나 재액화 대상 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는, 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법을 제공한다.
- [118] 한편, LNG 선에 탑재된 엔진이 고압가스분사엔진이 아니라 X-DF 엔진과 같이 비교적 저압의 증발가스를 연료로 사용하는 엔진인 경우에는, 저압 엔진의 연료로 공급되기 위하여 압축된 증발가스 중 재액화 과정을 거치는 잉여 증발가스를 추가로 가압시킨 후 재액화시키는 경우에 본 발명이 이점이 있다.
- [119] 상기 재액화 방법은, LNG 선이 10 내지 17 knot의 속도로 운항하는 것, 엔진(추진용 엔진 + 발전용 엔진)에서 연료로 사용하는 증발가스의 유량이 1100 내지 2660 kg/h인 것, 재액화 대상 증발가스의 유량이 1900 내지 3300 kg/h인 것, 또는 냉매로 사용되는 증발가스(기액분리기에 의해 분리된 기체성분을 포함할 수 있다.)의 유량 대비 재액화 대상 증발가스의 유량의 비가 0.42 내지 0.72의 범위인 것을 특징으로 한다.
- [120] 상기 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계는, 열교환기의 열용량비(Heat Capacity Ratio)가 0.7 내지 1.2가 되어도 재액화 성능이 안정적으로 유지되는 것을 특징으로 한다.
- [121] 열용량비를 CR, 고온 유체(본 발명에서는 재액화 대상 증발가스)의 유량을 m1, 고온 유체의 비열을 c1, 저온 유체(본 발명에서는 냉매로 사용되는 증발가스)의 유량을 m2, 저온 유체의 비열을 c2라고 하였을 때, 다음과 같은 식을 만족한다.
- [122]
$$CR = (m1 \times c1) / (m2 \times c2)$$
- [123] '실험 2'에서는, 냉매로 사용되는 증발가스(기액분리기로부터 발생하는 기체성분도 포함할 수 있다.)의 양은 일정하게 유지되고 재액화 대상 증발가스의 양이 변하는 경우, 즉, 상기 식에서 m2는 일정하게 유지되고 m1이 변하는 경우에 재액화 성능이 계산값에 미치지 못하는 것으로 확인되었지만, 그 뿐만 아니라, 냉매로 사용되는 증발가스(기액분리기로부터 발생하는 기체성분도 포함할 수 있다.)의 양이 변하여도, 즉, 상기 식에서 m2가 변하여도 재액화 성능이 계산값에 미치지 못하는 것으로 확인되었다.

- [124] 따라서, 본 발명의 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계는, 냉매로 사용되는 증발가스(기액분리기로부터 발생하는 기체성분도 포함할 수 있다.)의 양과, 재액화 대상 증발가스의 양 중 하나 이상이 변동되는 경우에, 열교환기의 열용량비가 0.7 내지 1.2가 되어도 재액화 성능이 안정적으로 유지되는 것을 특징으로 한다
- [125] 또한, 상기 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계는 '실험 1'의 계산 조건에서 재액화량이 계산 값의 50% 이상이 되도록 유지하는 것을 특징으로 한다. 바람직하게는 상기 계산 값의 60%, 더욱 바람직하게는 70% 이상이 되도록 유지하는 것을 특징으로 한다. 재액화량이 계산 값의 50% 이하가 되면, LNG 운반선의 운항시에 운항 조건에 따라서는 남아도는 증발가스를 가스연소장치(GCU)에서 태워버려야 하는 문제점이 있다.
- [126] 따라서, 이상의 결과로부터 LNG 운반선의 운항 조건이 변경되어도, 즉 재액화대상 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계가 필요함을 알 수 있다.
- [127]
- [128] 또한, 재액화 성능이 이론적인 예상 값과 크게 차이가 나는 원인 중 하나는, 2개 이상의 블럭을 결합한 형태의 열교환기가 원인임을 알게 되었다.
- [129] 실제 LNG 선의 증발가스 재액화 시스템에 적용되는 열교환기는, 재액화 대상 증발가스가 고압인 경우에 이점이 있는 PCHE로, KOBELCO사, ALfa Laval, Heatric사 등이 제조하고 있으며, 처리 용량 때문에 단일 블럭으로는 한계가 있어 2개 이상의 블럭을 결합하여 사용할 필요가 있다.
- [130] 2개 이상의 블럭을 결합하여 사용할 필요가 있는 경우의 증발가스 처리용량을, 'A 이상 B 이하'라고 하였을 때, A는 1500kg/h, 2000kg/h, 2500kg/h, 3000kg/h, 3500kg/h 중 어느 하나일 수 있고, B는 7000kg/h, 6000kg/h, 5000kg/h 중 어느 하나일 수 있다. 일례로, 2개 이상의 블럭을 결합하여 사용할 필요가 있는 경우의 증발가스 처리용량은, 2500kg/h 이상 5000kg/h 이하일 수 있다.
- [131]
- [132] 도 9는 종래의 PCHE의 개략도이다.
- [133] 도 9를 참조하면, 종래의 PCHE는, 고온유체 유입파이프(Hot Gas Inlet Pipe, 110), 고온유체 유입헤더(Hot Gas Inlet Header, 120), 코어(Core, 190), 고온유체 배출헤더(Hot Gas Outlet Header, 130), 고온유체 배출파이프(Hot Gas Outlet Pipe, 140), 저온유체 유입파이프(Cold Gas Inlet Pipe, 150), 저온유체 유입헤더(Cold Gas Inlet Header, 160), 저온유체 배출헤더(Cold Gas Outlet Header, 170), 및 저온유체 배출파이프(Cold Gas Outlet Pipe, 180)를 포함한다.
- [134] 열교환기로 공급된 고온유체는, 고온유체 유입파이프(110)를 통해 열교환기 내부로 유입된 후 고온유체 유입헤더(120)에 의해 분산되어 코어(190)로 보내진다. 코어(190)로 보내진 고온유체는, 코어(190)에서 저온유체와 열교환되어 냉각된 후, 고온유체 배출헤더(130)에서 모여 고온유체

배출파이프(140)를 통해 열교환기 외부로 배출된다.

- [135] 열교환기로 공급된 저온유체는, 저온유체 유입파이프(150)를 통해 열교환기 내부로 유입된 후 저온유체 유입헤더(160)에 의해 분산되어 코어(190)로 보내진다. 코어(190)로 보내진 저온유체는, 코어(190)에서 고온유체를 냉각시키는 열교환의 냉매로 사용된 후, 저온유체 배출헤더(170)에서 모여 저온유체 배출파이프(180)를 통해 열교환기 외부로 배출된다.
- [136] 본 발명의 열교환기에서 냉매로 사용되는 저온유체는, 저장탱크로부터 배출된 증발가스(기액분리기에 의해 분리된 기체성분을 포함할 수 있다.)이고, 열교환기에서 냉각되는 고온유체는, 압축된 재액화 대상 증발가스이다.
- [137] 한편, 코어(190)는 다수개의 블럭을 포함할 수 있는데(도 9에서는 3개의 블럭을 포함하는 경우를 도시하였다. 이하, 본 발명의 경우에도 열교환기의 코어가 3개의 블럭을 포함하는 경우를 설명하나, 이에 한정되는 것은 아니다.), 열교환기의 코어가 2개 이상의 블럭을 포함하게 되면, 블럭 사이에 공간이 존재하게 되고, 블럭 사이 공간에 채워지는 공기가 단열층의 역할을 하여, 블럭 간의 열전도도가 떨어지게 된다.
- [138] 후술할 도 18의 (b) 그래프를 참조하면, 블럭 사이의 단열층 또는 단열부(갭(gap), 공기 등)에 의해 블럭 간의 온도 분포가 불균일한 것을 확인할 수 있다.
- [139] 또한, 냉매로 증발가스를 사용하는 경우에, 어느 한 블럭에 먼저 냉매가 유입되면, 냉매가 먼저 유입된 블럭으로 그 이후에 공급되는 냉매가 쏠리는 현상이 일어나, 냉매가 먼저 유입된 블럭의 온도가 다른 블럭에 비해 더 많이 낮아지게 된다.
- [140] 냉매가 먼저 유입된 블럭으로 냉매가 쏠리는 현상과 블럭간의 열전도도가 떨어지는 현상이 맞물리게 되면, 블럭 간에 온도 차이가 커지게 되고, 결국 재액화 성능이 낮아지는 결과를 초래한다. 즉, 어느 한 블럭으로 냉매가 쏠려도, 블럭 간의 열전도도가 좋으면 블럭 간의 온도차가 크지 않게 되나, 블럭 사이의 공기가 단열층 역할을 하면, 블럭 간의 온도 차이가 커지게 된다.
- [141]
- [142] 도 10은 본 발명의 바람직한 제1 실시예에 따른 열교환기의 개략도이다.
- [143] 도 10을 참조하면, 본 실시예의 열교환기는, 도 9에 도시된 종래의 PCHE에 포함된 구성에 추가하여, 고온유체 유입헤더(120)와 코어(190) 사이에 설치되는 제1 다공판(210), 고온유체 배출헤더(130)와 코어(190) 사이에 설치되는 제2 다공판(220), 저온유체 유입헤더(160)와 코어(190) 사이에 설치되는 제3 다공판(230), 및 저온유체 배출헤더(170)와 코어(190) 사이에 설치되는 제4 다공판(240) 중 하나 이상을 더 포함한다.
- [144] 본 실시예의 열교환기는, 열교환기로 공급되거나 열교환기로부터 배출되는 유체를 분산시키는 수단을 포함하는 것을 특징으로 하며, 유체를 분산시키기 위하여 유체의 흐름에 저항을 주는 수단을 사용할 수 있다. 본 실시예의

다공판(210, 220, 230, 240)은 유체를 분산시키는 수단 또는 유체의 흐름에 저항을 주는 수단의 일례이며, 본 실시예의 열교환기가 다공판을 포함하도록 한정되는 것은 아니다.

- [145] 본 실시예의 다공판(210, 220, 230, 240)은, 다수개의 구멍이 형성된 얇은 판 부재이며, 제1 다공판(210)은 고온유체 유입헤더(120)의 단면과 동일한 크기 및 형상을 가지는 것이 바람직하고, 제2 다공판(220)은 고온유체 배출헤더(130)의 단면과 동일한 크기 및 형상을 가지는 것이 바람직하고, 제3 다공판(230)은 저온유체 유입헤더(160)의 단면과 동일한 크기 및 형상을 가지는 것이 바람직하고, 제4 다공판(240)은 저온유체 배출헤더(170)의 단면과 동일한 크기 및 형상을 가지는 것이 바람직하다.
- [146] 본 실시예의 다공판(210, 220, 230, 240)에 형성된 다수개의 구멍은 모두 단면적이 동일할 수도 있고, 유체가 유입 또는 배출되는 파이프(110, 140, 150, 180) 부근의 단면적은 작고, 파이프(110, 140, 150, 180)로부터 멀어질수록 단면적이 큰 구멍이 형성될 수도 있다.
- [147] 또한, 본 실시예의 다공판(210, 220, 230, 240)에 형성된 다수개의 구멍은, 형성밀도가 균일할 수도 있고, 유체가 유입 또는 배출되는 파이프(110, 140, 150, 180) 부근의 형성밀도는 낮고, 파이프(110, 140, 150, 180)로부터 멀어질수록 형성밀도가 높아질 수 있다. 형성밀도가 낮다는 것은 동일한 면적 내에 더 적은 구멍이 형성되어 있다는 의미이고, 형성밀도가 높다는 것은 동일한 면적 내에 더 많은 구멍이 형성되어 있다는 의미이다.
- [148] 또한, 본 실시예의 다공판(210, 220, 230, 240)은, 제1 다공판(210) 및 제3 다공판(230)을 통과한 유체가 코어(190)에 효과적으로 분산되어 유입될 수 있도록, 또는 코어(190)로부터 배출된 유체가 효과적으로 분산되어 제2 다공판(220) 및 제4 다공판(240)을 통과할 수 있도록, 코어(190)와 일정간격 떨어져 설치되는 것이 바람직하다. 다공판(210, 220, 230, 240)과 코어(190) 사이의 거리는 일례로, 대략 20 내지 50 mm일 수 있다.
- [149] 본 실시예의 열교환기에 의하면, 제1 내지 제4 다공판(210, 220, 230, 240) 중 하나 이상에 의해 유체를 분산시키므로, 어느 하나의 블럭에 냉매가 집중되는 현상을 완화할 수 있다.
- [150]
- [151] 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기는, 도 10에 도시된 제1 실시예의 열교환기에 포함된 구성에 추가하여, 제1 다공판(210)과 코어(190) 사이에 설치되는 제1 격벽(310), 코어(190)와 제2 다공판(220) 사이에 설치되는 제2 격벽(320), 제3 다공판(230)과 코어(190) 사이에 설치되는 제3 격벽(330), 및 코어(190)와 제4 다공판(240) 사이에 설치되는 제4 격벽(340)을 포함한다.
- [152] 도 11은 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제1 격벽 또는 제2 격벽의 개략도이고, 도 12는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제1 격벽과 제1 다공판의 개략도이며, 도 13은 본 발명의

바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제2 격벽과 제2 다공판의 개략도이다.

- [153] 본 실시예의 제1 내지 제4 격벽(310, 320, 330, 340)은 각각, 제1 내지 제4 다공판(210, 220, 230, 240)에 의해 분산된 유체가 다시 모이는 것을 방지한다.
- [154] 도 11 및 도 12를 참조하면, 본 실시예의 제1 격벽(310)은, 제1 다공판(210)의 테두리를 일정 높이로 둘러싸고, 둘러싼 내부 공간을 다수개의 영역으로 분할하는 형상일 수 있다. 도 11 및 도 12의 (a)에는 제1 다공판(210)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을 4개로 나눈 형상이 도시되어 있고, (b)에는 8개로 나눈 형상이 도시되어 있다.
- [155] 도 11 및 도 12의 (b)에 도시된 제1 격벽(310)은, 제1 다공판(210)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을, (a)에 도시된 바와 같이 일 방향 격자에 의해서만 나누는 것이 아니라, 다른 방향의 격자로도 나눈다. 즉, 도 11 및 도 12의 (a)에 도시된 제1 격벽(310)에서, 제1 다공판(210)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을 나누는 부재를 수직부재(1)라고 한다면, (b)에 도시된 제1 격벽(310)은, 다수개의 수직부재(1)뿐만 아니라 각 수직부재(1) 사이 공간을 나누는 다수개의 수평부재(2)를 포함하여, 일 방향 격자와 다른 방향 격자가 서로 교차하여 내부 공간을 분할한다.
- [156] 도 11 및 도 12의 (b)에 도시된 바와 같이, 제1 다공판(210)의 내부 공간을 다른 방향으로 한 번 더 나누는 경우, 유체를 더욱 잘 분산시킬 수 있으며, 특히 다수개의 블럭 간 뿐만 아니라 하나의 블럭 내에서도 냉매가 다시 모이는 것을 방지할 수 있다.
- [157] 또한, 제1 다공판(210)의 내부 공간을 다른 방향으로 한 번 더 나누는 경우, 제1 다공판(210)과 코어(190)가 이격을 더욱 잘 유지하도록 할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 제1 다공판(210)을 통과하는 유체의 압력으로 인해 제1 다공판(210)이 휘어져 코어(190)와 접촉하는 경우를 방지할 수 있다. 제1 다공판(210)과 코어(190)가 접촉하면, 접촉한 부분에는 유체가 제대로 공급되지 않을 수 있고, 열교환 효율이 낮아질 수 있다.
- [158] 도 10 및 도 12를 참조하면, 고온유체 유입파이프(110)를 통해 유입된 고온유체는, 고온유체 유입헤더(120), 제1 다공판(210), 및 제1 격벽(310)을 순차로 지나 코어(190)로 유입된다.
- [159] 도 11 및 도 13을 참조하면, 본 실시예의 제2 격벽(320)은, 제2 다공판(220)의 테두리를 일정 높이로 둘러싸고, 둘러싼 내부 공간을 다수개의 영역으로 분할하는 형상일 수 있다. 도 11 및 도 13의 (a)에는 제2 다공판(220)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을 4개로 나눈 형상이 도시되어 있고, (b)에는 8개로 나눈 형상이 도시되어 있다.
- [160] 도 11 및 도 13의 (b)에 도시된 제2 격벽(320)은, 제2 다공판(220)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을, (a)에 도시된 바와 같이 일 방향 격자에 의해서만 나누는 것이 아니라, 다른 방향의 격자로도 나눈다. 즉, 도 11 및 도

13의 (a)에 도시된 제2 격벽(320)에서, 제2 다공판(220)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을 나누는 부재를 수직부재(1)라고 한다면, (b)에 도시된 제2 격벽(320)은, 다수개의 수직부재(1)뿐만 아니라 각 수직부재(1) 사이 공간을 나누는 다수개의 수평부재(2)를 포함하여, 일 방향 격자와 다른 방향 격자가 서로 교차하여 내부 공간을 분할한다.

- [161] 도 11 및 도 13의 (b)에 도시된 바와 같이, 제2 다공판(220)의 내부 공간을 다른 방향으로 한 번 더 나누는 경우, 유체를 더욱 잘 분산시킬 수 있으며, 특히 다수개의 블럭 간 뿐만 아니라 하나의 블럭 내에서도 냉매가 다시 모이는 것을 방지할 수 있다.
- [162] 또한, 제2 다공판(220)의 내부 공간을 다른 방향으로 한 번 더 나누는 경우, 제2 다공판(220)과 코어(190)가 이격을 더욱 잘 유지하도록 할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 제2 다공판(220)을 통과하는 유체의 압력으로 인해 제2 다공판(220)이 휘어져 코어(190)와 접촉하는 경우를 방지할 수 있다. 제2 다공판(220)과 코어(190)가 접촉하면, 접촉한 부분에는 유체가 제대로 배출되지 않을 수 있고, 열교환 효율이 낮아질 수 있다.
- [163] 도 10 및 도 13을 참조하면, 코어(190)로부터 배출된 고온유체는, 제2 격벽(320), 제2 다공판(220), 및 고온유체 배출헤더(130)를 순차로 지나 고온유체 배출파이프(140)를 통해 배출된다.
- [164] 도 14는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제3 격벽 또는 제4 격벽의 개략도이고, 도 15는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제3 격벽과 제3 다공판의 개략도이며, 도 16은 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기에 포함되는 제4 격벽과 제4 다공판의 개략도이다.
- [165] 도 14 및 도 15를 참조하면, 본 실시예의 제3 격벽(330)은, 제3 다공판(230)의 테두리를 일정 높이로 둘러싸고, 둘러싼 내부 공간을 다수개의 영역으로 분할하는 형상일 수 있다. 도 14 및 도 15의 (a)에는 제3 다공판(230)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을 4개로 나눈 형상이 도시되어 있고, (b)에는 8개로 나눈 형상이 도시되어 있다.
- [166] 도 14 및 도 15의 (b)에 도시된 제3 격벽(330)은, 제3 다공판(230)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을, (a)에 도시된 바와 같이 일 방향 격자에 의해서만 나누는 것이 아니라, 다른 방향의 격자로도 나눈다. 즉, 도 14 및 도 15의 (a)에 도시된 제3 격벽(330)에서, 제3 다공판(230)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을 나누는 부재를 수직부재(1)라고 한다면, (b)에 도시된 제3 격벽(330)은, 다수개의 수직부재(1)뿐만 아니라 각 수직부재(1) 사이 공간을 나누는 다수개의 수평부재(2)를 포함하여, 일 방향 격자와 다른 방향 격자가 서로 교차하여 내부 공간을 분할한다.
- [167] 도 14 및 도 15의 (b)에 도시된 바와 같이, 제3 다공판(230)의 내부 공간을 다른 방향으로 한 번 더 나누는 경우, 유체를 더욱 잘 분산시킬 수 있으며, 특히

다수개의 블럭 간 뿐만 아니라 하나의 블럭 내에서도 냉매가 다시 모이는 것을 방지할 수 있다.

- [168] 또한, 제3 다공판(230)의 내부 공간을 다른 방향으로 한 번 더 나누는 경우, 제3 다공판(230)과 코어(190)가 이격을 더욱 잘 유지하도록 할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 제3 다공판(230)을 통과하는 유체의 압력으로 인해 제3 다공판(230)이 휘어져 코어(190)와 접촉하는 경우를 방지할 수 있다. 제3 다공판(230)과 코어(190)가 접촉하면, 접촉한 부분에는 유체가 제대로 공급되지 않을 수 있고, 열교환 효율이 낮아질 수 있다.
- [169] 도 10 및 도 15를 참조하면, 저온유체 유입파이프(150)를 통해 유입된 저온유체는, 저온유체 유입헤더(160), 제3 다공판(230), 및 제3 격벽(330)을 순차로 지나 코어(190)로 유입된다.
- [170] 도 14 및 도 16을 참조하면, 본 실시예의 제4 격벽(340)은, 제4 다공판(240)의 테두리를 일정 높이로 둘러싸고, 둘러싼 내부 공간을 다수개의 영역으로 분할하는 형상일 수 있다. 도 14 및 도 16의 (a)에는 제4 다공판(240)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을 4개로 나눈 형상이 도시되어 있고, (b)에는 8개로 나눈 형상이 도시되어 있다.
- [171] 도 14 및 도 16의 (b)에 도시된 제4 격벽(340)은, 제4 다공판(240)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을, (a)에 도시된 바와 같이 일 방향 격자에 의해서만 나누는 것이 아니라, 다른 방향의 격자로도 나눈다. 즉, 도 14 및 도 16의 (a)에 도시된 제4 격벽(340)에서, 제4 다공판(240)의 테두리를 일정 높이로 둘러싼 내부 공간을 나누는 부재를 수직부재(1)라고 한다면, (b)에 도시된 제4 격벽(340)은, 다수개의 수직부재(1)뿐만 아니라 각 수직부재(1) 사이 공간을 나누는 다수개의 수평부재(2)를 포함하여, 일 방향 격자와 다른 방향 격자가 서로 교차하여 내부 공간을 분할한다.
- [172] 도 14 및 도 16의 (b)에 도시된 바와 같이, 제4 다공판(240)의 내부 공간을 다른 방향으로 한 번 더 나누는 경우, 유체를 더욱 잘 분산시킬 수 있으며, 특히 다수개의 블럭 간 뿐만 아니라 하나의 블럭 내에서도 냉매가 다시 모이는 것을 방지할 수 있다.
- [173] 또한, 제4 다공판(240)의 내부 공간을 다른 방향으로 한 번 더 나누는 경우, 제4 다공판(240)과 코어(190)가 이격을 더욱 잘 유지하도록 할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 제4 다공판(240)을 통과하는 유체의 압력으로 인해 제4 다공판(240)이 휘어져 코어(190)와 접촉하는 경우를 방지할 수 있다. 제4 다공판(240)과 코어(190)가 접촉하면, 접촉한 부분에는 유체가 제대로 배출되지 않을 수 있고, 열교환 효율이 낮아질 수 있다.
- [174] 도 10 및 도 16을 참조하면, 코어(190)로부터 배출된 저온유체는, 제4 격벽(340), 제4 다공판(240), 및 저온유체 배출헤더(170)를 순차로 지나 저온유체 배출파이프(180)를 통해 배출된다.
- [175]

- [176] 도 17의 (a)는 종래의 열교환기의 냉매 흐름을 도시한 개략도이고, (b)는 본 발명의 바람직한 제1 실시예에 따른 열교환기의 냉매 흐름을 도시한 개략도이고, (c)는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기의 냉매 흐름을 도시한 개략도이다.
- [177] 도 17의 (a)를 참조하면, 종래의 열교환기의 경우, 저온유체 유입파이프(150)로 유입된 저온유체가, 저온유체 유입파이프(150)와 가까운 가운데 블록으로 집중되어 공급되는 것을 알 수 있다. 세 개의 블록을 가지는 종래의 열교환기의 경우, 저온유체 유입파이프(150)와 가까운 가운데 블록으로 대략 70%의 냉매가 공급되고, 나머지 블록으로 각각 대략 15%의 냉매가 공급되어, 블록 간의 냉매 유량 차이가 4배가 넘는 것으로 확인되었다.
- [178] 도 17의 (b)를 참조하면, 본 발명의 제1 실시예의 열교환기의 경우, 저온유체 유입파이프(150)로 유입된 저온유체가 제3 다공판(230)에 의해 분산되어, 종래의 열교환기에 비해 비교적 다수개의 블록으로 각각 고르게 유입되는 것을 알 수 있다. 그러나, 여전히 어느 정도는 저온유체 유입파이프(150)와 가까운 가운데 블록으로 저온유체가 집중되는 현상이 남아있음을 확인할 수 있다.
- [179] 도 17의 (c)를 참조하면, 본 발명의 제2 실시예의 열교환기의 경우, 저온유체 유입파이프(150)로 유입된 저온유체가 제3 다공판(230)에 의해 분산된 후 제3 격벽(330)을 통과하여, 종래의 열교환기에 비해 비교적 다수개의 블록으로 각각 고르게 유입될 뿐만 아니라, 제1 실시예의 열교환기에 비해서도 더욱 고르게 유입되는 것을 알 수 있다.
- [180] 본 실시예의 열교환기는, 다수개의 블록으로 각각 공급되는 유체 또는 다수개의 블록으로부터 각각 배출되는 유체의 유량 차이가 4배 미만인 것을 특징으로 한다. 즉, 본 실시예의 열교환기는, 다수개의 블록으로 각각 공급되는 유체 중 가장 유량이 많은 것이 가장 유량이 적은 것의 4배 미만이거나, 다수개의 블록으로부터 각각 배출되는 유체 중 가장 유량이 많은 것이 가장 유량이 적은 것의 4배 미만일 수 있다.
- [181]
- [182] 도 18의 (a)는 열교환기의 내부 온도를 측정하기 위해 설치한 온도 센서의 위치를 나타낸 개략도이고, (b)는 (a)에 도시된 위치에서 온도 센서가 각각 측정한 열교환기 내부의 온도 분포를 나타낸 그래프이다. 또한, 도 18의 (b)에 도시된 (1) 그래프는 종래의 열교환기 내부의 온도 분포를 나타낸 것이고, (2) 그래프는 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 따른 열교환기 내부의 온도 분포를 나타낸 것이다.
- [183] 도 18의 (b)를 참조하면, 종래의 열교환기의 경우에는, 가운데 블록의 온도가 다른 블록의 온도에 비해 매우 낮아, 다수개의 블록간의 온도차가 많이 남을 확인할 수 있다. 종래의 열교환기의 경우에는, 가장 온도가 낮은 부분과 가장 온도가 높은 부분의 온도 차이가 대략 130 내지 140 degC인 것으로 확인되었다.
- [184] 반면, 제2 실시예의 열교환기의 경우에는 다수개의 블록 간의 온도차가 비교적

적게 남을 확인할 수 있다. 본 실시예의 열교환기의 경우에는, 가장 온도가 낮은 부분과 가장 온도가 높은 부분의 온도 차이가 대략 40 내지 50 degC로, 종래의 열교환기에 비해 블록 간의 온도 차이가 감소되는 것이 확인되었다.

- [185] 본 발명에 의하면, 열교환기의 냉매로 증발가스를 사용하고, 열교환기가 다수개의 블록을 포함하더라도, 각 블록으로 공급되는 냉매의 유량을 비교적 고르게 유지시킬 수 있고, 각 블록 간의 온도차를 줄여 열교환 효율을 높일 수 있으며, 재액화 대상 증발가스의 유량이 변화하더라도 안정된 재액화 성능을 확보할 수 있다.
- [186]
- [187] 한편, 다공판은 SUS 재질로 구성될 수 있고, 극저온의 증발가스와의 접촉으로 인해 수축되었다가 냉매가 통과하고 난 후에 다시 원상태로 복귀될 수 있다. 얇은 두께의 다공판은 열교환기보다 열용량이 훨씬 작는데, 다공판이 열교환기에 용접되는 경우, 열용량이 큰 열교환기는 증발가스와 접촉하여도 수축되는 정도가 적고, 열용량이 작은 다공판은 증발가스와 접촉하면 수축되는 정도가 크므로, 다공판이 깨질 수가 있다.
- [188] 따라서, 다공판을 열신축 해소가 가능하도록 열교환기와 결합시킬 필요가 있으며, 본 발명의 바람직한 제4 실시예 및 제5 실시예에서 열신축 해소가 가능하도록 결합된 다공판의 일례를 설명한다.
- [189]
- [190] 도 19는 본 발명의 바람직한 제3 실시예에 따른 열교환기의 일부를 나타낸 개략도이고, 도 20은 도 19의 A 부분을 확대한 개략도이다.
- [191] 본 실시예의 열교환기도, 제1 실시예와 마찬가지로, 도 9에 도시된 종래의 PCHE에 포함된 구성에 추가하여, 고온유체 유입헤더(120)와 코어(190) 사이에 설치되는 제1 다공판(210), 고온유체 배출헤더(130)와 코어(190) 사이에 설치되는 제2 다공판(220), 저온유체 유입헤더(160)와 코어(190) 사이에 설치되는 제3 다공판(230), 및 저온유체 배출헤더(170)와 코어(190) 사이에 설치되는 제4 다공판(240) 중 하나 이상을 더 포함한다.
- [192] 도 19 및 도 20을 참조하면, 본 실시예의 제4 다공판(240)은 저온유체 배출헤더(170)에 설치되는데, 제4 다공판(240)이 저온유체 배출헤더(170)에 직접 용접되는 것이 아니라, 두 개의 지지부재(420)가 일정 간격으로 이격되어 저온유체 배출헤더(170)에 용접(410)되고, 제4 다공판(240)은 두 개의 지지부재(420) 사이에 끼워진다.
- [193] 제4 다공판(24)은, 두 개의 지지부재(420) 사이에 끼워진 상태이며 완전히 고정된 것이 아니므로, 극저온의 증발가스와의 접촉으로 인하여 수축하게 되더라도 휘어지거나 파손되지 않으며, 연결부위가 파손되지 않는다.
- [194] 지지부재(420)는 제4 다공판(240)이 수축을 수용할 수 있는 최소한의 크기인 것이 바람직하며, 지지부재(420) 사이 간격도 제4 다공판(240)이 수축으로 인해 다소 움직임이 가능한 최소 거리인 것이 바람직하다.

- [195] 본 실시예의 제1 내지 제3 다공판(210, 220, 230)도 제4 다공판(240)과 마찬가지로, 제1 다공판(210)은 고온유체 유입헤더(120)에 일정 간격으로 이격되어 용접된 두 개의 지지부재 사이에 끼워지고, 제2 다공판(220)은 고온유체 배출헤더(130)에 일정 간격으로 이격되어 용접된 두 개의 지지부재 사이에 끼워지며, 제3 다공판(230)은 저온유체 유입헤더(160)에 일정 간격으로 이격되어 용접된 두 개의 지지부재 사이에 끼워진다.
- [196]
- [197] 도 21은 본 발명의 바람직한 제4 실시예에 따른 열교환기의 일부를 나타낸 개략도이고, 도 22는 도 21의 B 부분을 확대한 개략도이다.
- [198] 본 실시예의 열교환기도, 제1 실시예와 마찬가지로, 도 9에 도시된 종래의 PCHE에 포함된 구성에 추가하여, 고온유체 유입헤더(120)와 코어(190) 사이에 설치되는 제1 다공판(210), 고온유체 배출헤더(130)와 코어(190) 사이에 설치되는 제2 다공판(220), 저온유체 유입헤더(160)와 코어(190) 사이에 설치되는 제3 다공판(230), 및 저온유체 배출헤더(170)와 코어(190) 사이에 설치되는 제4 다공판(240) 중 하나 이상을 더 포함한다.
- [199] 도 21 및 도 22를 참조하면, 본 실시예의 제4 다공판(240)은, 제3 실시예와 마찬가지로, 저온유체 배출헤더(170)에 설치되나, 저온유체 배출헤더(170)에 직접 용접되는 것이 아니다.
- [200] 단, 본 실시예의 제4 다공판(240)은, 제3 실시예와는 달리, 양 단부가 코어(190)와 평행하게 연장되다가 코어(190)로부터 멀어지는 방향으로 단차진 형상이며, 두 개의 지지부재(420) 사이에 끼워지는 것이 아니라, 한 개의 지지부재(420)와 코어(190) 사이에 끼워진다.
- [201] 즉, 한 개의 지지부재(420)가 코어(190)와 일정 간격으로 이격되어 저온유체 배출헤더(170)에 용접(410)되고, 코어(190)와 평행하게 연장되는 제4 다공판(240)의 양 단부가 지지부재(420)와 코어(190) 사이에 끼워지며, 제4 다공판(240)은 지지부재(420)와 코어(190)와 사이에 끼워진 양 단부로부터 코어(190)와 멀어지는 방향으로 단차지도록 형성된다.
- [202] 본 실시예의 제4 다공판(24)은, 지지부재(420)와 코어(190) 사이에 끼워진 상태이며 완전히 고정된 것이 아니므로, 극저온의 증발가스와의 접촉으로 인하여 수축하게 되더라도 휘어지거나 파손되지 않으며, 연결부위가 파손되지 않는다.
- [203] 본 실시예의 지지부재(420)는 제4 다공판(240)이 수축을 수용할 수 있는 최소한의 크기인 것이 바람직하며, 지지부재(420)와 코어(190) 사이 간격도 제4 다공판(240)이 수축으로 인해 다소 움직임이 가능한 최소 거리인 것이 바람직하다. 또한, 코어(190)와 평행하게 연장되는 제4 다공판(240)의 양 단부는, 지지부재(420)와 코어(190) 사이에 끼워질 수 있고 수축으로 인한 변형 및 움직임이 수용되는 최소 길이인 것이 바람직하다.
- [204] 본 실시예의 제1 내지 제3 다공판(210, 220, 230)도 제4 다공판(240)과

마찬가지로, 양 단부가 코어(190)와 평행하게 연장되다가 코어(190)로부터 멀어지는 방향으로 단차진 형상이며, 제1 다공판(210)은 고온유체 유입헤더(120)에 용접된 지지부재와 코어(190) 사이에 양 단부가 끼워지고, 제2 다공판(220)은 고온유체 배출헤더(130)에 용접된 지지부재와 코어(190) 사이에 양 단부가 끼워지며, 제3 다공판(230)은 저온유체 유입헤더(160)에 용접된 지지부재와 코어(190) 사이에 양 단부가 끼워진다.

[205]

[206] 도 23의 (a)는 열교환기의 전체 형상의 개략도이고, (b)는 블럭의 개략도이며, (c)는 채널플레이트의 개략도이다. 도 23의 (b)에 도시된 블럭은, 디퓨전블럭(diffusion block)일 수도 있다.

[207] 도 23을 참조하면, 저온유체와 고온유체의 열교환이 일어나는 코어(190)는 다수개의 블럭(192)으로 구성되고, 블럭(192)은 다수개의 저온유체용 채널플레이트(194)와 다수개의 고온유체용 채널플레이트(196)가 교대로 적층되는 방식으로 구성된다. 각 채널플레이트(194, 196)에는 유체가 흐르는 채널이 다수개 새겨진다.

[208] 도 24의 (a)는 도 23의 (c)에 도시된 저온유체용 채널플레이트를 C 방향에서 바라본 모습의 개략도이고, (b)는 종래의 열교환기의 저온유체용 채널플레이트의 채널의 개략도이고, (c)는 본 발명의 바람직한 제5 실시예에 따른 열교환기의 저온유체용 채널플레이트의 채널의 개략도이며, (d)는 본 발명의 바람직한 제6 실시예에 따른 열교환기의 저온유체용 채널플레이트의 채널의 개략도이다.

[209] 도 24를 참조하면, 채널플레이트에 새겨지는 채널(198)은 (a)에 도시된 바와 같이 폭이 일정하고 일직선인 것이 일반적인데, 본 발명의 바람직한 제5 실시예 및 제6 실시예에 따른 열교환기는, 유체에 저항을 줄 수 있는 형상의 채널을 포함한다.

[210] 도 24의 (c)를 참조하면, 제5 실시예의 열교환기는, 유입부의 폭이 다른 부분의 폭에 비해 좁은 채널(198)을 다수개 포함한다. 즉, 본 실시예의 채널(198)은, 도 23의 (c)의 C 방향에서 채널플레이트를 바라보았을 때의 단면적이, 유입부가 다른 부분에 비해 작게 형성된다.

[211] 채널(198)의 유입부의 단면적이 작게 형성되면, 유입되는 유체가 저항을 받아 유동이 분산되며, 다수개의 블럭 중 어느 하나에 유체가 집중되는 현상을 완화 또는 방지할 수 있다.

[212] 도 24의 (d)를 참조하면, 제5 실시예의 열교환기는, 지그재그 형상의 채널(198)을 다수개 포함한다. 채널(198)을 지그재그 형상으로 형성하면, 유체가 저항을 받아 유동이 분산되며, 다수개의 블럭 중 어느 하나에 유체가 집중되는 현상을 완화 또는 방지할 수 있다.

[213] 본 발명의 제4 실시예 및 제5 실시예의 열교환기에 의하면, 유체에 저항을 줄 수 있는 형상의 채널을 포함하므로, 유체를 분산시키는 별도의 부재를 추가하지

않고도 어느 하나의 블록에 냉매가 집중되는 현상을 완화 또는 방지할 수 있다는 장점이 있다.

[214]

[215] 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않고, 본 발명의 기술적 요지를 벗어나지 아니하는 범위 내에서 다양하게 수정 또는 변형되어 실시될 수 있음은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 있어서 자명한 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 1) 증발가스를 압축시키는 단계;
 2) 증발가스를 냉매로 상기 1)단계에서 압축된 증발가스를 열교환기에 의해 열교환시켜 냉각시키는 단계;
 3) 상기 2)단계에서 냉각된 유체를 팽창시키는 단계; 및
 4) 상기 1)단계에서 압축된 후 상기 열교환기로 공급되는 재액화 대상 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계;
 를 포함하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 2] 청구항 1에 있어서,
 상기 열교환기의 열용량비(Heat Capacity Ratio)가 0.7 내지 1.2가 되어도 재액화 성능이 안정적으로 유지되는 것을 특징으로 하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 3] 청구항 1에 있어서,
 상기 1)단계 내지 3)단계를 거쳐 재액화된 증발가스의 양이 HYSYS에 의한 계산값의 50% 이상으로 유지되는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 4] 청구항 1에 있어서,
 5) 상기 3)단계에서 팽창된 유체를 기액분리하는 단계를 더 포함하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 5] 청구항 4에 있어서,
 상기 5)단계에서 기액분리된 기체 성분은 증발가스와 합류되어 상기 2)단계에서 열교환의 냉매로 사용되는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 6] 청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,
 LNG 선은 10 내지 17 knot의 속도로 운항하는 것을 특징으로 하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 7] 청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 1)단계에서 압축된 증발가스의 일부는 엔진의 연료로 사용되고,
 상기 엔진에서 연료로 사용하는 증발가스의 유량이 1100 내지 2660 kg/h인 것을 특징으로 하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 8] 청구항 7에 있어서,
 상기 엔진은 추진용 엔진 및 발전용 엔진을 포함하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 9] 청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 재액화 대상 증발가스의 유량이 1900 내지 3300 kg/h인 것을 특징으로 하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 10] 청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 2)단계에서 열교환의 냉매로 사용되는 증발가스의 유량 대비 상기

- 재액화 대상 증발가스의 유량의 비가 0.42 내지 0.72의 범위인 것을 특징으로 하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 11] 청구항 7에 있어서,
상기 1)단계에서 압축된 증발가스 중 상기 엔진으로 보내지지 않은 증발가스를 추가로 압축시킨 후 상기 열교환기로 보내는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 12] 1) 증발가스를 압축시키는 단계;
2) 증발가스를 냉매로 상기 1)단계에서 압축된 증발가스를 열교환시켜 냉각시키는 단계;
3) 상기 2)단계에서 냉각된 유체를 팽창시키는 단계; 및
4) 상기 2)단계에서 열교환의 냉매로 사용되는 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계;
를 포함하는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 13] 청구항 12에 있어서,
상기 1)단계 내지 3)단계를 거쳐 재액화된 증발가스의 양이 HYSYS에 의한 계산값의 50% 이상으로 유지되는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 14] 청구항 12 또는 청구항 13에 있어서,
5) 상기 3)단계에서 팽창된 유체를 기액분리하는 단계를 더 포함하고,
상기 5)단계에서 기액분리된 기체 성분은 증발가스와 합류되어 상기 2)단계에서 열교환의 냉매로 사용되는, LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 15] 저장탱크로부터 배출되는 증발가스를 고압으로 압축시키고 고압 압축 증발가스의 전부 또는 일부를 상기 저장탱크로부터 배출되는 증발가스와 열교환기에 의해 열교환시키는 단계; 및 열교환된 고압 압축 증발가스를 감압시키는 단계;를 포함하는, 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법에 있어서,
LNG 선의 운항 조건이 변경되거나 재액화 대상 증발가스의 유량이 변동되어도 재액화 성능을 안정적으로 유지하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는, 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 16] 청구항 15에 있어서,
상기 열교환기의 열용량비(Heat Capacity Ratio)가 0.7 내지 1.2가 되어도 재액화 성능이 안정적으로 유지되는 것을 특징으로 하는,
고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 17] 청구항 15에 있어서,
재액화된 증발가스의 양이 HYSYS에 의한 계산값의 50% 이상으로 유지되는, 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법.
- [청구항 18] 청구항 15 내지 청구항 17 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고압 압축 증발가스는 초임계 상태인, 고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법.

[청구항 19] 청구항 15 내지 청구항 17 중 어느 한 항에 있어서,
상기 고압 압축 증발가스의 압력은 100 내지 400 bara인,
고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법.

[청구항 20] 청구항 19에 있어서,
상기 고압 압축 증발가스의 압력은 150 내지 400 bara인,
고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법.

[청구항 21] 청구항 20에 있어서,
상기 고압 압축 증발가스의 압력은 150 내지 300 bara인,
고압가스분사엔진을 구비하는 LNG 선의 증발가스 재액화 방법.