



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년08월30일
(11) 등록번호 10-1302310
(24) 등록일자 2013년08월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F25J 1/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-7026401
(22) 출원일자(국제) 2005년06월06일
심사청구일자 2010년06월07일
(85) 번역문제출일자 2006년12월15일
(65) 공개번호 10-2007-0022749
(43) 공개일자 2007년02월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2005/019620
(87) 국제공개번호 WO 2006/009610
국제공개일자 2006년01월26일
(30) 우선권주장
10/869,599 2004년06월16일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
W02004033975 A1
JP2000512724 A
JP2001226685 A

(73) 특허권자
코노코 필립스 컴퍼니
미국, 텍사스 77079, 휴스턴, 노오쓰 데어리 애쉬
포드 600
(72) 발명자
이튼 앤쏘니 피.
미국 77479 텍사스주 슈가 랜드 윌리엄스 랜딩 드
라이브 450
(74) 대리인
안국찬, 주성민

전체 청구항 수 : 총 29 항

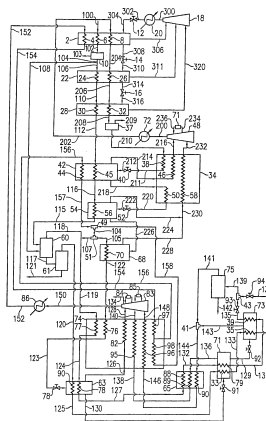
심사관 : 강영진

(54) 발명의 명칭 반폐쇄 루프 액화 천연 가스 처리

(57) 요약

본 발명은 더욱 효율적이며 효과적인 하이브리드 시스템을 제공하기 위해 폐쇄 루프 시스템의 몇몇 장점을 개방 루프 시스템의 몇몇 장점과 조합한, 액화 천연 가스(LNG)를 생성하기 위한 반폐쇄 루프 시스템에 관한 것이다. 반폐쇄 루프 시스템에서, 최종 메탄 냉동 사이클은 팽창식 냉각에 반해, 간접 열 교환을 거쳐 천연 가스 스트림의 현저한 냉각을 제공한다. 메탄 냉동 사이클로부터의 LNG 제품의 작은 부분은 메탄 냉동 사이클 내의 보충 냉매로서 사용된다. 메탄 냉동 사이클로부터의 냉매의 가압된 부분은 연료 가스로서 사용된다. 메탄 냉동 사이클로부터의 여분의 냉매는 연소되기보다는 처리된 천연 가스 스트림과 재조합될 수 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

천연 가스를 액화하는 방법이며,

(a) 50 몰% 미만의 메탄을 포함하는 제1 냉매를 채용한 제1 냉동 사이클에 의해 천연 가스를 냉각시키는 단계와,

(b) 제1 냉동 사이클의 하류에서, 천연 가스를 제1 칼럼 내에서 제1 경질 스트림 및 제1 중질 스트림으로 분리하는 단계와,

(c) 제1 중질 스트림을 제2 칼럼 내에서 제2 경질 스트림 및 제2 중질 스트림으로 분리하는 단계와,

(d) 적어도 50 몰%의 메탄을 포함하는 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 메탄 열 교환기 내에서 제2 경질 스트림을 냉각시키는 단계를 포함하고,

단계 (d)는 제2 경질 스트림을 메탄 주성분 냉매와 조합하지 않고서 수행되는 방법.

청구항 30

제29항에 있어서,

(e) 제2 경질 스트림을 압축하지 않고서 제2 경질 스트림을 제2 칼럼으로부터 제1 메탄 열 교환기로 운반하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 31

제29항에 있어서,

(f) 단계 (d)와 동시에, 제1 경질 스트림을 제1 메탄 열 교환기 내에서 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 냉각시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 32

제29항에 있어서,

(g) 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 복수의 분리된 열 교환기를 포함하는 메탄 냉동 사이클에 의해 제1 및 제2 경질 스트림을 냉각시키는 단계를 포함하고,

상기 메탄 냉동 사이클은 메탄 열 교환기를 포함하는 방법.

청구항 33

제32항에 있어서,

단계 (g)는 제1 및 제2 경질 스트림의 온도를 적어도 40°F를 낮추는 단계를 포함하는 방법.

청구항 34

제32항에 있어서,

단계 (g)는 제1 및 제2 경질 스트림의 온도를 적어도 100°F를 낮추는 단계를 포함하는 방법.

청구항 35

제32항에 있어서,

단계 (g)는 제1 및 제2 경질 스트림을 액화하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 36

제32항에 있어서,

상기 제1 및 제2 경질 스트림의 적어도 약 25 몰%는 메탄 냉동 사이클의 바로 상류에서 증기상인 방법.

청구항 37

제32항에 있어서,

(h) 제1 및 제2 경질 스트림들을 메탄 냉동 사이클 내에서의 냉각 후에 조합하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 38

제32항에 있어서,

(i) 메탄 냉동 사이클의 하류에서, 제1 및 제2 경질 스트림을 순간 증발시켜서, 증기 주성분 분류 및 액체 주성분 분류를 형성하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 39

제38항에 있어서,

(j) 증기 주성분 분류의 적어도 일부를 메탄 냉동 사이클의 메탄 주성분 냉매와 조합하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 40

제38항에 있어서,

(k) 액체 주성분 분류의 적어도 일부를 액화 천연 가스 저장 탱크로 운반하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 41

제32항에 있어서,

(1) 메탄 냉동 사이클 내에서 제1 경질 스트림을 냉각시키기 전에, 메탄 주성분 냉매의 일부를 제1 경질 스트림과 조합하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 42

제29항에 있어서,

상기 제1 냉매는 적어도 50 몰%의 프로판, 프로필렌, 에탄, 에틸렌, 또는 이산화탄소를 포함하는 방법.

청구항 43

삭제

청구항 44

제29항에 있어서,

단계 (a) - (d)는 각각 다른 냉매를 채용하는 적어도 3개의 순차적인 냉각 사이클을 갖는 케스케이드식 액화 천연 가스 설비 내에서 수행되는 방법.

청구항 45

제29항에 있어서,

(m) 단계 (a) - (d)를 거쳐 생성된 액화 천연 가스를 기화시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 46

제29항의 방법을 시뮬레이팅하기 위해 컴퓨터를 사용하는 단계를 포함하는 컴퓨터 시뮬레이션 공정.

청구항 47

제29항의 방법에 의해 생성된 액화 천연 가스 제품.

청구항 48

천연 가스를 액화하는 방법이며,

(a) 적어도 50 몰%의 프로판, 프로필렌, 또는 이산화탄소를 포함하는 제1 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 제1 냉동 사이클에 의해 천연 가스 스트림을 냉각시키는 단계와,

(b) 제1 냉동 사이클의 하류에서, 적어도 50 몰%의 에탄, 에틸렌, 또는 이산화탄소를 포함하는 제2 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 제2 냉동 사이클에 의해 천연 가스 스트림을 냉각시키는 단계와,

(c) 제2 냉동 사이클의 하류에서, 적어도 50 몰%의 메탄을 포함하는 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 메탄 냉동 사이클에 의해 천연 가스 스트림을 적어도 40°F를 냉각시키는 단계와,

(d) 제2 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 제2 냉동 사이클 내에서 메탄 주성분 냉매의 적어도 일부를 냉각시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 49

제48항에 있어서,

(e) 제1 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 제1 냉동 사이클 내에서 메탄 주성분 냉매를 냉각시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 50

제48항에 있어서,

(f) 제3 냉동 사이클의 하류에서, 천연 가스 스트림을 순간 증발시켜서, 증기 주성분 분류 및 액체 주성분 분류를 제공하는 단계와,

(g) 메탄 냉동 사이클 내에서 증기 주성분 분류를 메탄 주성분 분류와 조합하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 51

제48항에 있어서,

(h) 메탄 압축기 내에서 메탄 주성분 냉매를 압축하여, 압축된 메탄 주성분 냉매를 제공하는 단계와,

(i) 압축된 메탄 주성분 냉매의 제1 부분을 메탄 냉동 사이클 내의 냉매로서 사용하는 단계와,

(j) 압축된 메탄 주성분 냉매의 제2 부분을 연료 가스로서 사용하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 52

제48항에 있어서,

단계 (b)의 상기 냉각은 일련의 적어도 2개의 메탄 열 교환기에 의해 수행되고,

상기 메탄 열 교환기 각각은 천연 가스와 메탄 주성분 냉매 사이의 간접 열 교환을 용이하게 하는 방법.

청구항 53

제52항에 있어서,

상기 메탄 열 교환기는 서로로부터 분리되어 있는 방법.

청구항 54

제52항에 있어서,

상기 일련의 메탄 열 교환기는 적어도 3개의 분리된 열 교환기를 포함하는 방법.

청구항 55

제48항에 있어서,

단계 (c)는 천연 가스 스트림을 적어도 60°F를 냉각시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 56

제48항에 있어서,

(k) 단계 (a) - (d)를 거쳐 생성된 액화 천연 가스를 기화시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 57

제48항의 방법을 시뮬레이팅하기 위해 컴퓨터를 사용하는 단계를 포함하는 컴퓨터 시뮬레이션 공정.

청구항 58

제48항의 방법에 의해 생성된 액화 천연 가스 제품.

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 천연 가스를 액화하기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다. 다른 태양에서, 본 발명은 반폐쇄 루프 메탄 냉동 사이클을 채용한 개선된 액화 천연 가스(LNG) 설비에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 천연 가스의 극저온 액화는 천연 가스를 운송 및 저장을 위해 더욱 간편한 형태로 변환하는 수단으로서 일반적으로 실시된다. 그러한 액화는 천연 가스의 체적을 약 600배로 감소시키고, 대기압 부근에서 저장 및 운송될 수 있는 제품을 생성한다.

[0003] 천연 가스는 빈번하게 파이프 라인에 의해 공급원으로부터 떨어진 시장으로 운송된다. 파이프 라인을 실질적으로 일정한 높은 부하 인자 하에서 작동시키는 것이 바람직하지만, 종종 파이프 라인의 송출 가능성 및 용량은 수요를 초과하고, 다른 때에는 수요가 파이프 라인의 송출 가능성을 초과할 수 있다. 수요가 공급을 초과하는 고점 또는 공급이 수요를 초과하는 저점을 상쇄하기 위해, 여분의 기체를 수요가 공급을 초과할 때 송출될 수 있는 방식으로 저장하는 것이 바람직하다. 그러한 실시는 저장된 재료에 의해 미래의 수용 고점이 만족되도록 허용한다. 이를 행하기 위한 한 가지 실질적인 수단은 기체를 저장을 위한 액화 상태로 변환하고, 그 다음 수요가 요구할 때 액체를 기화하는 것이다.

[0004] 천연 가스의 액화는 시장 후보지로부터 먼 거리로 떨어진 공급원으로부터 가스를 운송할 때 그리고 파이프 라인이 이용 불가능하거나 비실용적일 때, 훨씬 더 중요하다. 이는 운송이 해양 선박에 의해 이루어져야 할 때 특

히 그러하다. 기체 상태에서의 선박 운송은 가스의 비체적을 현저하게 감소시키기 위해 상당한 가압이 요구되기 때문에, 통상 실용적이지 않다. 그러한 가압은 더욱 고가의 저장 용기를 요구한다.

[0005] 천연 가스를 액체 상태로 저장 및 운송하기 위해, 천연 가스는 양호하게는 -151°C 내지 -162°C (-240°F 내지 -260°F)로 냉각되고, 이 때 액화 천연 가스(LNG)는 대기압 부근의 증기압을 지닌다. 액화 온도가 도달될 때까지 가스가 연속적으로 더 낮은 온도로 냉각되면서, 가스가 가스를 상승된 압력에서 복수의 냉각 단계를 통해 순차적으로 통과시킴으로써 액화되는 천연 가스의 액화를 위한 종래 기술에서 많은 시스템이 존재한다. 냉각은 통상 프로판, 프로필렌, 에탄, 에틸렌, 메탄, 질소, 이산화탄소, 또는 상기 냉매들의 조합(예를 들어, 혼합 냉매 시스템)과 같은 하나 이상의 냉매와의 간접 열교환에 의해 달성된다.

[0006] 과거에, 많은 종래의 LNG 설비는 천연 가스를 액화하기 위한 최종 냉동 사이클로서 메탄 냉동 사이클(즉, 메탄 주성분 냉매를 채용한 냉동 사이클)을 사용했다. 몇몇 종래의 LNG 설비는 개방 루프 메탄 냉동 사이클을 이용하고, 다른 설비는 폐쇄 루프 메탄 냉동 사이클을 사용한다. 폐쇄 루프 메탄 냉동 사이클에서, 메탄 주성분 냉매는 액화되는 천연 가스 스트림으로부터 유도되거나 그와 조합되지 않는다. 개방 루프 메탄 냉동 사이클에서, 메탄 주성분 냉매는 액화되는 천연 가스로부터 유도되고, 메탄 주성분 냉매의 적어도 일부가 액화되는 천연 가스 스트림과 재조합된다.

[0007] 종래의 개방 루프 및 폐쇄 루프 메탄 냉동 사이클은 각각 그들 자신의 고유한 장점 및 단점을 갖는다. 종래의 폐쇄 루프 시스템의 한 가지 단점은 연료 가스 압축기가 주 냉매 압축기를 구동하는 구동기(예를 들어, 가스 터빈)에 동력을 공급하는데 사용되는 연료 가스를 압축하도록 요구되는 것이다. 폐쇄 루프 시스템의 다른 단점은 대부분의 폐쇄 루프 시스템이 시스템으로부터 단순 연소되는 여분의 연료 가스를 생성하는 것이다. 폐쇄 루프 시스템의 이러한 연료 가스 관련 문제점은 개방 루프 시스템에는 일반적이지 않다. 그러나, 개방 루프 시스템은 그 자신의 고유한 단점을 갖는다. 예를 들어, 대부분의 개방 루프 시스템은 개방 루프 냉동 사이클로 들어가는 천연 가스 스트림이 완전히 응축되도록 요구한다. 아울러, 주 중질 탄화수소 제거 칼럼의 바닥으로부터 토출된 중질 스트림을 처리하기 위해 탈메탄 칼럼을 이용하는 개방 루프 LNG 설비에서, 탈메탄 칼럼으로부터의 상층 스트림은 메탄 주성분 냉매와 조합되고 그리고/또는 탈부탄 장치로부터의 상층 스트림과 중질 탄화수소 제거 칼럼으로의 상층 스트림 사이의 압력차 때문에 압축되어야 한다.

[0008] 따라서, 폐쇄 루프 및 개방 루프 시스템의 다양한 이점은 여전히 제공하면서, 폐쇄 루프 및 개방 루프 시스템의 단점은 회피하는 하이브리드 메탄 냉동 사이클을 채용하는 LNG 설비에 대한 필요가 있다.

발명의 상세한 설명

[0009] 그러므로, 별도의 연료 가스 압축기에 대한 필요를 제거하는 메탄 냉동 사이클을 채용한 천연 가스 액화 시스템을 제공하는 것이 바람직하다.

[0010] 또한, 여분의 냉매를 단순히 연소시키기보다는, 공정 내에서 여분의 메탄 냉매를 이용하는 메탄 냉동 사이클을 채용한 천연 가스 액화 시스템을 제공하는 것이 바람직하다.

[0011] 또한, 천연 가스 공급 스트림이 메탄 냉동 사이클의 상류에서 완전히 응축되도록 요구하지 않는 메탄 냉동 사이클을 채용한 천연 가스 액화 시스템을 제공하는 것이 바람직하다.

[0012] 다시 한번, 탈메탄 칼럼으로부터의 상층 스트림이 압축 및/또는 메탄 냉매와의 조합이 없이 액화되도록 허용하는 메탄 냉동 사이클을 채용한 천연 가스 액화 시스템을 제공하는 것이 바람직하다.

[0013] 상기 희망은 예시적이며, 본원에서 청구되는 발명에 의해 모두 달성될 필요는 없다는 것이 이해되어야 한다. 본 발명의 다른 목적 및 장점은 명세서 및 도면으로부터 명백해질 것이다.

[0014] 따라서, 본 발명의 일 태양은 (a) 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 천연 가스를 적어도 40°F 를 냉각시키고, 이에 의해 액화 천연 가스를 제공하는 단계와, (b) 액화 천연 가스의 적어도 일부를 순간 증발시켜서, 증기 주성분 분류 및 액체 주성분 분류를 제공하는 단계와, (c) 증기 주성분 분류의 적어도 일부를 단계 (a)에서 천연 가스를 냉각시키는데 사용되는 메탄 주성분 냉매와 조합하는 단계를 포함하는 천연 가스를 액화하는 방법에 관한 것이다.

[0015] 본 발명의 다른 태양은 천연 가스를 액화하는 방법이며,

[0016] (a) 50 몰% 미만의 메탄을 포함하는 제1 냉매를 채용한 제1 냉동 사이클에 의해 천연 가스를 냉각시키는 단계와, (b) 제1 냉동 사이클의 하류에서, 천연 가스를 제1 칼럼 내에서 제1 경질 스트림(lights stream) 및 제

1 중질 스트림(heavies stream)으로 분리하는 단계와, (c) 제1 경질 스트림을 제2 칼럼 내에서 제2 경질 스트림 및 제2 중질 스트림으로 분리하는 단계와, (d) 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 메탄 열 교환기 내에서 제2 경질 스트림을 냉각시키는 단계를 포함하고, 단계 (d)는 제2 경질 스트림을 메탄 주성분 냉매와 조합하지 않고서 수행되는 천연 가스를 액화하는 방법에 관한 것이다.

[0017] 본 발명의 다른 태양은 (a) 주로 프로판, 프로필렌, 또는 이산화탄소를 포함하는 제1 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 제1 냉동 사이클에 의해 천연 가스 스트림을 냉각시키는 단계와, (b) 제1 냉동 사이클의 하류에서, 주로 에탄, 에틸렌, 또는 이산화탄소를 포함하는 제2 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 제2 냉동 사이클에 의해 천연 가스 스트림을 냉각시키는 단계와, (c) 제2 냉동 사이클의 하류에서, 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 메탄 냉동 사이클에 의해 천연 가스 스트림을 적어도 40°F를 냉각시키는 단계와, (d) 제2 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 제2 냉동 사이클에 의해 메탄 주성분 냉매의 적어도 일부를 냉각시키는 단계를 포함하는 천연 가스를 액화하는 방법에 관한 것이다.

[0018] 본 발명의 또 다른 태양은 (a) 간접 열 교환을 거쳐 천연 가스를 냉각시키기 위한 제1 냉매를 채용한 제1 냉동 사이클과, (b) 제1 냉동 사이클의 하류에 위치되고, 간접 열 교환을 거쳐 천연 가스를 적어도 40°F를 냉각시켜서 액화 천연 가스를 생성하기 위한 메탄 주성분 냉매를 채용한 메탄 냉동 사이클과, (c) 액화 천연 가스를 순간 증발시켜서 증기 주성분 분류 및 액체 주성분 분류를 생성하도록 작동 가능한 팽창 장치를 포함하는 천연 가스를 액화하기 위한 장치에 관한 것이다. 메탄 냉동 사이클은 팽창 장치에 의해 생성된 증기 주성분 분류의 적어도 일부를 받아서 증기 주성분 분류의 적어도 일부를 메탄 주성분 냉매와 조합하기 위한 보충 냉매 입구를 포함한다.

[0019] 본 발명의 양호한 실시예가 아래에서 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명된다.

실시예

[0022] 본원에서 사용되는 바와 같이, "주성분", "주로", "대체로", 및 "대부분"이라는 용어는 유체 스트림의 특정 성분의 존재를 설명하기 위해 사용될 때, 유체 스트림이 기재된 적어도 50 몰%의 표시 성분을 포함하는 것을 의미한다. 예를 들어, 메탄 "주성분" 스트림, "주된" 메탄 스트림, "대체로" 메탄으로 구성된 스트림, 또는 "대부분" 메탄으로 구성된 스트림은 각각 적어도 50 몰%의 메탄을 포함하는 스트림을 표시한다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "상류" 및 "하류"라는 용어는 플랜트를 통한 천연 가스의 주 유동 경로를 따른 천연 가스 액화 플랜트의 다양한 구성 부분 또는 공정의 상대 위치를 설명하기 위해 사용된다.

[0023] 캐스케이드식 냉동 공정은 천연 가스 스트림으로부터 냉매로 열 에너지를 전달하고 궁극적으로 상기 열 에너지를 환경으로 전달하기 위해 하나 이상의 냉매를 사용한다. 본질적으로, 전체 냉동 시스템은 스트림이 점점 더 낮은 온도로 냉각될 때 천연 가스 스트림으로부터 열 에너지를 제거함으로써 열 펌프로서 기능한다. 캐스케이드식 냉동 공정의 설계는 열역학적 효율과 자본 비용의 균형을 포함한다. 열 전달 공정에서, 열역학적 비가역성은 유체를 가열하고 냉각시키는 사이의 온도 구배가 작아짐에 따라 감소되지만, 그러한 작은 온도 구배를 얻는 것은 통상 열 전달 영역의 양의 현저한 증가와, 다양한 처리 장비에 대한 주요한 변형과, 유량과 입구 및 출구 온도가 요구되는 가열/냉각 듀티와 양립하도록 보장하기 위한 그러한 장비를 통한 유량의 적절한 선택을 요구한다.

[0024] 전형적인 LNG 설비에서, 다양한 전처리 단계가 설비로 송출되는 천연 가스 공급 스트림으로부터 산성 기체, 머캅탄, 수은, 및 수분과 같은 몇몇 바람직하지 않은 성분을 제거하기 위한 수단을 제공한다. 이러한 가스 스트림의 조성은 현저하게 변할 수 있다. 본원에서 사용되는 바와 같이, 천연 가스 스트림은 천연 가스 공급 스트림으로부터 대부분 유래하는 대체로 메탄으로 구성된 임의의 스트림이고, 그러한 공급 스트림은 예를 들어 적어도 85 몰%의 메탄을 함유하고, 나머지는 에탄, 중질 탄화수소, 질소, 이산화탄소, 및 수은, 황화수소 및 머캅탄과 같은 미량의 다른 오염물이다. 전처리 단계는 냉각 사이클의 상류에 위치되거나 최초 사이클 내의 초기 단계들 중 하나의 하류에 위치된 분리된 단계일 수 있다. 다음은 당업자에게 공지된 이용 가능한 수단 중 일부의 비포괄적 목록이다. 산성 가스와 정도는 덜 하지만 머캅탄은 아민 함유 수용액을 채용한 화학 반응 공정에 의해 정기적으로 제거된다. 이러한 처리 단계는 통상 최초 사이클 내의 냉각 스테이지의 상류에서 수행된다. 대부분의 물은 최초 냉각 사이클의 상류에서 그리고 최초의 냉각 사이클 내의 제1 냉각 스테이지의 하류에서, 2상 기액 분리와 다음의 가스 압축 및 냉각에 의해 액체로서 정기적으로 제거된다. 수은은 수은 흡착 베드에 의해 정기적으로 제거된다. 물과 산성 가스의 잔량은 재생 가능한 분자체와 같은 적절하게 선택된 흡착 베드를 사용함으로써 정기적으로 제거된다.

- [0025] 전처리된 천연 가스 공급 스트림은 통상 상승된 압력으로 액화 공정으로 송출되거나, 통상 3.44 MPa(500 psia) 이상, 양호하게는 약 3.44 MPa 내지 약 20.67 MPa(약 500 psia 내지 약 3000 psia), 더욱 양호하게는 약 3.44 MPa 내지 약 6.89 MPa(약 500 psia 내지 약 1000 psia), 훨씬 더 양호하게는 약 4.13 MPa 내지 약 5.51 MPa(약 600 psia 내지 약 800 psia)의 상승된 압력으로 압축된다. 공급 스트림 온도는 전형적으로 거의 주위 온도 내지 주위 온도보다 약간 더 높다. 대표적인 온도 범위는 15.5℃ 내지 65.5℃(60°F 내지 150°F)이다.
- [0026] 전술한 바와 같이, 천연 가스 공급 스트림은 복수의 상이한 냉매(양호하게는 3가지)와의 간접 열 교환에 의해 복수의 단단 사이클 또는 단계(양호하게는, 3가지)에서 냉각된다. 주어진 사이클에 대한 전체적인 냉각 효율은 단의 개수가 증가함에 따라 개선되지만, 효율의 이러한 증가는 순 자본 비용 및 공정 복잡성의 대응하는 증가가 수반된다. 공급 가스는 양호하게는 비교적 고비등 냉매와의 간접 열 교환에 의해 제1 폐쇄 냉동 사이클에서, 효과적인 개수, 보통은 2개, 양호하게는 2 내지 4개, 더욱 양호하게는 3개의 냉동 단을 통과한다. 그러한 비교적 고비등점 냉매는 양호하게는 대부분 프로판, 프로필렌 또는 이들의 혼합물로 구성되고, 더욱 양호하게는 냉매는 적어도 약 75 몰%의 프로판, 훨씬 더 양호하게는 적어도 90 몰%의 프로판을 포함하고, 가장 양호하게는 냉매는 본질적으로 프로판으로 구성된다. 그 후에, 처리된 공급 가스는 낮은 비등점을 갖는 냉매와의 간접 열 교환으로 제2 폐쇄 냉동 사이클에서, 효과적인 개수, 보통 2개, 양호하게는 2 내지 4개, 더욱 양호하게는 2 또는 3개의 단을 통해 유동한다. 그러한 저비등점 냉매는 양호하게는 대부분 에탄, 에틸렌 또는 이들의 혼합물로 구성되고, 더욱 양호하게는 냉매는 적어도 약 75 몰%의 에틸렌, 훨씬 더 양호하게는 적어도 90 몰%의 에틸렌을 포함하고, 가장 양호하게는 냉매는 본질적으로 에틸렌으로 구성된다. 그 후에, 처리된 공급 가스는 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환으로 제3/메탄 냉동 사이클에서, 효과적인 개수, 보통 2개, 양호하게는 2 내지 5개, 더욱 양호하게는 3 또는 4개의 단을 통해 유동한다. 그러한 메탄 주성분 냉매는 양호하게는 적어도 약 75 몰%의 메탄, 훨씬 더 양호하게는 적어도 약 90 몰%의 메탄을 포함하고, 가장 양호하게는 메탄 주성분 냉매는 본질적으로 메탄으로 구성된다. 특히 양호한 실시예에서, 메탄 주성분 냉매는 10 몰% 미만의 질소, 가장 양호하게는 5 몰% 미만의 질소를 포함한다.
- [0027] 통상, 천연 가스 공급 스트림은 하나 이상의 냉각 단에서 C_2+ 농후 액체를 생성하기 위한 양의 C_2+ 성분을 함유할 것이다. 이러한 액체는 기액 분리 수단, 양호하게는 하나 이상의 종래의 기액 분리기에 의해 제거된다. 통상, 각각의 단에서의 천연 가스의 순차적인 냉각은 메탄이 주된 가스 스트림과 상당량의 에탄 및 중질 성분을 함유하는 액체 스트림을 생성하기 위해 가스로부터 가능한 한 많은 C_2 및 고분자량 탄화수소를 제거하도록 제어된다. 효과적인 개수의 기액 분리 수단이 C_2+ 성분이 농후한 액체 스트림의 제거를 위해 냉각 구역의 하류의 전략적인 위치에 위치된다. 기액 분리 수단, 양호하게는 종래의 기액 분리기의 정확한 위치 및 개수는 천연 가스 공급 스트림의 C_2+ 조성, LNG 제품의 원하는 BTU 함량, 다른 용도를 위한 C_2+ 성분의 값, 및 LNG 플랜트 및 가스 플랜트 작동 분야의 당업자에 의해 일반적으로 고려되는 다른 인자와 같은 복수의 작동 파라미터에 따를 것이다. C_2+ 탄화수소 스트림 또는 스트림들은 단일 단 순간 증발 또는 분별 칼럼에 의해 탈메탄될 수 있다. 후자의 경우에, 결과적인 메탄이 농후한 스트림은 가압되어 액화 공정으로 직접 복귀될 수 있다. 전자의 경우에, 이러한 메탄이 농후한 스트림은 재가압 및 재순환될 수 있거나, 연료 가스로서 사용될 수 있다. C_2+ 탄화수소 스트림 또는 스트림들 또는 탈메탄 C_2+ 탄화수소 스트림은 연료로서 사용될 수 있거나, 또는 특정 화학 성분(예를 들어, C_2 , C_3 , C_4 , 및 C_5+)이 농후한 개별적인 스트림을 생성하기 위해 하나 이상의 분별 구역 내에서의 분별에 의해 추가로 처리될 수 있다.
- [0028] 본원에서 설명되는 액화 공정은 (a) 간접 열 교환, (b) 기화, 및 (c) 팽창 또는 감압을 포함하지만 그에 제한되지 않는 여러 유형의 냉각 중 하나를 사용할 수 있다. 간접 열 교환은 본원에서 사용되는 바와 같이, 냉매가 냉매와 냉각되는 물질 사이에 실제 물리적 접촉이 없이 냉각되는 물질을 냉각시키는 공정을 말한다. 간접 열 교환 수단의 특징에는 쉘-튜브 열 교환기, 코어-인-케틀(core-in-kettle) 열 교환기, 및 경납땜 알루미늄 플레이트-핀(fin) 열 교환기 내에서 행해지는 열 교환을 포함한다. 냉매와 냉각되는 물질의 물리적 상태는 시스템의 요구 및 선택된 열 교환기의 유형에 따라 변할 수 있다. 따라서, 냉매가 액체 상태이고 냉각되는 물질이 액체 또는 기체 상태이거나 물질들 중 하나가 상변화를 겪을 때 그리고 공정 조건이 코어-인-케틀 열 교환기의 사용을 선호하지 않을 때, 쉘-튜브 열 교환기가 전형적으로 이용될 것이다. 일례로, 알루미늄 및 알루미늄 합금은 코어를 위한 양호한 구성 재료이지만, 그러한 재료는 지정된 공정 조건에서 사용하기에 적합하지 않을 수 있다. 냉매가 기체 상태이고 냉각되는 물질이 액체 또는 기체 상태인 경우에, 플레이트-핀 열 교환기가 전형적으로 이용될 것이다. 마지막으로, 냉각되는 물질이 액체 또는 기체이고 냉매가 열 교환 중에 액체 상태에서부터 기

체 상태로 상변화를 겪는 경우에, 코어-인-케틀 열 교환기가 전형적으로 이용될 것이다.

[0029] 기화 냉각은 일정 압력으로 유지되는 계에서 물질의 일부의 증발 또는 기화에 의한 물질의 냉각을 말한다. 따라서, 기화 중에, 증발하는 물질의 부분은 액체 상태로 남아있는 물질의 부분으로부터 열을 흡수하고, 따라서 액체 부분을 냉각시킨다. 마지막으로, 팽창 또는 감압 냉각은 기체, 액체, 또는 2상계의 압력이 감압 수단을 통과함으로써 감소될 때 발생하는 냉각을 말한다. 일 실시예에서, 이러한 팽창 수단은 줄-톰슨 팽창 밸브이다. 다른 실시예에서, 팽창 수단은 수압 또는 가스 팽창기이다. 팽창기가 팽창 과정으로부터 일 에너지를 회수하기 때문에, 낮은 처리 스트림 온도가 팽창 시에 가능하다.

[0030] 도1에서 설명되는 흐름도 및 장치는 반폐쇄 루프 메탄 냉매 사이클을 채용한 본 발명의 LNG 설비의 양호한 실시예를 나타낸다. 도2는 액화되는 처리된 천연 가스 스트림 내로 다시 도입되는 메탄 냉매의 양을 제어하기 위한 시스템의 양호한 실시예를 나타낸다. 당업자는 도1 및 도2가 단지 개략적이고, 그러므로 성공적인 작동을 위해 상용 플랜트 내에서 필요한 장비의 많은 항목들이 명확하게 하기 위해 생략되었다는 것을 인식할 것이다. 그러한 항목들은 예를 들어 압축기 제어부, 유동 및 수준 측정부 및 대응하는 제어기, 온도 및 압력 제어부, 펌프, 모터, 필터, 추가의 열 교환기, 및 밸브 등을 포함할 수 있다. 이러한 항목들은 표준 공학 실무에 따라 제공된다.

[0031] 도1 및 도2의 이해를 돕기 위해, 다음의 번호 표시가 채용되었다. 1 내지 99로 표시된 항목들은 액화 공정과 직접 관련된 처리 용기 및 장비이다. 100 내지 199로 표시된 항목들은 주로 메탄 스트림을 함유하는 유동 라인 또는 도관에 대응한다. 200 내지 299로 표시된 항목들은 주로 에틸렌 스트림을 함유하는 유동 라인 또는 도관에 대응한다. 300 내지 399로 표시된 항목들은 주로 프로판 스트림을 함유하는 유동 라인 또는 도관에 대응한다. 도2에서 400 내지 499로 표시된 항목들은 액화되는 처리된 천연 가스 스트림 내로 다시 도입되는 메탄 냉매의 양을 제어하기 위한 시스템의 용기, 장비, 라인, 또는 도관이다.

[0032] 도1을 참조하면, 제1 냉동 사이클에서, 기상 프로판이 (도시되지 않은) 가스 터빈 구동기에 의해 다단(양호하게는, 3단) 압축기(18) 내에서 압축된다. 압축의 3개의 단은 양호하게는 단일 유닛 내에 존재하지만, 각각의 압축 단은 분리된 유닛일 수 있고, 유닛들은 단일 구동기에 의해 구동되도록 기계식으로 결합된다. 압축 시에, 압축된 프로판은 도관(300)을 통해 냉각기(20)로 통과되어, 냉각되고 액화된다. 순간 증발 이전의 액화 프로판 냉매의 대표적인 압력 및 온도는 약 37.7°C(약 100°F) 및 약 1.30 MPa(약 190 psia)이다. 냉각기(20)로부터의 스트림은 도관(302)을 통해 팽창 밸브(12)로서 도시된 감압 수단으로 통과되어, 액화 프로판의 압력이 감소되고, 이에 의해 그의 일부를 증발시키거나 순간 증발시킨다. 결과적인 2상 생성물은 그 다음 도관(304)을 통해 고단 프로판 급냉기(2) 내로 유동하고, 여기서 도관(152)을 거쳐 도입된 기상 메탄 냉매, 도관(100)을 거쳐 도입된 천연 가스 공급, 및 도관(202)을 거쳐 도입된 기상 에틸렌 냉매가 각각 간접 열 교환 수단(4, 6, 8)에 의해 냉각되고, 이에 의해 각각 도관(154, 102, 204)을 거쳐 토출되는 냉각 가스 스트림을 생성한다. 도관(154) 내의 메탄 주성분 냉매는 주 메탄 이코노마이저(74)로 공급되고, 이는 이후의 섹션에서 더욱 상세하게 설명될 것이다.

[0033] 급냉기(2)로부터의 프로판 가스는 도관(306)을 통해 압축기(18)로 복귀된다. 이러한 가스는 압축기(18)의 고단 입구 포트에 공급된다. 나머지 액체 프로판은 도관(308)을 통과하고, 압력은 팽창 밸브(14)로서 도시된 감압 수단을 통과함으로써 더욱 감소되고, 이 때 액화 프로판의 추가 부분이 순간 증발된다. 결과적인 2상 스트림은 그 다음 도관(310)을 통해 중간단 프로판 급냉기(22)로 공급되고, 이에 의해 급냉기(22)에 냉각제를 제공한다. 급냉기(2)로부터의 냉각된 공급 가스 스트림은 도관(102)을 거쳐 분리 장비(10)로 유동하여, 기체 및 액체상이 분리된다. C₃+ 성분이 농축할 수 있는 액체상은 도관(103)을 거쳐 제거된다. 기상은 도관(104)을 거쳐 제거되고, 그 다음 도관(106, 108)을 거쳐 이송되는 2개의 분리된 스트림으로 분할된다. 도관(106) 내의 스트림은 프로판 급냉기(22)로 공급된다. 도관(108) 내의 스트림은 아래에서 상세하게 설명되는 중질 탄화수소 제거 칼럼(60)에 대한 스트리핑 가스가 된다. 급냉기(2)로부터의 에틸렌 냉매가 도관(204)을 거쳐 급냉기(22)로 도입된다.

[0034] 중간단 프로판 급냉기(22) 내에서, 본원에서 처리된 천연 가스 스트림으로도 불리는 공급 가스 스트림과, 에틸렌 냉매 스트림은 각각 간접 열 교환 수단(24, 26)에 의해 냉각되고, 이에 의해 도관(110, 206)을 거쳐 냉각된 공급 가스 및 에틸렌 냉매 스트림을 생성한다. 프로판 냉매의 이렇게 증발된 부분은 분리되어 도관(311)을 통해 압축기(18)의 중간단 입구로 통과된다. 급냉기(22)로부터의 액체 프로판 냉매는 도관(314)을 거쳐 제거되고, 팽창 밸브(16)로서 도시된 감압 수단을 가로질러 순간 증발되고, 그 다음 도관(316)을 거쳐 저단 프로판 급냉기/응축기(28)로 공급된다.

- [0035] 도1에 도시된 바와 같이, 공급 가스 스트림은 중간단 프로판 급냉기(22)로부터 도관(110)을 거쳐 저단 프로판 급냉기(28)로 유동한다. 급냉기(28) 내에서, 스트림은 간접 열 교환 수단(30)을 거쳐 냉각된다. 유사한 방식으로, 에틸렌 냉매 스트림은 중간단 프로판 급냉기(22)로부터 도관(206)을 거쳐 저단 프로판 급냉기(28)로 유동한다. 후자에서, 에틸렌 냉매는 간접 열 교환 수단(32)을 거쳐 완전히 응축되거나 거의 전체가 응축될 수 있지만, 완전한 응축이 요구되지는 않는다. 기화된 프로판 냉매는 저단 프로판 급냉기(28)로부터 제거되고, 도관(320)을 거쳐 압축기(18)의 저단 입구로 복귀된다.
- [0036] 도1에 도시된 바와 같이, 저단 프로판 급냉기(28)를 빠져나온 공급 가스 스트림은 도관(112)을 거쳐 고단 에틸렌 급냉기(42)로 도입된다. 에틸렌 냉매는 도관(208)을 거쳐 저단 프로판 급냉기(28)를 빠져나오고, 양호하게는 분리 용기(37)로 공급되어, 경질 성분들이 도관(209)을 거쳐 제거되고 응축된 에틸렌은 도관(210)을 거쳐 제거된다. 공정 내의 이러한 위치에서의 에틸렌 냉매는 통상 약 -31.1°C (약 -24°F)의 온도 및 약 285 psia의 압력이다. 에틸렌 냉매는 그 다음 에틸렌 이코노마이저(34)로 유동하여, 간접 열 교환 수단(38)을 거쳐 냉각되고 도관(211)을 거쳐 제거되고, 팽창 밸브(40)로서 도시된 감압 수단으로 통과되고, 이 때 냉매는 미리 선택된 온도 및 압력으로 순간 증발되어 도관(212)을 거쳐 고단 에틸렌 급냉기(42)로 공급된다. 증기는 도관(214)을 거쳐 급냉기(42)로부터 제거되고, 에틸렌 이코노마이저(42)로 이동되어, 간접 열 교환 수단(46)을 거쳐 냉각제로서 기능한다. 에틸렌 증기는 그 다음 에틸렌 이코노마이저(34)로부터 도관(216)을 거쳐 제거되고, 에틸렌 압축기(48)의 고단 입구로 공급된다. 고단 에틸렌 급냉기(42) 내에서 기화되지 않은 에틸렌 냉매는 도관(218)을 거쳐 제거되고, 간접 열 교환 수단(50)을 거쳐 추가의 냉각을 위해 에틸렌 이코노마이저(34)로 복귀되고, 에틸렌 이코노마이저로부터 도관(220)을 거쳐 제거되고, 팽창 밸브(52)로서 도시된 감압 수단 내에서 순간 증발되고, 이 때 결과적인 2상 생성물은 도관(222)을 거쳐 저단 에틸렌 급냉기(54) 내로 도입된다.
- [0037] 간접 열 교환 수단(45) 내에서의 냉각 후에, 메탄 농후 스트림은 고단 에틸렌 급냉기(42)로부터 도관(116)을 거쳐 제거된다. 이러한 스트림은 그 다음 저단 에틸렌 급냉기(54) 내의 간접 열 교환 수단(47)에 의해 제공되는 냉각을 거쳐 부분적으로 응축되고, 이에 의해 도관(115)을 거쳐 중질 탄화수소 제거 칼럼(60)으로 유동하는 2상 스트림을 생성한다. 전술한 바와 같이, 라인(104) 내의 공급 가스 스트림은 도관(106, 108)을 거쳐 유동하도록 분할되었다. 본원에서 스트리핑 가스 스트림으로 불리는 도관(108)의 내용물은 중질 탄화수소 제거 칼럼(60)의 하부 입구로 유동한다. 중질 탄화수소 제거 칼럼(60) 내에서, 도관(115)을 거쳐 도입된 2상 스트림은 도관(108)을 거쳐 도입된 냉각된 스트리핑 가스 스트림과 향류 방식으로 접촉되고, 이에 의해 도관(118)을 거쳐 중질 탄화수소가 감소된 상층 증기 스트림 및 도관(117)을 거쳐 중질 탄화수소 농후 액체 스트림을 생성한다. 중질 탄화수소 농후 액체 스트림은 상당한 농도의 벤젠, 사이클로hex산, 다른 방향족, 및/또는 더 무거운 탄화수소 성분과 같은 C_4+ 탄화수소를 함유한다. 도관(118) 내의 중질 탄화수소 제거 칼럼 상층 (경질 탄화수소) 스트림은 아래에서 상세하게 설명되는 바와 같이, 도관(107)으로부터의 메탄 냉매의 일부와 조합되고, 조합된 스트림은 간접 열 전달 수단(77) 내에서의 냉각을 위해 도관(119)을 거쳐 주 메탄 이코노마이저(74)로 전달된다. 중질 탄화수소 제거 칼럼(60)의 바닥으로부터 도관(117)을 거쳐 도출된 중질 탄화수소 농후 스트림은 이후에 액체 및 증기 부분으로 분리되거나, 양호하게는 탈메탄 칼럼(61) 내에서 순간 증발되거나 분류된다. 각각의 경우에, 중질 탄화수소 농후 액체 (하층) 스트림은 도관(121)을 거쳐 생성되고, 제2의 메탄 농후 증기 (상층) 스트림은 도관(120)을 거쳐 생성된다.
- [0038] 전술한 바와 같이, 도관(154) 내의 메탄 주성분 냉매는 주 메탄 이코노마이저(74)로 공급되어, 스트림은 간접 열 교환 수단(97)을 거쳐 냉각된다. 열 교환 수단(97)으로부터의 결과적인 냉각되고 압축된 메탄 냉매 스트림의 제1 부분은 주 메탄 이코노마이저(74)로부터 도관(156)을 거쳐 취출되고, 열 교환 수단(97)을 빠져나온 메탄 냉매 스트림의 제2 부분은 추가의 냉각을 위해 간접 열 교환 수단(98) 내로 도입된다. 도관(156) 내의 메탄 냉매는 고단 에틸렌 급냉기(42) 내로 도입되어, 메탄 냉매는 간접 열 교환 수단(44) 내에서 에틸렌 냉매에 의해 냉각된다. 결과적인 냉각된 메탄 냉매는 도관(157)을 거쳐 고단 에틸렌 급냉기(42)를 빠져나온다.
- [0039] 열 교환 수단(98)으로부터의 냉각된 메탄 냉매 스트림은 주 메탄 이코노마이저(74)로부터 도관(158)을 거쳐 취출되고, 그 다음 티관(49) 내에서 도관(157) 내의 냉각된 메탄 냉매와 조합된다. 조합된 메탄 냉매 스트림은 티관(49)으로부터 도관(104)을 거쳐 티관(51)으로 전달된다. 티관(51)은 메탄 냉동 사이클로부터의 메탄 냉매 스트림의 일부를 도관(107)을 거쳐 유도하고, 메탄 냉매 스트림의 이러한 부분을 도관(118) 내의 중질 탄화수소 제거 칼럼 상층 스트림과 조합한다. 메탄 냉매의 나머지(즉, 비조합 부분)는 도관(105)을 거쳐 저단 에틸렌 급냉기(68)로 유동한다. 저단 에틸렌 급냉기(68) 내에서, 메탄 주성분 냉매 스트림은 도관(226)을 거쳐 저단 에틸렌 급냉기(68)로 이동된 중간단 에틸렌 급냉기(54)로부터의 액체 유출에 의해 간접 열 교환 수단(70)을 거쳐 냉각된다. 저단 에틸렌 급냉기(68)로부터의 냉각된 메탄 냉매 생성물은 도관(122)을 거쳐 주 메탄 이코노마이

저(74)로 전달된다. (도관(224)을 거쳐 취출된) 저단 에틸렌 급냉기(54) 및 (도관(228)을 거쳐 취출된) 저단 에틸렌 급냉기(68)로부터의 에틸렌 증기들은 조합되어, 도관(230)을 거쳐 에틸렌 이코노마이저(34)로 이동되어, 증기들은 간접 열 교환 수단(58)을 거쳐 냉각체로서 기능한다. 스트림은 그 다음 도관(232)을 거쳐 에틸렌 이코노마이저(34)로부터 에틸렌 압축기(48)의 저단 입구로 이동된다.

[0040] 도1에 도시된 바와 같이, 에틸렌 압축기(48)의 저단측을 거쳐 도입된 증기로부터의 압축기 유출은 도관(234)을 거쳐 제거되고, 단간 냉각기(71)를 거쳐 냉각되고, 도관(216) 내에 존재하는 고단 스트림과 함께 주입되도록 도관(236)을 거쳐 압축기(48)로 복귀된다. 양호하게는, 2개의 단은 단일 모듈이지만, 이들은 각각 분리된 모듈일 수 있고, 모듈들은 공통 구동기에 기계식으로 결합된다. 압축기(48)로부터의 압축된 에틸렌 생성물은 도관(200)을 거쳐 하류 냉각기(72)로 이동된다. 냉각기(72)로부터의 생성물은 도관(202)을 거쳐 유동하고, 전술한 바와 같이 고단 프로판 급냉기(2)로 도입된다.

[0041] 도2는 도관(118) 내의 중질 탄화수소 제거 칼럼 상층 (경질 탄화수소) 스트림과 조합되는 메탄 냉매의 양을 제어하기 위한 시스템을 도시한다. 시스템은 도관(122) 내에 배치된 메탄 냉매 축적 용기(400)를 포함한다. 레벨 표시기(402)가 축적 용기(400)에 작동식으로 연결된다. 레벨 표시기(402)는 축적 용기(400) 내의 액체 메탄 냉매의 레벨을 감지하여, 그러한 레벨을 표시하는 신호(404)를 발생시킨다. 유동 제어 유닛(406)이 레벨 표시 신호(404)를 수신하여, 유동 제어 신호(408, 410)를 발생시킨다. 유동 제어 밸브(412, 416)가 각각 유동 제어 신호(408, 410)를 수신한다. 유동 제어 밸브(408, 410)는 유동 제어 신호(408, 410)에 응답하여 각각 도관(107, 105)을 통한 유량을 제어한다. 작동 시에, 축적 용기(400) 내의 액체 메탄 냉매의 레벨이 바람직하지 않게 높게 되면, 밸브(412, 416)는 도관(107)을 통해 더 많은 유동을 그리고 도관(105)을 통해 더 적은 유동을 허용하도록 자동으로 조정된다. 역으로, 축적 용기(400) 내의 액체 메탄 냉매의 레벨이 바람직하지 않게 낮게 되면, 밸브(412, 416)는 도관(105)을 통해 더 많은 유동을 그리고 도관(107)을 통해 더 적은 유동을 허용하도록 자동으로 조정된다. 이러한 시스템은 메탄 냉동 사이클 내의 냉매의 양이 여분의 메탄 냉매의 연소를 요구하지 않고서 적절한 수준으로 유지되도록 허용한다.

[0042] 다시 도1을 참조하면, 저단 에틸렌 급냉기(68)를 빠져나온 메탄 냉매 스트림은 간접 열 교환 수단(76)에 의한 추가의 냉각을 위해 주 메탄 이코노마이저(74)로 운반된다. 추가로 냉각된 메탄 냉매는 그 다음 도관(123)을 거쳐 주 메탄 이코노마이저(74)를 빠져나오고, 아래에서 상세하게 설명되는 바와 같이, 메탄 열 교환기(63, 71, 73) 내의 칼럼(60, 61)으로부터 유래된 상층 (경질 탄화수소) 스트림을 순차적으로 냉각시키는 냉매로서 사용된다. 도관(120, 124) 내의 메탄이 농후한 처리된 천연 가스 스트림들은 모두 메탄 열 교환기(63, 71, 73) 내에서 병류 방식으로 순차적으로 냉각된다. 메탄 열 교환기(63, 71, 73)들이 서로로부터 분리되는 것이 양호하고, 각각의 메탄 열 교환기(63, 71, 73)는 도관(120, 124)으로부터 유래된 스트림들을 조합하지 않고서 냉각시키기 위한 2개의 간접 열 교환 통로를 갖는다. 가장 양호하게는, 메탄 열 교환기(63, 71, 73)는 경납땜된 알루미늄 코어를 갖는 코어-인-케틀형 열 교환기이다.

[0043] 메탄 열 교환기(63, 71, 73)는 도관(120, 124)으로부터 유래된 메탄이 농후한 처리된 천연 가스 스트림을 도관(123)으로부터 유래된 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 냉각시킨다. 메탄 열 교환기(63, 71, 73)가 도관(120, 124)으로부터의 메탄이 농후한 처리된 천연 가스 스트림들을 적어도 약 40°F, 더욱 양호하게는 약 적어도 약 60°F, 가장 양호하게는 적어도 100°F를 협동식으로 냉각시켜서, 도관(135, 137)을 거쳐 최종 메탄 열 교환기(73)를 빠져나온 액화 천연 가스 스트림이 5 몰% 미만의 증기를 포함하는 수준으로 냉각되는 것이 양호하다. 아울러, 도관(120, 124) 내의 스트림과 도관(137, 135) 내의 스트림 사이의 압력 강하가 각각 344 kPa(50 psi) 미만, 더욱 양호하게는 172 kPa(25 psi) 미만, 가장 양호하게는 68.9 kPa(10 psi) 미만인 것이 양호하다. 도1에 도시된 메탄 냉동 사이클의 한 가지 가능한 장점은 전통적인 개방 루프 메탄 사이클과 반대로, 도관(120, 124) 내의 스트림들이 메탄 열 교환기(63, 71, 73) 내에서 제공되는 냉각 이전에 완전히 액화될 필요가 없는 것이다. 사실, 도관(120, 124) 내의 스트림들은 25 몰% 이상의 증기를 포함할 수 있다.

[0044] 반폐쇄 루프 메탄 냉동 사이클이 이제 상세하게 설명될 것이다. 도관(120, 124) 내의 처리된 메탄이 농후한 천연 가스 스트림들은 각각 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐, 간접 열 교환 수단(90, 78) 내의 제1 메탄 열 교환기(63) 내에서 냉각된다. 제1 메탄 열 교환기(63)로 진입하기 전에, 도관(123) 내의 메탄 주성분 냉매는 양호하게는 팽창 밸브인 감압 수단(78)을 거쳐 순간 증발된다. 기화된 메탄 주성분 냉매는 도관(126)을 거쳐 제1 메탄 열 교환기(63)를 빠져나온다. 도관(126) 내의 이러한 기상의 메탄 주성분 냉매 스트림은 그 다음 주 메탄 이코노마이저(74) 내로 도입되어, 기상 스트림은 간접 열 교환 수단(82) 내에서 가온된다. 간접 열 교환 수단(82)으로부터의 가온된 기상의 메탄 주성분 냉매 스트림은 주 메탄 이코노마이저를 빠져나와서, 도관(128)을 거쳐 메탄 압축기(83)의 고단으로 운반된다. 액체상 메탄 주성분 냉매는 도관(130)을 거쳐 제1 메탄

열 교환기(63)를 빠져나온다. 도관(130) 내의 액체 메탄 주성분 냉매는 이후에 양호하게는 팽창 밸브인 감압기(91) 내에서 순간 증발되고, 그 다음 제2 메탄 열 교환기(71) 내로 도입된다.

[0045] 간접 열 교환 수단(90, 78)을 거쳐 제1 메탄 열 교환기(63) 내에서 냉각된 처리된 천연 가스 스트림들은 각각 제1 메탄 열 교환기(63)로부터 도관(125, 127)을 거쳐 취출된다. 도관(127) 내의 처리된 천연 가스 스트림은 제2 메탄 이코노마이저(65)로 운반되어, 도관(136)을 거쳐 제2 메탄 열 교환기(71)를 빠져나온 기상의 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 간접 열 교환 수단(88) 내에서 냉각된다. 제2 메탄 이코노마이저(65)의 간접 열 교환 수단(88)으로부터의 냉각된 스트림은 그 다음 도관(132)을 통해 제2 메탄 열 교환기(71)로 통과된다. 제1 메탄 열 교환기(63) 내의 간접 열 교환 수단(90)을 거쳐 냉각된 처리된 천연 가스 스트림은 도관(125)을 거쳐 제2 메탄 열 교환기(71)로 통과된다.

[0046] 제2 메탄 열 교환기(71) 내에서, 도관(125, 132)을 거쳐 도입된 처리된 천연 가스 스트림들은 각각 간접 열 교환 수단(33, 79) 내에서 냉각된다. 간접 열 교환 수단(33, 79) 내에서 스트림을 냉각시키는데 사용되는 메탄 주성분 냉매는 제2 메탄 열 교환기(71)로부터 도관(136)을 거쳐 토출된 기체상 및 제2 메탄 열 교환기(71)로부터 도관(129)을 거쳐 토출된 액체상을 포함한다. 전술한 바와 같이, 도관(136) 내의 기상의 메탄 주성분 냉매는 제2 메탄 이코노마이저(65) 내로 도입되어, 간접 열 교환 수단(88) 내의 스트림을 냉각시키기 위해 간접 열 교환 수단(89) 내에서 채용된다. 간접 열 교환 수단(89) 내의 가온된 기상의 메탄 주성분 냉매는 도관(138)을 거쳐 제2 메탄 이코노마이저(65)를 빠져나온다. 도관(138)은 기상의 메탄 주성분 냉매를 주 메탄 이코노마이저(74)로 운반하여, 스트림은 간접 열 교환 수단(95) 내에서 추가로 가온된다. 간접 열 교환 수단(95)으로부터의 가온된 기상의 메탄 주성분 냉매는 주 메탄 이코노마이저(74)를 빠져나오고, 도관(140)을 거쳐 메탄 압축기(83)의 중간단 입구로 운반된다. 제2 메탄 열 교환기(71)로부터 도관(129)을 거쳐 토출된 액체의 메탄 주성분 냉매는 양호하게는 팽창 밸브인 감압 수단(92) 내에서 순간 증발되고, 이후에 제3 메탄 열 교환기(73) 내로 도입된다.

[0047] 제2 메탄 열 교환기(71)로부터 도관(33, 31)을 거쳐 토출된 처리된 천연 가스 스트림들은 각각 간접 열 교환 수단(35, 39) 내에서의 추가의 냉각을 위해 제3 메탄 열 교환기(73) 내로 도입된다. 간접 열 교환 수단(35, 39) 내에서, 처리된 천연 가스 스트림은 메탄 주성분 냉매와의 간접 열 교환을 거쳐 냉각된다. 메탄 주성분 냉매는 도관(143)을 거쳐 제3 메탄 열 교환기(73)를 빠져나온다. 간접 열 교환 수단(35, 39) 내에서 냉각된 처리된 천연 가스 스트림은 제3 메탄 열 교환기(73)로부터 도관(137)을 거쳐 토출된다. 간접 열 교환 수단(39) 내에서 냉각된 처리된 천연 가스 스트림은 제3 메탄 열 교환기(73)로부터 도관(135)을 거쳐 토출된다. 도관(135, 137) 내의 냉각된 천연 가스 스트림들은 각각 감압 수단(93, 94) 내에서 순간 증발되고, 결과적인 순간 증발 스트림들은 이후에 터관(43) 내에서 조합된다. 터관(43)으로부터의 조합된 스트림은 도관(139)을 거쳐 분리 용기(75)로 운반된다. 분리 용기(75)는 도관(139)을 거쳐 도입된 스트림의 주로 액체 및 주로 기체상을 분리하도록 작동 가능하다. 액화 천연 가스(LNG)가 도관(142)을 거쳐 분리기(75)를 빠져나온다. 대략 대기압인 분리 용기(75)로부터의 LNG 제품은 도관(142)을 통해 LNG 저장 탱크로 통과된다. 종래의 실시예 따르면, 저장 탱크 내의 액화 천연 가스는 (전형적으로 해양 LNG 탱커를 거쳐) 원하는 위치로 운송될 수 있다. LNG는 그 다음 종래의 천연 가스 파이프 라인을 거쳐 기체 상태로 운송되도록 육상 LNG 터미널에서 기화될 수 있다.

[0048] 메탄 주성분 증기는 도관(141)을 거쳐 분리 용기(75)를 빠져나오고, 이후에 터관(41) 내의 도관(143)으로부터의 메탄 주성분 냉매와 조합된다. 따라서, 터관(41)은 처리된 천연 가스 스트림의 일부가 메탄 주성분 냉매 스트림 내로 도입되는 반폐쇄 루프 메탄 냉동 사이클 내의 유일한 위치를 나타낸다. 터관(41)으로부터의 조합된 스트림은 도관(144)을 거쳐 제2 메탄 이코노마이저(65)로 운반되어, 조합된 스트림은 간접 열 교환 수단(90) 내에서 가온된다. 간접 열 교환 수단(90)으로부터의 가온된 스트림은 도관(146)을 거쳐 제2 메탄 이코노마이저(65)를 빠져나온다. 도관(146) 내의 메탄 주성분 냉매 스트림은 주 메탄 이코노마이저(74)의 간접 열 교환 수단(96) 내로 도입되어, 스트림은 추가로 가열된다. 결과적인 가온된 메탄 주성분 냉매 스트림은 주 메탄 이코노마이저(74)를 빠져나오고, 도관(148)을 거쳐 메탄 압축기(83)의 저단 입구로 전달된다.

[0049] 도1에 도시된 바와 같이, 메탄 압축기(83)의 고단, 중간단, 및 저단은 양호하게는 단일 유닛으로서 조합된다. 그러나, 각각의 단은 분리된 유닛으로서 존재할 수 있고, 유닛들은 단일 구동기에 의해 구동되도록 서로 기계적으로 결합된다. 저단 섹션으로부터의 압축된 가스는 단간 냉각기(85)를 통과하고, 제2 압축단 이전에 도관(140) 내의 중압 gas와 조합된다. 압축기(83)의 중간단으로부터의 압축된 가스는 단간 냉각기(84)를 통과하고, 제3 압축단 이전에 도관(121, 128)을 거쳐 제공된 고압 gas와 조합된다. 압축된 가스(즉, 압축된 개방 메탄 사이클 가스 스트림)는 고단 메탄 압축기로부터 도관(150)을 통해 토출되고, 냉각기(86) 내에서 냉각되고, 전술한 바와 같이 도관(152)을 거쳐 고압 프로판 급냉기(2)로 이동된다. 스트림은 급냉기(2) 내에서 간

접 열 교환 수단(4)을 거쳐 냉각되고, 도관(154)을 거쳐 주 메탄 이코노마이저(74)로 유동한다. 주 메탄 이코노마이저(74)로 진입하는 급냉기(2)로부터의 압축된 개방 메탄 사이클 가스 스트림은 간접 열 교환 수단(98)을 통한 유동에 의해 전체적으로 냉각된다. 이러한 냉각된 스트림은 도관(158)을 거쳐 제거되고, 에틸렌 냉각의 제1 단의 상류에서 처리된 천연 가스 공급 스트림과 조합된다.

[0050] 본 발명의 일 실시예에서, 도1 및 도2에 도시된 LNG 생성 시스템은 종래의 공정 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 컴퓨터 상에서 시뮬레이팅되었다. 적합한 시뮬레이션 소프트웨어의 예는 하이프로테크(Hyprotech)의 HYSYS™, 아스펜 테크놀로지, 인크.(Aspen Technology, Inc.)의 아스펜 플러스(Aspen Plus)®, 및 시뮬레이션 사이언시스 인크.(Simulation Sciences Inc.)의 PRO/II®을 포함한다.

[0051] 전술한 본 발명의 양호한 형태는 단지 예시로서 사용되어야 하고, 본 발명의 범주를 해석하는데 있어서 제한적인 의미로 사용되지 않아야 한다. 전술한 예시적인 실시예에 대한 명백한 변형은 본 발명의 취지로부터 벗어나지 않고서 당업자에 의해 쉽게 이루어질 수 있다.

[0052] 본 발명자는 다음의 청구범위에서 설명되는 바와 같은 본 발명의 범주로부터 실질적으로 벗어나지 않지만 그의 범주 외의 임의의 장치에 관련되는 본 발명의 적당한 적정 범주를 결정하고 평가하기 위해 등가의 원칙에 따르는 의도를 기재한다.

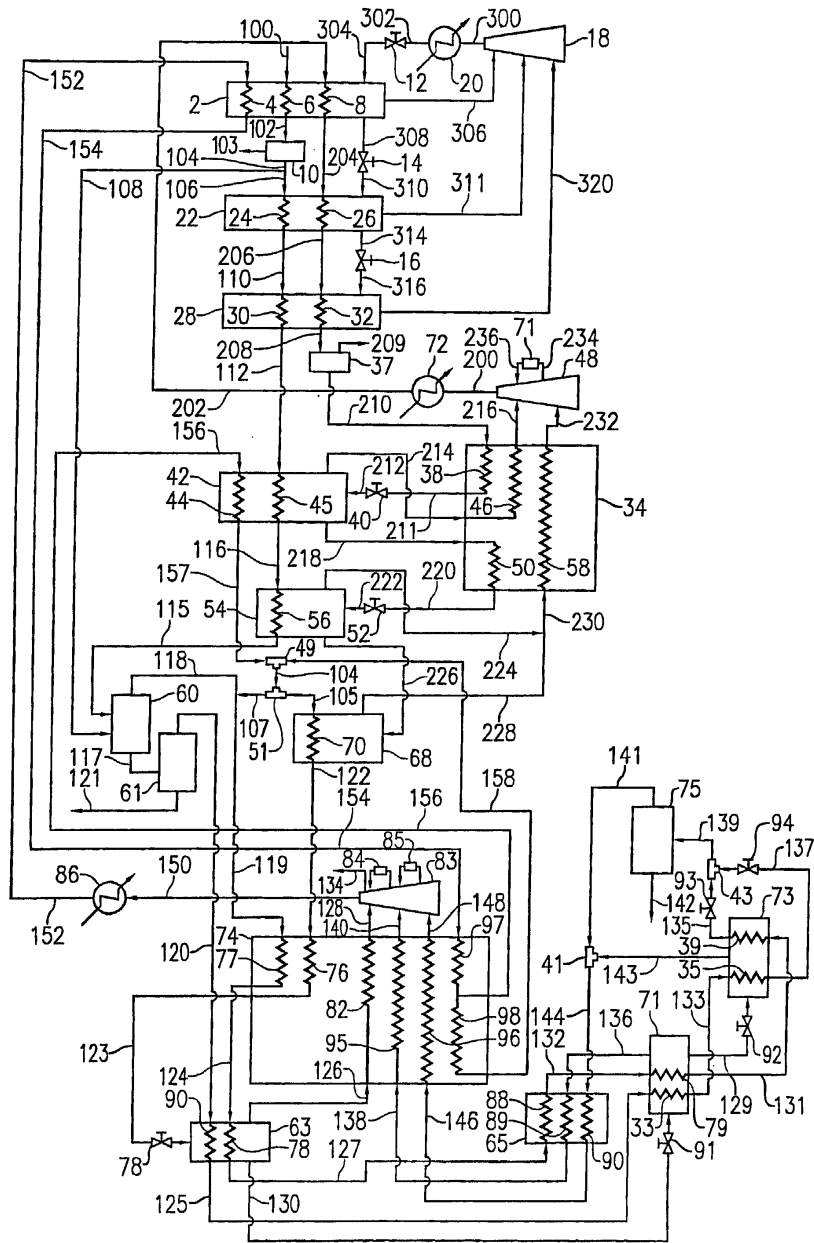
도면의 간단한 설명

[0020] 도1은 반폐쇄 루프 메탄 냉동 사이클을 채용하는 LNG 생산을 위한 캐스케이드식 냉동 공정의 단순화된 흐름도이다.

[0021] 도2는 액화되는 천연 가스 스트림 내로 도입되는 메탄 주성분 냉매의 양을 제어하기 위한 시스템에 관한 세부를 제공하는 흐름도이다.

도면

도면1



도면2

