



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

|                                      |                                     |  |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| (51) Int. Cl.<br>F17D 1/00 (2006.01) | (45) 공고일자<br>(11) 등록번호<br>(24) 등록일자 | 2007년07월18일<br>10-0740078<br>2007년07월10일 |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|

|             |                   |             |                 |
|-------------|-------------------|-------------|-----------------|
| (21) 출원번호   | 10-2003-7003214   | (65) 공개번호   | 10-2003-0055256 |
| (22) 출원일자   | 2003년03월04일       | (43) 공개일자   | 2003년07월02일     |
| 심사청구일자      | 2006년08월22일       |             |                 |
| 번역문 제출일자    | 2003년03월04일       |             |                 |
| (86) 국제출원번호 | PCT/US2001/027470 | (87) 국제공개번호 | WO 2002/20352   |
| 국제출원일자      | 2001년09월04일       | 국제공개일자      | 2002년03월14일     |

(81) 지정국

국내특허 : 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바베이도스, 불가리아, 벨라루스, 캐나다, 스위스, 중국, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그루지야, 헝가리, 이스라엘, 아이슬란드, 일본, 케냐, 키르키즈스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 노르웨이, 뉴질랜드, 슬로베니아, 슬로바키아, 타지키스탄, 투르크멘, 터키, 트리니다드토바고, 우크라이나, 우간다, 우즈베키스탄, 베트남, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 아랍에미리트, 안티구와바부다, 코스타리카, 도미니카, 알제리, 모로코, 탄자니아, 벨리제, 모잠비크, 에쿠아도르, 필리핀, 콜롬비아, 가나, 감비아, 크로아티아, 인도네시아, 인도, 세르비아 앤 몬테네그로, 짐바브웨,

AP ARIPO특허 : 케냐, 레소토, 말라위, 수단, 스와질랜드, 우간다, 시에라리온, 가나, 감비아, 짐바브웨, 모잠비크, 탄자니아,

EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르키즈스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크멘,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스, 터키,

OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디부아르, 카메룬, 가봉, 기니, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고, 기니 비사우, 적도 기니,

(30) 우선권주장

|            |             |        |
|------------|-------------|--------|
| 60/230,099 | 2000년09월05일 | 미국(US) |
| 09/943,693 | 2001년08월31일 | 미국(US) |

(73) 특허권자

에너지 트랜스포트 엘엘씨  
미국 텍사스주 77027 휴스턴 스위트 650 터먼스 3555

(72) 발명자

비숍윌리엄엠  
미국텍사스주77494-6012케이티브리젠드드라이브1219

화이트찰스엔  
미국텍사스주77027휴스턴터먼스라인#6503555

웹버튼데이비드제이  
미국텍사스주77005휴스턴차일들리스4100

(74) 대리인                    김태홍  
                                      신정건

(56) 선행기술조사문헌

심사관 : 김동진

전체 청구항 수 : 총 11 항

## (54) 가스 저장 시스템 및 압축성 가스 저장 방법

### (57) 요약

압축 가스를 수송하기 위한 방법 및 장치는 가스 저장 시스템(도면 참조)을 포함하며, 이 가스 저장 시스템은 모듈형이거나 선박(10)에 통합될 수 있고, 매니폴드(도 10 참조)에 의해 연결된 직경이 크고 강도가 큰 강 파이프(14)를 복수 개 구비하며, 상기 가스 저장 시스템(도면 참조)은 주어진 가스 조성에 대해 최적 압축 계수 범위에서 작동하도록 설계된다. 원하는 압축 계수와 선택된 저온을 알면, 그 선택된 저온에서 가스의 주어진 압력 범위에 대해 파이프(12)의 직경과 벽 두께를 결정할 수 있다(도 4). 주어진 위치에서 생산된 특정 조성의 가스를 위해 설계된 상기 가스 저장 시스템을 구비한 선박(10)을 이용하여, 생산 지점(113)으로부터 수백 또는 수천 마일 떨어져 있는 가스를 내리기 위한 항구(141)까지 가스를 수송하며, 배출용 유체(144)를 사용하여 가스를 가스 저장 시스템으로부터 내릴 수 있다.

### 대표도

도 29

### 특허청구의 범위

#### 청구항 1.

선택된 비중의 가스를 저장하기 위한 가스 저장 시스템으로서,

예정된 압력 범위에서 예정된 온도 범위를 견디어 내도록 구성된 복수 개의 파이프와,

가스를 상기 예정된 온도 범위 내에서 선택된 온도로 냉각하도록 구성된 냉각 부재와,

가스를 상기 예정된 압력 범위 내에서 선택된 압력으로 가압하도록 구성된 가압 부재를 포함하며,

상기 선택된 온도와 압력에서 가스의 압축 계수가 최소화되고 저장된 가스의 질량 대 복수 개의 파이프의 질량의 비가 최대화되는 것인 가스 저장 시스템.

#### 청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 복수 개의 파이프와 선택된 온도 및 압력은

$$\psi = \frac{S}{2\rho_s ZRT_g} \frac{D_i}{(D_o + D_i)}$$

에 의해 결정되는  $\psi$  값이 최대화되도록 선택되며, 여기서 S는 파이프 재료의 허용 가능한 응력,  $\rho_s$ 는 파이프 재료의 밀도, Z는 가스의 압축 계수, R은 기체 상수,  $T_g$ 는 감소된 온도,  $D_i$ 는 파이프의 내경,  $D_o$ 는 파이프의 외경인 것인 가스 저장 시스템.

### 청구항 3.

제1항 또는 제2항에 있어서, 저장된 가스의 비중을 선택된 비중으로 유지하기 위해 저장된 가스에 첨가하기 위한 탄화수소의 저장 용기를 더 포함하는 것인 가스 저장 시스템.

### 청구항 4.

선택된 비중의 압축성 가스를 저장하기 위한 압축성 가스 저장 방법으로서,

예정된 온도 범위에 적합한 파이프 재료를 선택하는 단계와,

상기 예정된 온도 범위 내에서 선택된 온도에서 가스의 압축 계수를 최소화하는 압력을 예정된 압력 범위 내에서 선택하는 단계와,

저장된 가스의 질량 대 파이프의 질량의 비가 최대화되도록 파이프 직경 및 벽 두께를 선택하는 단계를 포함하는 것인 압축성 가스 저장 방법.

### 청구항 5.

제4항에 있어서,

저장 용기로부터 가스를 제거하는 단계와,

선택된 비중의 저장 가스를 형성하기 위해서 가스에 탄화수소를 첨가하는 단계

를 더 포함하는 것인 압축성 가스 저장 방법.

### 청구항 6.

제4항 또는 제5항에 있어서,

가스를 선택된 압력으로 압축하는 단계와,

가스를 선택된 온도로 냉각하는 단계와,

선택된 파이프 직경과 두께를 갖고 선택된 파이프 재료로 제작된 복수 개의 파이프에 가스를 싣는 단계

를 더 포함하는 것인 압축성 가스 저장 방법.

**청구항 7.**

제4항 또는 제5항에 있어서, 선택된 파이프 직경과 두께는

$$\psi = \frac{S}{2 \rho_s Z R T_g} \frac{D_i}{(D_o + D_i)}$$

에 의해 결정되는  $\psi$  값을 최대화하며, 여기서 S는 파이프 재료의 허용 가능한 응력,  $\rho_s$ 는 파이프 재료의 밀도, Z는 가스의 압축 계수, R은 기체 상수,  $T_g$ 는 감소된 온도,  $D_i$ 는 파이프의 내경,  $D_o$ 는 파이프의 외경인 것인 압축성 가스 저장 방법.

**청구항 8.**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 예정된 압력 범위는 상기 선택된 온도에서 압축 계수가 최소 압축 계수로부터 2% 이내에서 변하는 압력 범위인 것인 가스 저장 시스템.

**청구항 9.**

제4항 또는 제5항에 있어서, 상기 예정된 압력 범위는 상기 선택된 온도에서 압축 계수가 최소 압축 계수로부터 2% 이내에서 변하는 압력 범위인 것인 압축성 가스 저장 방법.

**청구항 10.**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 예정된 온도 범위는  $-40^{\circ}\text{F}$  내지  $0^{\circ}\text{F}$ 이며, 상기 예정된 압력 범위는 1200 psi 내지 2000 psi인 것인 가스 저장 시스템.

**청구항 11.**

제4항 또는 제5항에 있어서, 상기 예정된 온도 범위는  $-40^{\circ}\text{F}$  내지  $0^{\circ}\text{F}$ 이며, 상기 예정된 압력 범위는 1200 psi 내지 2000 psi인 것인 압축성 가스 저장 방법.

**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.

삭제

청구항 30.

삭제

청구항 31.

삭제

청구항 32.

삭제

청구항 33.

삭제

청구항 34.

삭제

청구항 35.

삭제

청구항 36.

삭제

청구항 37.

삭제

청구항 38.

삭제

청구항 39.

삭제

청구항 40.

삭제

청구항 41.

삭제

청구항 42.

삭제

청구항 43.

삭제

청구항 44.

삭제

청구항 45.

삭제

청구항 46.

삭제

청구항 47.

삭제

청구항 48.

삭제

청구항 49.

삭제

청구항 50.

삭제

청구항 51.

삭제

청구항 52.

삭제

청구항 53.

삭제

청구항 54.

삭제

청구항 55.

삭제

청구항 56.

삭제

청구항 57.

삭제

청구항 58.

삭제

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

청구항 69.

삭제

청구항 70.

삭제

청구항 71.

삭제

청구항 72.

삭제

청구항 73.

삭제

청구항 74.

삭제

청구항 75.

삭제

청구항 76.

삭제

청구항 77.

삭제

청구항 78.

삭제

청구항 79.

삭제

청구항 80.

삭제

청구항 81.

삭제

청구항 82.

삭제

청구항 83.

삭제

청구항 84.

삭제

청구항 85.

삭제

청구항 86.

삭제

청구항 87.

삭제

청구항 88.

삭제

청구항 89.

삭제

청구항 90.

삭제

청구항 91.

삭제

청구항 92.

삭제

청구항 93.

삭제

청구항 94.

삭제

청구항 95.

삭제

청구항 96.

삭제

청구항 97.

삭제

청구항 98.

삭제

청구항 99.

삭제

청구항 100.

삭제

청구항 101.

삭제

청구항 102.

삭제

청구항 103.

삭제

청구항 104.

삭제

청구항 105.

삭제

청구항 106.

삭제

청구항 107.

삭제

청구항 108.

삭제

청구항 109.

삭제

청구항 110.

삭제

청구항 111.

삭제

청구항 112.

삭제

청구항 113.

삭제

청구항 114.

삭제

청구항 115.

삭제

청구항 116.

삭제

청구항 117.

삭제

청구항 118.

삭제

청구항 119.

삭제

청구항 120.

삭제

청구항 121.

삭제

청구항 122.

삭제

청구항 123.

삭제

청구항 124.

삭제

청구항 125.

삭제

청구항 126.

삭제

청구항 127.

삭제

청구항 128.

삭제

청구항 129.

삭제

청구항 130.

삭제

청구항 131.

삭제

청구항 132.

삭제

청구항 133.

삭제

청구항 134.

삭제

청구항 135.

삭제

청구항 136.

삭제

청구항 137.

삭제

청구항 138.

삭제

청구항 139.

삭제

청구항 140.

삭제

청구항 141.

삭제

청구항 142.

삭제

청구항 143.

삭제

청구항 144.

삭제

청구항 145.

삭제

청구항 146.

삭제

청구항 147.

삭제

청구항 148.

삭제

청구항 149.

삭제

청구항 150.

삭제

청구항 151.

삭제

청구항 152.

삭제

청구항 153.

삭제

청구항 154.

삭제

청구항 155.

삭제

청구항 156.

삭제

청구항 157.

삭제

청구항 158.

삭제

청구항 159.

삭제

청구항 160.

삭제

청구항 161.

삭제

청구항 162.

삭제

청구항 163.

삭제

청구항 164.

삭제

청구항 165.

삭제

청구항 166.

삭제

청구항 167.

삭제

청구항 168.

삭제

청구항 169.

삭제

청구항 170.

삭제

청구항 171.

삭제

청구항 172.

삭제

청구항 173.

삭제

청구항 174.

삭제

청구항 175.

삭제

청구항 176.

삭제

청구항 177.

삭제

청구항 178.

삭제

청구항 179.

삭제

청구항 180.

삭제

청구항 181.

삭제

청구항 182.

삭제

청구항 183.

삭제

청구항 184.

삭제

청구항 185.

삭제

청구항 186.

삭제

청구항 187.

삭제

청구항 188.

삭제

청구항 189.

삭제

청구항 190.

삭제

청구항 191.

삭제

청구항 192.

삭제

청구항 193.

삭제

청구항 194.

삭제

청구항 195.

삭제

청구항 196.

삭제

청구항 197.

삭제

청구항 198.

삭제

청구항 199.

삭제

청구항 200.

삭제

청구항 201.

삭제

청구항 202.

삭제

청구항 203.

삭제

청구항 204.

삭제

청구항 205.

삭제

청구항 206.

삭제

청구항 207.

삭제

청구항 208.

삭제

청구항 209.

삭제

청구항 210.

삭제

청구항 211.

삭제

청구항 212.

삭제

청구항 213.

삭제

## 명세서

### 기술분야

본 발명은 압축 가스의 저장 및 수송에 관한 것이다. 상세하게 말하면, 본 발명은 압축 가스를 저장하고 수송하기 위한 방법 및 장치와, 압축 가스 수송용 선박 및 가스 저장용품과, 가스를 싣고 내리기 위한 방법과, 선박을 이용하여 한 장소로부터 다른 장소로 가스 또는 액체를 운반하기 위한 전반적인 방법을 포함한다. 더욱 상세하게 말하면, 본 발명은 특정 조성의 가스를 위해 구체적으로 최적화되고 구성된 압축 천연 가스 수송 시스템에 관한 것이다.

### 배경기술

세계 도처에서 가스 자원이 개발되면서 가스 수송에 대한 요구가 증가하고 있다. 전통적으로, 그러한 먼 장소로부터 가스를 직접 사용할 수 있는 곳이나 가스를 상품으로 정제할 수 있는 곳으로 가스를 수송하기 위해 실시할 수 있는 방법은 몇 가지밖에 되지 않는 것으로 밝혀졌다. 전형적인 방법은 가스가 필요한 곳까지 파이프라인을 건설하여 그 파이프라인을 통해 가스를 직접 수송하는 단순한 방법이다. 그러나, 국경선을 가로질러 파이프라인을 건설하는 것은 정치적인 이유 때문에 실현하기 힘든 경우가 종종 있으며, 경제적인 이유로 실현이 불가능한 경우도 많은데, 예컨대 수중으로 가스를 수송해야 하는 경우, 깊은 물 속에 파이프라인을 건설하고 유지하는 것은 비용이 너무 많이 들기 때문이다. 예를 들면, 1997년에 제안된, 흑해를 경유하여 러시아와 터키를 연결하려는 750 마일의 파이프라인은 유지 비용을 제외하고도 초기 비용이 30억 불에 달하는 것으로 추정되었다. 또한, 건설 및 유지가 매우 힘들고 고도의 숙련공이 필요하기 때문에 비용이 크게 증가한다. 마찬가지로, 대양을 횡단하는 파이프라인은, 어떤 상황에서는 깊이 및 해저 상태와 관련된 제약으로 인하여 선택 대상이 될 수 없다.

이러한 파이프라인의 한계 때문에 다른 수송 방법이 부상하였다. 가스 수송에 있어서 가장 쉽게 나타나는 문제는, 기상(氣相)에서는 온도가 주위 온도 미만이라도 소량의 가스가 큰 공간을 차지한다는 것이다. 체적이 그렇게 큰 물질을 수송하는 것은 경제적 실현 가능성이 없는 경우가 흔하다. 그 해결책은 가스가 차지하는 공간을 줄이는 것이다. 먼저, 직관에 의하면 가스를 액체로 응축시키는 것이 가장 논리적인 해결책으로 보일 것이다. 전형적인 천연 가스(대략 90% CH<sub>4</sub>)는 액체로 압축되면 기체일 때 체적의 1/600로 축소될 수 있다. 기체 탄화수소가 액체 상태로 된 것이 당업계에서는 액화 천연 가스, 흔히 LNG로 알려져 있다.

명칭에 나타나 있듯이, LNG에는 천연 가스의 액화가 관련되어 있으며, 보통 액상으로 천연 가스를 수송한다. 비록 액화가 수송 문제의 해결책으로 보이지만 결점이 곧 드러난다. 첫째로, 천연 가스를 액화하기 위해서는 액화되기 전에 대기압에서 대략 -260°F로 냉각해야 한다. 둘째로, LNG는 수송 중에 온도가 상승하는 경향이 있으므로, 액화 상태가 유지되는 그렇게 낮은 온도에 머물러 있지 않으려고 한다. 수송 중에 LNG를 적정 온도로 유지하기 위해서는 극저온 방법을 이용해야 한다. 따라서, LNG의 수송에 사용되는 화물 수송 시스템은 정말로 온도가 낮아야 한다. 셋째로, LNG는 목적지에서 다시 기체 상태로 만들어야 사용할 수 있다. 이 형태의 극저온 공정은 LNG를 싣는 항구와 내리는 항구 모두에서 LNG 설비를 위한 초기 비용이 많이 든다. LNG를 -260°F에서 유지하기 위해서는 선박에 외부 금속(exotic metal)이 필요하다. LNG를 싣고 내리기 위한 한 가지 구체적인 루트의 전체 규모 설비에 드는 비용은 10억불을 초과하는 것이 일반적이며, 이 때문에 상기 방법을 다용도로 이용하면 경제성을 잃게 되는 일이 흔하다. 액화 천연 가스는 압력을 상승시키면 -260°F보다 높은 온도에서 수송할 수도 있지만 극저온 문제가 여전히 남아 있으며 탱크로서 압력 용기를 사용해야 한다. 이 대안도 매우 비용이 많이 들 수 있다.

파이프라인의 기술적 문제와 LNG의 막대한 비용 및 온도에 대응하여, 천연 가스를 압축된 상태로 수송하는 방법이 개발되었다. 천연 가스를 고압으로 압축 또는 가압하는데, 주위 온도보다 낮은 온도로 냉각할 수도 있지만 액상에 도달하지는 않는다. 이를 보통 압축 천연 가스 또는 CNG라고 부른다.

천연 가스 등의 압축 가스를 해상 운반 수단 또는 육상 운반 수단을 사용하여 가압 용기로 수송하는 것과 관련된 몇 가지 방법이 지금까지 제안되어 왔다. 각 가스 저장 시스템에 수용되는 가스의 양을 최대화하기 위해서는 가스를 고압 및 저온으로 수송하는 것이 전형적이다. 예를 들면, 압축 가스는 고밀도의 단일 유체("초임계") 상태에 있을 수 있다.

CNG를 선박으로 수송하는 데에는 바지(barge) 또는 배를 사용하는 것이 전형적이다. 선박의 화물창에는 금속제 압력병 용기와 같은 저장 용기가 밀집해서 다수 개 적층되어 있다. 이들 저장 용기의 내부는 CNG가 저장되는 고압 및 저온 상태에 대한 내성이 있다. 화물창도 내부가 모두 단열되어 있어, CNG 및 그 저장 용기를 운반 과정 전체에 걸쳐 CNG를 실을 때의 온도와 대략 유사한 온도로 유지하고, 복귀할 때에도 거의 비어 있는 용기를 마찬가지로 그 온도 부근의 온도로 유지한다.

CNG를 수송하기 전에, 예컨대 고압으로 압축하고 저온으로 냉각함으로써 먼저 원하는 작동 상태로 만든다. 예를 들면, 미국 특허 제3,232,725호(이 특허의 내용을 본 명세서에 참고로 인용함)에는 천연 가스를 선박 수송에 적합한 상태로 준비하는 방법이 개시되어 있다. 압축 및 냉동이 끝나면 CNG를 선박의 저장 용기에 싣는다. 그리고 나서 CNG를 목적지로 수송한다. 목적지로 향해하는 동안, 수송 선박에 실려 있는 CNG의 일부를 선박의 연료로 소량 사용할 수도 있다.

목적지에 도착하면 CNG를 선박에서 내려야 하는데, 이 내리는 작업은 다수의 고압 저장 용기를 포함하거나 고압 터빈으로 통하는 유입구를 포함하는 터미널에서 이루어지는 것이 전형적이다. 만약 터미널의 압력이, 예컨대 1000 psi(psi)이고 선박의 저장 용기의 압력이 2000 psi이면, 선박의 저장 용기의 압력이 2000 psi와 1000 psi 사이의 어떤 값인 최종 압력으로 하강할 때까지 밸브를 열어서 가스를 터미널 내로 팽창시킬 수 있다. 만약 터미널의 용적이 선박의 저장 용기의 용적을 모두 합한 값보다 훨씬 크다면 최종 압력은 대략 1000 psi가 될 것이다.

그 후, 통상적인 절차를 사용하여 선박의 저장 용기에 남아 있는 수송된 CNG("잔류 가스")를 압축기를 사용하여 터미널의 저장 용기 내로 압축한다. 압축기는 고가이므로 CNG를 선박에서 내리는 설비의 자본 비용을 증가시킨다. 또한, 압축열 때문에 잔류 가스의 온도가 상승하게 된다. 압축열을 제거하지 않는다면, 그러한 온도 증가는 필요한 저장 용적의 증가를 초래하므로 CNG의 수송을 위한 전체 비용이 상승하게 된다.

CNG, 특히 잔류 가스를 선박에서 내릴 때의 복잡성과 비용을 줄이려는 이전의 노력들은 자체적인 문제를 안고 있다. 예를 들면, 미국 특허 제2,972,873호(이 특허의 내용을 본 명세서에 참고로 인용함)에는 잔류 가스를 가열하여 압력을 상승시킴으로써 선박의 저장 용기로부터 빠져나오게 하는 방법이 개시되어 있다. 그러한 방법은 압축기의 작동과 관련된 추가 비

용을 저장 용기와 잔류 가스에 열을 공급하기 위한 작동 비용으로 단순히 치환한 것이다. 게다가, 그러한 시스템을 위한 배관 및 밸브 설비의 설계는 매우 복잡하다. 왜냐하면, 그러한 시스템에서는 선박의 저장 용기에 가열 장치 또는 가열 요소를 도입해야 하기 때문이다.

요약하면, 비록 CNG 수송이 LNG와 관련된 자본 비용을 감소시키기는 하지만, 사용되는 장치와 방법에서 효율성이 떨어지므로 여전히 많은 비용이 든다. 이는 종래의 방법이 선박과 설비를 특정 가스 조성에 최적화하지 않았다는 사실에 주된 원인이 있다. 즉, 종래 기술의 장치 및 방법은 구체적인 가스에 대한 최적의 저장 조건을 결정하기 위해 가스의 특정 조성에 기초하여 설계되지 않은 것이다.

미국 특허 제4,846,088호에는 개방된 바지에 압축 가스를 저장하기 위해 파이프를 사용하는 것이 개시되어 있다. 저장용품들은 선박의 갑판에 위치하거나 갑판 위에 위치하도록 엄격하게 제한된다. 압축기를 사용해서 압축 가스를 싣고 내린다. 그러나, 파이프 설계 계수에 대한 고려가 없고 가스의 최대 압축 계수를 얻기 위한 시도도 없다.

미국 특허 제3,232,725호에서는 가스의 적정 압력을 결정하기 위한 특정 압축 계수를 고려하고 있지 않다. 대신, 이 특허에는 더 큰 압축률을 얻기 위한 넓은 범위 또는 대역이 개시되어 있다. 그러나, 이를 위해서는 가스 용기의 벽 두께가 필요한 정도보다 훨씬 커야 한다. 이는 저압에서의 작동 시에 특히 그러하기 때문에, 파이프를 과도하게(불필요하게 두껍게) 설계하게 만든다. 상기 특허는 메탄과 기타 탄화수소의 혼합물에 대한 상도(相圖)를 보여주고 있다. 이 상도에 도시된 한 포락선 안에서는 혼합물이 액체와 기체 모두로서 존재한다. 그 포락선보다 높은 압력에서는 혼합물이 고밀도 상 또는 임계 상태로 알려져 있는 단상으로 존재한다. 만약 가스가 그 상태 안에서 가압된다면 액체가 기체에서 빠져 나오지 않을 것이다. 또한, 그 범위에서 양호한 압축비를 얻을 수 있다. 따라서, 상기 특허는 그 범위에서 처리할 것을 권하고 있다.

전술한 미국 특허 제3,232,725호의 그래프는 온도를 낮추는 것에 기초하고 있다. 그러나, 이 특허는 특정 온도 및 압력에서 압축 계수를 최적화한 후 특정 가스에 필요한 벽 두께를 계산함으로써 방법과 장치를 설계하지 않는다. 대부분의 자본 비용이 파이프 저장용품에 필요한 다량의 금속 또는 기타 재료에 기인하기 때문에, 상기 특허는 중요도가 떨어진다. 상기 특허에서 제공하는 범위는 매우 넓으며, 한 가지의 특정 가스 혼합물보다 많은, 즉 상이한 조성의 가스 혼합물들을 망라하기 위해 설계되어 있다.

미국 특허 제4,446,232호에는 배출용 유체를 사용하여 가스를 선박에서 내리는 방법이 개시되어 있다. 이 특허에서는 저온 유체를 고려하지 않는다. 또한, 이 특허는 육상 저장과 열 충격을 고려하고 있지 않다. 이 특허에 따르면 연속되는 탱크를 배출시키기 위해 사용되는 용기에 배출용 유체를 운반한다. 저온 요건에 대해서는 언급이 없다.

본 발명은 압축 가스용 수송 선박을 최적화하기 위한 방법과, 그 수송 선박의 설계 및 그 선박 상의 가스 저장용품의 설계와, 가스를 싣고 내리기 위한 방법과, 최적화된 수송 선박을 이용하여 한 장소로부터 다른 장소로 가스를 수송하기 위한 전반적인 방법과, 이들 방법에 사용되는 구체적인 장치를 제공함으로써 종래 기술의 결점을 극복한다.

### 발명의 상세한 설명

압축 가스의 수송을 위한 본 발명의 방법과 장치는 압축성 가스의 저장 및 수송에 최적화된 가스 저장 시스템을 포함한다. 이 가스 저장 시스템은 병렬 관계에 있는 복수 개의 파이프와, 이들 파이프의 인접 층 사이에서 연장되는 복수 개의 지지 부재를 포함한다. 이들 지지 부재에는 개별적인 파이프를 수용하여 저장하기 위한 대향하는 아치형 오목부가 마련되어 있다. 상기 파이프의 단부에는 가스를 싣고 내리기 위한 매니폴드 및 밸브가 연결되어 있다. 상기 파이프와 지지 부재는 단열된, 그리고 바람직하게는 질소가 풍부한 분위기로 둘러싸여 있는 파이프 다발을 형성한다.

상기 가스 저장 시스템은 압력 하의 고밀도 상에 있는 천연 가스와 같은 압축성 가스의 저장에 최적화되어 있다. 상기 파이프는 예정된 온도 범위를 견디어 낼 수 있고 파이프 재료에 요구되는 설계 계수를 충족시키는 재료, 예컨대 강 파이프로 제조된다. 냉각 부재가 가스를 상기 온도 범위 내의 온도로 냉각하고, 가스의 압축 계수가 최소화되는 상기 온도 범위 중의 보다 낮은 온도에서 가압 부재가 가스를 예정된 압력 범위 내로 가압한다. 가스의 바람직한 온도 및 압력은 파이프 내의 가스 체적과 표준 상태에서의 가스 체적 간의 압축비를 최대화한다. 가스의 압축비는, 표준 상태에 있는 주어진 질량의 가스의 체적 대 저장 상태에 있는 동일한 질량의 가스의 체적의 비로 정의된다.

예를 들면, 가스 저장 시스템의 한 가지 바람직한 실시 형태는 X-60 또는 X-80 특제 고강도 강으로 제조된 파이프를 포함하며, 가스의 온도는 -20°F 내지 0°F의 범위에 있다. 이 범위에서 보다 낮은 온도는 -20°F이다. X-100 특제 고강도 강일

경우에는 보다 낮은 온도가 -40°F일 수 있다. 가스의 비중이 대략 0.6일 때 압력 범위는 1,800 psi 내지 1,900 psi이고, 가스의 비중이 대략 0.7이면 압력 범위는 1,300 psi 내지 1,400 psi이다. 보다 낮은 온도에서의 압력 범위는 특정 비중의 가스에 대해 압축 계수가 최소 압축 계수의 2% 이내에서 변하는 압력 범위이다.

일단 주어진 설계 계수에 맞도록 강도의 강도와 파이프의 직경을 선택하고 나면, 저장 가스의 질량 대 강 파이프의 질량의 비를 최대화함으로써 파이프의 벽 두께를 결정한다. 다시 예를 들면, 가스의 비중이 대략 0.6이고, 설계 계수가, 항복 강도가 100,000 psi인 강 파이프의 항복 강도의 절반이며, 파이프 직경이 36 인치인 경우, 파이프의 벽 두께는 0.66 인치 내지 0.67 인치가 된다. 이 예에서 가스의 비중이 대략 0.7이면 파이프의 벽 두께는 0.48 인치 내지 0.50 인치가 된다.

부식 또는 침식에 대한 여유를 주기 위해 추가 두께 분의 재료를 더함으로써 파이프의 벽 두께를 증가시킬 수 있다. 이 두께는 결과적인 항복 강도를 유지하기 위해 필요한 두께보다 큰 값이다. 상기 추가 두께는 용도에 따라 0.063 인치 또는 그 이상일 수 있다. 본 발명에는 큰 직경의 파이프가 사용되기 때문에, 시스템 효율이 허용될 수 없는 수준으로 열화되는 일 없이 전술한 여유 두께를 줄 수 있다. 비록 본 발명의 바람직한 실시 형태에서는 고강도 탄소강 파이프를 사용하지만, 이 시스템에 다른 재료도 사용할 수 있다. 스테인레스강, 니켈 합금, 탄소 섬유 강화 복합재와 같은 재료 및 기타 재료를 고강도 탄소강 대신 사용할 수 있다.

본 발명은 압축 가스를 선박으로 수송하기 위한 방법 및 장치와 특히 관련이 있다. 선박 상의 가스 저장 시스템은 특정 가스 조성의 가스를 수송하기 위해 설계된다. 수송해야 하는 가스의 조성이 가스 저장 시스템의 설계 목적인 가스 조성과 다른 경우에는, 최종 가스의 조성이 가스 저장 시스템의 설계 목적인 특정 가스 조성 및 동일해질 때까지 제2 가스 조성의 가스를 수송해야 하는 가스에 첨가하거나 수송해야 하는 가스로부터 제거할 수 있다.

상기 가스 저장 시스템은 선박에 통합된 일부일 수 있다. 선박의 선체에는 상기 가스 저장 시스템의 파이프가 일부를 구성하는 지지 구조가 마련될 수 있다. 상기 선체는, 질소 분위기로 채워져 있고 가스 누출을 모니터링하기 위한 화학적 모니터링 시스템이 마련된 격실들로 분할될 수 있다. 또한, 누출 가스를 빼내기 위한 플레어 시스템도 포함될 수 있다. 선박의 이동 거리 1,000 마일에 대해 가스의 온도가 1/2°를 초과하여 상승하는 것을 방지하기 위해 선체는 단열되어 있다. 대안으로서, 선박의 선체를 콘크리트로 제조하고, 선체 안에 가스 저장 파이프를 제작할 수 있다. 선체부의 한쪽 단부에는 이물부를 연결하고 다른쪽 단부에는 고물부를 연결한다.

상기 가스 저장 시스템은, 선박의 갑판에 의해 지지되거나 선박의 선체 내에 설치되는 모듈형 유닛으로서 구성될 수 있다. 이 모듈형 유닛 내의 파이프는 갑판에 대해 수직 방향이나 수평 방향으로 연장될 수 있다.

저장 가스를 선박에서 내리는 작업은, 배출용 유체를 가스 저장 시스템의 한쪽 단부로 펌핑해 넣고 다른쪽 단부를 개방하여 가스가 제거되도록 하는 것이 바람직하다. 배출용 유체는 저장 가스에 의한 흡수가 최소인 것으로 선택한다. 흡수를 추가적으로 방지하기 위해 가스로부터 배출용 유체를 분리하는 분리기를 가스 저장 시스템 내에 배치할 수 있다. 한 번에 하나의 파이프 층의 가스를 선박에서 내리는 것이 바람직하다. 선박에서 가스를 내리는 작업을 돕기 위해 가스 저장 시스템을 일정 각도로 기울일 수도 있다.

본 발명의 가스 수송 방법은 특정 지형의 장소에서 산출되는 가스의 특정 가스 조성에 대해 선박 상의 가스 저장 시스템을 최적화하는 것을 포함한다. 상기 가스 저장 시스템은 천연 가스 공급원에 위치하는 로딩 스테이션과, 목적지에서 가스를 내리기 위한 수용 스테이션을 포함한다. 상기 가스 저장 시스템은 가스의 압축 계수를 최소화하고 가스의 압축비를 최대화하는 압력과 온도로 최적화되어 있다.

비록 본 발명이 압축 가스를 수송하기 위한 방법 및 장치와 특히 관련되어 있지만, 본 발명의 실시 형태들은 액체 프로판과 같은 액체를 수송하는 데에도 적용할 수 있다는 것을 이해해야 한다.

본 발명의 실시 형태들은 하기 내용을 포함하는, 그러나 하기 내용에 제한되지 않는 많은 독특한 특징들을 제공한다.

- a) 가스 저장 시스템이 선박과 구조적으로 통합되어 선박에 구조적 강성을 제공함. 가스 저장 시스템은 격벽 역할을 하는 지지체를 포함하고, 저장 시스템 구성품이 격벽 역할을 하며, 가스 저장 시스템이 부력을 제공하고, 가스 저장 시스템이 모든 가스와 액체를 저장함.
- b) 가스 저장 시스템을 컨테이너화된 시스템으로서 건설하여 가스 저장 시스템을 선박의 갑판 상에서, 또는 선체 내에서 수송할 수 있으며, 가스 저장 시스템은 선박의 구조로부터 대체로 독립되어 있음.

- c) 욕상 또는 선박에 저장된 빙점이 낮은 액체를 사용하여 가스를 선박에서 단계적으로 내림.
- d) 가스를 액체로부터 분리하기 위해 액체로 구동되는 피그(pig)를 사용하여 가스를 선박에서 내림.
- e) 선박에 저장된 가스의 단위 중량에 대한 강외 중량이 최소화되도록, 직경 및 벽 두께와 같은 가스 저장 파이프의 치수를, 특정 가스 공급원으로부터의 가스의 조성에 대해 최적화된 압축 계수와 일치시킴.
- f) API, ASME 또는 규격 협회 규정과 같은 허용된 기준에 따라 제조된 특제 파이프를 선박 상의 저장 용기로 사용하고, 이때 설계 계수는 개별 조립된 압력 용기의 경우보다 높게, 즉 0.25보다 높게 하거나 유사한 기준에 따름.
- g) 선체 전부에, 또는 용기 조립체에 단열 라이닝을 마련하여, 온도 상승을 필요 용도에 대해 허용 가능한 속도로, 예컨대 100 시간의 이동에 대해 1도 미만으로 감소시킴.
- h) 적재 가스와 배출용 유체 간의 표면 접촉 면적을 감소시키고, 가스 저장 시스템으로부터 배출용 유체가 최대한 제거되도록 하기 위하여 선박을 트리밍(trimming)하거나 가스 저장 시스템을 기울임.
- i) 욕상 또는 선박에서, 그러나 제1 가스 용기 외부에서 가스를 선박으로부터 내리는 단계 중에 제어 밸브에 압력 강하가 생기게 함.
- j) 선박의 측면 및 바닥과 같이, 가스 저장 시스템의 파이프 중 가장 파손되기 쉬운 특정 파이프를 외부 자극으로부터 격리하기 위한 매니폴드 사용.
- k) 액체 배출 중의 정수학적 시험.
- l) 선박 제작 방법.

본 발명의 한 가지 유리한 점은 천연 가스를 해상 수송할 때 통상적으로 생기는 높은 자본 비용 및 극저온 절차를 크게 감소시킬 수 있다는 점으로, 이에 따르면 본 발명의 수익성이 종래의 방법 및 장치보다 증진된다.

본 발명은 CNG 저장 조건을 최적화함으로써 CNG의 저장 및 수송을 위한 방법 및 장치를 개선하는 것을 포함하며, 따라서 종래의 천연 가스 저장 및 수송 방법의 결점을 극복한다.

본 발명의 기타 목적과 유리한 점들은 이하의 상세한 설명으로부터 명확해질 것이다.

이하, 첨부 도면을 참조하면서 본 발명의 바람직한 실시 형태를 상세히 설명한다.

### 실시예

비록 본 발명을 다양하게 수정 및 변형할 수 있지만, 본 발명의 구체적인 실시 형태들을 도면에 예시하였으며 이하에서 상세히 설명한다. 그러나, 도면과 이하의 상세한 설명은 본 발명을 개시된 특정 형태로 제한하려는 것이 아니며, 오히려 본 발명은 첨부된 청구범위에 의해 정의되는 본 발명의 정신과 범위 내에 있는 수정례, 등가물 및 변형례들을 모두 포함한다는 것을 이해해야 한다.

이하의 상세한 설명과 도면 전체에 걸쳐 동일한 부분에는 동일한 도면 부호를 사용하였다. 각 도면들은 반드시 축적이 일치하지는 않는다. 바람직한 실시 형태들의 몇몇 특징은 과장된 축적으로 도시하거나 다소 개략적으로 도시하였으며, 통상적인 구성 요소들의 세부 사항 중 일부는 명확과 간결을 기하기 위해 도시하지 않았다. 본 출원에 개시되어 있는 시스템은 미국 해안 경비대, 미국 해운국(ABS), 미국 석유 협회(API) 및 미국 기계 공학 협회(ASME)와 같이 원하는 용도에 적용 가능한 설계 기준에 따라 설계되기 위한 것이라는 것을 이해해야 한다.

본 발명은 선박으로 가스를 저장하고 수송하기 위한 방법 및 장치와, 선박의 제작 방법 및 선박용 장치와, 선박의 가스 저장 시스템에 가스를 싣고 그 시스템에서 가스를 내리기 위한 방법 및 장치와, 가스를 항구 간에서 수송하기 위한 방법을 포

합하는, 그러나 이들에 한정되지는 않는 몇 가지 영역과 관련되어 있다. 본 발명은 상이한 형태로 실시할 수 있다. 도면에 도시된 본 발명의 구체적인 실시 형태들을 이하에서 상세히 설명할 것인바, 그러한 개시 내용들은 본 발명의 원리를 예시하는 것으로 간주되어야 하며, 본 발명을 예시 및 도시된 내용에 한정하기 위한 것이 아니라는 것을 이해해야 한다.

구체적으로, 본 발명의 여러 실시 형태들은 본 발명의 장치의 다수의 상이한 구성 및 작동 방법을 제공한다. 본 발명의 실시 형태들은 본 발명의 장치를 사용하기 위한 방법을 복수 가지 제공한다. 후술하는 실시 형태들의 상이한 교시 내용은 원하는 결과를 얻기 위해 개별적으로, 또는 임의의 적절한 조합으로 채용할 수 있다는 것을 충분히 인식해야 한다. 설명 중에 "위쪽" 또는 "아래쪽"이란 표현을 사용할 것인데, "위쪽"은 해표면으로부터 멀어지는 방향을 뜻하고, "아래쪽"은 해저를 향하는 방향을 뜻한다.

본 발명은 임의의 가스에 대해 적용할 수 있으며 천연 가스에 한정되지 않는다는 것을 이해해야 한다. 천연 가스의 저장 및 수송을 위한 바람직한 실시 형태를 설명하는 것은 예시를 위한 것이며 본 발명은 제한하려는 것이 아니다.

## CNG 저장

가스 저장 시스템의 바람직한 실시 형태는 가스가 고밀도 상으로도 알려져 있는 고밀도의 단일 유체("초임계") 상태로 유지되는 가스 온도 및 압력을 위해 설계된다. 이 고밀도 상은 액체와 기체가 분리되어 존재할 수 없는 고압에서 발생한다. 예를 들면, 압축 천연 가스(CNG)의 경우 분리된 상은 일단 가스 압력이 대략 1000 psia로 강하하면 발생한다. 주로 메탄인 천연 가스가 고밀도 상으로 유지되는 한, 가스 저장 압력에서 가스가 가스 저장 온도로 냉각될 때, 낮은 압축률 값에 기여하는 에탄, 프로판 및 부탄과 같은 보다 무거운 탄화수소가 떨어져 나오지 않는다. 따라서, 바람직한 실시 형태에서, 천연 가스는 보다 높은 압력으로 압축 또는 가압되고 주위 온도보다 낮은 온도로 냉각되지만, 액상에 도달하지는 않고 가스 저장 시스템에 저장된다. 가스를 LNG가 아닌 CNG로 유지하면, 가스를 싣는 항구와 내리는 항구 모두에서 초기 비용이 많이 드는 극저온 공정 및 설비가 필요하지 않게 된다.

본 발명의 방법 및 장치는 수송해야 하는 가스의 압축을 최적화한다. CNG 저장을 최적화하면 저장용품에 필요한 재료량은 감소하면서 유효 하중이 증가하며, 따라서 수송 효율 증가 및 자본 비용 감소가 달성된다. 수송 대상 가스의 최적화된 압축을 계산하기 위하여, 주어진 압력에서 특정 가스의 표준 상태에 비해 압축 계수는 최소화하고 저장된 가스의 질량 대 용기의 질량의 비는 최대화한다. 전술한 바람직한 실시 형태에서, 수송 대상 가스는 천연 가스이다. 그러나, 본 발명은 천연 가스에 한정되지 않으며 임의의 가스에 적용될 수 있다. 또한, 단위 재료에 대해 저장 가스의 양을 최대화하는 수단은 육상 플랫폼, 해안 플랫폼 또는 해상 플랫폼과 같은 고정식 저장 수단을 위해서도 사용될 수 있다.

어떠한 가스의 경우에도, 그것이 혼합물이라면 압축 계수는 가스의 압축에 따라, 그리고 가스에 부과된 압력 및 온도 조건에 따라 변한다. 본 발명에 따르면, 최적의 조건은 주위의 상태에 비해 온도는 낮추고 압력은 압축 계수를 최소화하는 지점에 유지시킴으로써 발견할 수 있다. 천연 가스의 경우, 이 수송 모드에 대한 압력비는 가스의 조성에 따라 250 내지 400에서 변하는 것이 전형적이다. 수송 대상인 특정 가스에 대해 최적의 압력 온도 조건이 결정되고 나면, 저장 수용 시스템에 필요한 치수를 결정할 수 있다.

가스의 압축을 계산하면 가스가 가능한 최소의 체적을 차지하는 조건이 결정된다. 하기와 같은 기체 상태 방정식이 가스의 주어진 질량(m)에 대한 체적(V)을 결정한다.

$$\text{수학식 1} \\ V = mZRT/P$$

여기서, Z는 압축 계수, T는 온도, R은 특정 기체 상수, P는 압력이다. 주어진 가스 조성에 대해, Z는 온도와 압력의 함수이며, 실험적으로 얻거나 컴퓨터 모델로부터 얻는 것이 보통이다. 상기 방정식으로부터 알 수 있는 바와 같이, 동일 질량의 가스에 대해 Z가 증가하면 V도 증가하며, 따라서 주어진 작동 온도에 대한 Z의 최저값이 필요하다.

또한, 저장 체적은 T와 함께 감소하기 때문에, 필요한 작동 온도도 중요한 요소로 간주된다. 본 발명에 따르면, 극저온 상태는 피해야 하지만 적절하게 낮은 온도는 바람직하다. 온도가 감소하면 금속의 취성은 증가하고 인성은 감소한다. 많은 규정의 코드에서는 안전한 작동을 보장하기 위해 일부 종류의 금속의 사용은 한정된 온도 범위로 제한한다. 통상적인 탄소강은 -20°F까지의 온도에서 널리 사용된다. X-100과 같은 고강도 강(항복 강도가 100,000 psi)은 대략 -60°F까지의 온도에서 널리 사용된다. 기타 고강도 강에는 X-80과 X-60이 포함된다. 저장 수용 시스템을 위한 강을 선택하는 것은 몇 가지 설계 계수에 좌우되는데, 그러한 설계 계수에는 가스에 대한 설계 온도 및 압력에서의 샤르피(Charpy) 강도, 인성 및 최종 항복 강도가 포함되지만, 이들에 한정되지는 않는다. 물론, 저장 수용 시스템은 특정 용도에 적용되는 상기 설계 계수에 대

한 코드 요건을 충족시켜야 한다. 예를 들면, 저장 수용 시스템에 있어서 최대 응력 수준은 재료의 최종 인장 강도의 1/3 또는 항복 강도의 1/2 중 낮은 값이다. X-80 강 및 X-60 강의 항복 강도의 1/2은 이들의 항복 강도의 1/3 미만이므로, 이들 고강도 강이 X-100 강보다 바람직하다.

예를 들면, 저장 수용 시스템에 X-80 또는 X-60 고강도 강을 사용한다고 가정하면, 가스 저장 시스템의 바람직한 실시 형태에 적절한 안전율을 제공하기 위해 바람직한 가스 저장 수용 시스템의 보다 낮은 온도는 -20°F일 수 있지만, 필요한 안전율 및 사용되는 재료의 형태에 따라 온도를 더 낮게 할 수도 있다. 예컨대, X-100과 같은 특제 고강도 강을 사용하고 안전율이 더 작다면 보다 낮은 온도를 -40°F로 할 수 있다.

이하에서는 비중 0.6을 포함한 특정 조성의 가스에 대한 본 발명의 한 가지 바람직한 실시 형태를 설명한다. X-100 고강도 강을 저장 수용 시스템으로 사용하며, 바람직한 저장 수용 시스템은 예정된 안전율을 제공하기 위해 보다 낮은 온도가 -20°F이다. 도 1은 비중이 0.6인 가스에 대한 압축 계수(Z) 대 가스 압력의 그래프이다. 비중이 0.6인 이 가스는 주성분이 메탄이고 다른 탄화수소를 소량 포함하는 조성의 건조 가스 저장 용기로부터 얻은 것이다. Z 값은 이 목적을 위해 개발된 미국 가스 협회(AGA) 컴퓨터 프로그램으로부터 얻은 것이다. 저장용품의 설계 온도를 -20°F로 한 경우에 적용된 AGA의 방법론이 도 3에 제시되어 있다. 도 3을 참조하면, 비중이 0.6인 경우에 Z의 최저치는 -20°F에서 대략 1840 psia에서 발생한다는 것을 알 수 있다. 전술한 수학적 식 1에 기초하면, 이 가스를 저장하기 위한 최소 체적은 저장용품이 적어도 1840 psia를 견디도록, 그리고 적절한 안전율을 추가하여 설계함으로써 얻는다. 이러한 조건으로부터, 표준 상태에 있는 가스 체적과 저장 상태에 있는 가스 체적의 압축비가 대략 265가 된다.

다른 가스 조성의 예가 도 2에 예시되어 있는데, 도 2는 비중이 0.7인 가스에 대한 압축 계수(Z) 대 가스 압력의 그래프이다. Z 값은 도 1에서와 동일한 방식으로 얻었다. 도 1 및 도 2에 예시된 가스의 온도는 0°F를 초과하지 않는다. 도 3은 온도가 0°F 미만으로 하강할 때 비중이 0.6 및 0.7인 가스에 대한 압축 계수를 도시한 것이다. 도 3에서 비중이 0.7인 가스의 경우에 Z 대 P를 살펴보면, Z의 최소치는 0.403이며 -20°F에서 1350 psia 부근에서 발견된다. 따라서, 비중이 0.7인 가스의 경우 저장용품은 적어도 1350 psia에 대해, 그리고 임의의 적용 가능한 안전율을 더하여 설계된다. 이러한 조건으로부터 압축비가 대략 268이 된다. 또한, 도 3에는 가스 온도가 더욱 낮은 온도로 하강함에 따라 어떻게 압축률이 증가하는지가 도시되어 있다. 가스의 비중이 0.7일 때 -30°F에서 Z의 최소치는 대략 1250 psia에서 0.36이다. 동일한 가스일 때, -40°F에서 Z 값은 1250 psia에서 0.33으로 감소한다. 압력이 1250 psia보다 낮고 온도가 -40°F이면 비중 0.7의 가스에서 액체가 떨어져 나오기 시작하며, 그 가스는 더 이상 고밀도 상 가스가 아니다.

본 발명의 주된 목적 및 잇점은 가스 저장 시스템의 효율을 상승시키는 것이다. 구체적으로는, 저장 가스의 질량 대 저장 시스템의 질량의 비를 최대화하는 것이다. 도 3a에는 여러 온도에 있어서 가스가 저장되는 압력과 시스템 효율 간의 관계가 도시되어 있다. 도 3a로부터, 주어진 압력에서 가스의 온도가 하강하면 저장 시스템의 효율이 향상된다는 것을 알 수 있다. 비록 본 발명의 시스템은 효율이 최대화되는 지점 31에서 작동하는 것이 바람직하지만, 이것이 모든 경우에 실현될 수는 없다는 것을 이해해야 한다. 따라서, 도 3a에 선 32와 선 34로 표시된 것과 같은 일정한 효율 범위 내에서 본 발명의 시스템을 작동시키는 것도 바람직하다. 그리고, 본 발명의 시스템을 0.3을 초과하는 효율로 작동시키는 것도 바람직하다.

계속 도 3a를 참조하면, 본 발명의 한 가지 실시 형태에 대한 바람직한 작동 파라미터가 곡선 36으로 도시되어 있다. 이 곡선은 -20°C에서 저장되는 특정 조성의 가스를 나타낸다. 가스의 조성이 변하면 곡선도 달라진다는 것을 이해할 것이다. 비록 나타낸 범위 내의 임의의 압력에서 가스를 저장할 수 있고, 그렇게 하는 것이 종래 기술에 비해 유리하지만, 곡선 32와 34로 정의되는 범위 내의 압력에서 가스를 저장하는 것이 바람직하다. 따라서, 본 발명의 이 실시 형태에 따라 구성된 저장 시스템은 이 범위로 정의된 임의의 압력에서, 보통은 1100 psi 내지 2300 psi에서, 그리고 -20°C에서 가스를 저장할 수 있어야 한다.

가스 유효 중량을 최적화하기 위한 방법은 1) 적절한 안전율을 고려하여 저장 시스템의 최저 온도를 선택하는 것과, 2) 그 온도에서 처리 대상인 특정 조성 가스의 압축을 위한 최적 조건을 결정하는 것과, 3) 선택된 온도 및 압력에 맞게 파이프와 같은 적절한 가스 용기를 설계하는 것, 즉 파이프 강도와 벽 두께를 선택하는 것을 포함한다.

본 발명의 시스템은 조성이 알려져 있고 일정한 가스를 저장하고 수송하는 데에 이용하는 것이 바람직하다. 그렇게 되면 본 발명의 시스템이 특정 가스에 완벽하게 최적화하여 사용될 수 있고, 항상 최고 효율에서 작동할 수 있다. 특정 가스 공급원에 있어서 가스의 조성은 시간에 따라 약간 변할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 마찬가지로, 본 발명의 가스 저장 및 수송 시스템은 비중이 다양하고 조성이 변하는 가스를 생산하는 다수의 공급원에 사용할 수 있다.

본 발명은 그러한 변형례들을 포함한다. 도 3은 비중이 각각 0.6 및 0.7인 가스의 20°F 곡선이다. 비중이 0.7인 가스의 Z 값에 있어서, 20°F에서 대략 1200 psia 내지 1500 psia의 압력 범위에 대한 Z의 변동은 2% 미만이다. 비중이 0.7인 가스

는 30°F에서 대략 1150 psia 내지 1350 psia로부터 2%의 변동을 유지하고, -40°F에서는 1250 psia 내지 1350 psia로부터 동일한 변동을 유지한다. 따라서, 시스템 온도에 따라서, 저장용품의 설계는 압축 계수가 최소화되거나 전술한 2% 변동 내에 있는 압력 범위에 걸쳐 최적의 상태라고 간주할 수 있다. 이 변동 범위 내에서 작동하는 것이 바람직하지만, 상황에 따라서는 다른 저장 상태가 유용할 수도 있다.

비록 본 발명의 시스템을 특정 조성의 가스에 대해 사용하는 경우를 참조하겠지만, 그러한 특정 조성은 공급원으로부터 실제로 생산되는 조성이 아닐 수 있으며, 특정 조성의 가스에 사용하기 위해 설계된 시스템은 그 특정 조성의 가스에만 사용하는 것에 한정되지 않는다는 것을 이해해야 한다. 예를 들면, 온도를 약간 하강시키면, 농도가 높은 가스에 최적화된 수용 시스템에 농도가 상대적으로 낮은 가스를 상업적인 분량으로 저장할 수 있다.

가스 저장 용기에 있어서, 바람직한 실시 형태는 항복 강도가 적어도 60,000 psi인 고강도 강, 즉 X-60 강을 사용한다. 저장 용기는 강 파이프인 것이 바람직하지만 다른 재료도 사용할 수 있으며, 그 다른 재료에는 니켈 합금 및 복합 재료, 특히 탄소 섬유 강화 복합재가 포함되지만 이들에 한정되지 않는다. 파이프의 직경은 임의로 할 수 있지만, 직경을 크게 하면 주어진 용량의 시스템에 필요한 가스 용기의 수와 필요한 밸브 및 매니폴드 설비의 양이 감소하기 때문에 바람직하다. 또한, 파이프의 직경이 크면 파손된 구역에 내부 슬리브를 부착하는 것 같은 내부 접근 방법으로 보수를 실시할 수 있다. 그리고, 파이프의 직경이 크면 부식 또는 침식 여유를 포함시킬 수 있어서, 저장 효율에 주는 영향을 최소화하면서 저장 용기의 사용 기간을 연장할 수 있다. 한편, 파이프의 직경이 매우 크면 필요한 벽 두께가 증가하며 제작 중에 붕괴 및 파손 위험성이 커진다. 따라서, 파이프의 직경은 전술한 사항들과 이용성 및 조달 비용의 균형을 고려하여 선택하는 것이 바람직하다. 본 발명의 한 가지 실시 형태에 따르면 파이프 직경을 36인치로 한다.

바람직한 파이프는 대량 생산된 파이프이며, 적절한 관계 당국에서 발표한 적용 가능한 기준에 따라 품질을 제어한다. 몇몇 관계 당국과 관련된 앞선 논의에 따르면, 비록 해상 수송 용례에서 가스 용기로 사용하는 파이프와 관련하여 적용 가능한 기준 코드나 규정은 존재하지 않지만, 최대 설계 응력을 항복 강도의 0.5와 최종 인장 강도의 0.33 중 낮은 것으로 하는 것이 적절하다. 몇몇 종래 기술 방법에서 사용되는 보통의 특수 제작된 저장 탱크 구조에서는 최대 설계 응력을 항복 강도의 0.25로 해야한다는 점을 감안하면, 이는 종래 기술에 비해 크게 개선된 것이다. 설계 계수가 0.5라는 것은 구조체를 필요한 강도의 2배로 설계해야 한다는 뜻이고, 설계 계수가 0.25라는 것은 구조체를 필요한 강도의 4배로 설계해야 한다는 뜻이다. 따라서, 본 발명은 강을 적게 사용하면서 규정과 안전 요건을 충족시킬 수 있으며, 따라서 자본 비용을 크게 줄일 수 있다. 본 발명의 또 다른 잇점은 대량 생산된 고급 파이프에 내재되어 있는 품질 제어 수준 및 안전율이다.

바람직한 실시 형태는 목표 저장 압력에서 가스를 고밀도 상으로 유지할 수 있는 가스 온도가 -20°F인 경우에 대해 설계된다. 전술한 바와 같이, -20°F까지의 온도에서는 표준 탄소강이 널리 사용되고, 고급 파이프에 사용되는 고강도 강은 -60°F까지의 온도에서 사용할 수 있다. 이는 가스 저장 시스템의 작동 온도에 넓은 안전율을 줄 뿐만 아니라, 설계 온도 미만의 온도에서 사용할 수 있는 용통성도 다소 부여한다. 또 다른 고려 사항으로서, Z 값에 기여하는 보다 무거운 탄화수소는 가스가 -20°F로 냉각될 때 떨어져 나오지 않는데, 왜냐하면 가스가 "초임계" 상태, 즉 고밀도 상에 있기 때문이다. 일단 가스가 대략 1000 psia로 감압되면 천연 가스에 분리된 상이 생기지 않는다. 만약 경계적 가치가 더 클 수 있는 에탄, 프로판 및 부탄과 같은 보다 무거운 탄화수소를 수집해야 한다면, 가스를 선박에서 내릴 때 제1 가스 저장 시스템 외부에서 분리된 상이 생기게 할 수 있지만, 저장 및 수송 중에는 바람직하지 않다.

전술한 바와 같이, 바람직한 실시 형태는 파이프에 고강도 강, 즉 항복 강도가 적어도 60,000 psi인 강을 사용하며, 이하의 계산식은 항복 응력의 0.5인 설계 계수가 제어한다고 가정한다. 이하의 계산식은 파이프의 바람직한 벽 두께를 계산하기 위한 것이다.

먼저, 지지 구조, 단열, 냉동, 추진 등을 위한 기타 구성품에 상관없이 가스 수용 파이프의 질량에 대해 운반되는 가스의 질량을 최대화한다. 단위 길이당 파이프에 수용되는 가스의 질량( $m_g$ )은 다음과 같다.

$$\text{수학식 2}$$

$$m_g = \frac{p_g V_g}{ZRT_g}$$

여기서,  $p_g$ 는 가스 압력,  $V_g$ 는 용기의 체적,  $Z$ 는 압축 계수,  $R$ 은 기체 상수,  $T_g$ 는 온도이다. 이 가스 질량은 단위 피트 길이의 파이프에 수용되며, 그 파이프의 직경( $D_i$ )은 다음 식으로 주어진다.

수학식 3

$$\frac{m_g}{\text{단위피트의파이프}} = \frac{p_g}{ZRT_g} \frac{\pi D_i^2}{4}$$

가스의 질량 대 저장 용기의 질량의 비( $m_g/m_s$ )로 정의되는 저장 시스템의 효율을 최대화하기 위해서는 파이프가 가능한 한 가벼워야 한다. 벽이 얇은 원통의 후프 응력은 하기 식으로 정의된다.

수학식 4

$$P = \frac{2SF}{D_i} \frac{D_o - D_i}{2}$$

여기서, S는 파이프 재료의 항복 강도, F는 ASME B31.8 Code의 표 841.114A에서 얻은 설계 계수(이 경우에는 0.5로 가정함),  $D_o$ 는 파이프의 외경이다. 따라서, F를 0.5로 하고 수학식 4를 다시 쓰면 파이프의 질량( $m_s$ )은 다음과 같다.

수학식 5

$$m_s = \rho_s \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) = \frac{\rho_s \pi}{2} (D_o + D_i) \left( \frac{D_i P}{S} \right)$$

여기서,  $\rho_s$ 는 파이프 재료의 밀도이다. 수학식 2와 수학식 5를 결합하면 가스의 질량( $m_g$ ) 대 저장 시스템의 질량( $m_s$ )의 비( $\psi$ )는 다음과 같다.

수학식 6

$$\psi = \frac{m_g}{m_s} = \frac{S}{2 \rho_s ZRT_g} \frac{D_i}{(D_o + D_i)}$$

이 함수를 이하의 파라미터 세트에 대해 수치적으로 평가하였다.

[표 1]

|          |                                |                     |
|----------|--------------------------------|---------------------|
| S        | 60 내지 100                      | ksi                 |
| F        | 0.5                            | -                   |
| R        | 96.4 메탄<br>88.91 천연 가스(비중=0.6) | lbf.ft/(lbm.R)      |
| $T_g$    | 439.69                         | R                   |
| $\rho_s$ | 490                            | lbm/ft <sup>3</sup> |

전술한 함수( $\psi$ )는 수치적 평가가 용이하며, 가스에 있어서 세 가지의 상이한 항복 응력치(S)에 대해 도 4에 도시하였다. 분석을 용이하기 하기 위해, 효율 함수( $\psi$ )는 하기와 같이 파이프의 직경 대 두께의 비와 관련하여 분석할 수 있다.

수학식 7

$$\frac{D}{t} = \frac{D_i}{.5(D_o - D_i)}$$

도 4는 가스의 질량 대 파이프 재료의 질량의 비(효율)가 파이프의 직경 대 두께의 비에 따라 어떻게 변하는지를 보여주고 있다. 이 형태의 곡선은 전술한 최적의 D/t 또는 최대 효율( $\psi$ )을 선택할 때 사용된다. 도 4에서 알 수 있듯이, 상이한 항복 응력치에 대한 상이한 D/t에서  $\psi$ 가 최대로 되며, 상이한 항복 응력에 대한 그러한 최대치들이 이하의 표에 제시되어 있다.

[표 2]

| 항복 응력(S) | 메탄  |            | 천연 가스 |            |
|----------|-----|------------|-------|------------|
|          | D/t | $\psi$ 최대치 | D/t   | $\psi$ 최대치 |
| ksi      |     |            |       |            |
| 60       | 30  | 0.152      | 35    | 0.18       |
| 80       | 40  | 0.208      | 46    | 0.25       |
| 100      | 50  | 0.265      | 57    | 0.316      |

S가 증가하면 효율이 급격히 증가하며, 따라서 최대 항복 응력이 예컨대 100,000 psi와 같이 높은 재료를 선택하는 것은 신중해야 한다. 이 항복 응력치의 경우, 최대 효율은 D/t가 대략 50일 때 발생하며, 가스의 경우에는 대략 0.316이고 메탄의 경우에는 0.265이다. 그러나, 이것으로도 파이프를 정확하게 선택할 수는 없다. 하지만, 이용 가능성 또는 기타 고려 사항에 기초하여 D가 정해지면 필요한 벽 두께를 즉시 결정할 수 있다. 예컨대, 직경 D=20인치로 선택하면 벽 두께는 0.375 인치가 되어야 한다. 이는 표준 사이즈이므로 쉽게 입수할 수 있다. 이 파이프의 경우, D/t=53.3이고 가스의 질량/강의 질량은 0.315로, 최적의 선택에 가깝다. 이 파이프의 중량은 78.6 lb/ft이고, 가스와 파이프를 합한 중량은 102.79 lb/ft이다. 이 최적 구성에서의 가스 압력은 1840 psi이다. 100 ksi 재료를 입수할 수 없거나, 최종 강도 한계에 대한 표준을 적용할 수 있다면, 재료의 이용 가능성에 기초하여 다른 최적의 D/t를 선택할 수 있지만,  $m_g/m_s$ 의 비는 100 ksi 재료만큼 높지 않을 것이라는 것에 주목하기 바란다. 이 예에서는 직경이 20 인치인 파이프를 사용하였지만, 전술한 36 인치 직경의 파이프와 같이 다른 사이즈도 사용할 수 있다.

상기 예에서는 재료 선택에 있어서의 핵심 요소로 최대 항복 응력을 사용하였지만, 적절한 코드와 규정을 고려하면 다른 재료 특성과 설계 계수도 중요하다는 것을 이해해야 한다. 예를 들면, 전술한 바와 같이 일부 관계 당국에서는 최대 주응력이 재료의 최종 인장 강도의 0.33을 초과하지 않을 것을 요구하며, 그러면 최종 인장 응력이 핵심 선택 요소가 된다. 또한, 관계 당국은 저온에서 사용할 때, 샤르피 V 노치 충격 시험으로 결정되는 것이 전형적인 재료의 몇 가지 인성 특성을 요구하며, 따라서 재료의 저온 성능이 중요해진다. 그리고, 자중으로 인한 굽힘과 선박의 굴곡 및 열 응력 때문에 응력이 추가 발생할 수 있으며, 비록 그러한 응력이 전술한 계산의 기초가 되는 후프 응력과 직교하지만, 이들 응력도 특정 용례에 따라서는 중요한 설계 고려 사항일 수 있다.

적절한 가스 용기 및 저장 시스템을 선택할 때 다른 설계 고려 사항들도 고려할 수 있다. 예컨대, ASME B31.8 Code, Section 841.11c에 따르면, 작동 응력이 특정 최소 항복 응력의 40%를 초과하기 때문에, 선택된 재료에 크랙 전파 및 제어 분석을 실시해서, 파이프에 적절한 연성을 부여하고 및/또는 기계적인 크랙 저지부를 제공해야 한다. 파이프 지지체가 크랙 저지부 역할을 하도록 두 배로 설계할 수 있다는 것에 주목하기 바란다. 또한, 지금까지의 계산은 가스 및 그것을 수용하는 파이프에만 관련되어 있었다. 그러나, 파이프는 구조 프레임에 이루며 적층되어야 하고 선박 상에 배치되어야 한다. 가스를 싣고 내리기 위한 매니폴드, 펌프, 밸브, 제어부 등이 마련되어야 하며, 가스를 저온으로 냉각하고 유지하기 위한 단열 시스템 및 냉각 시스템이 마련되어야 한다. 또한, 가스 용기로서 사용되는 파이프는 다른 가스 용기 및 추가 설비에서 생기는 하중을 견딜 수 있어야 한다.

바람직한 실시 형태는 직경이 36 인치이고 D/t 비가 50인 파이프를 포함한다. 일단 직경과 D/t 비가 선택되고 나면 벽 두께가 결정된다. 물론, 가스의 압축 계수는 D/t 비의 계산에 포함되어 있다. 따라서, -20°F에서 특정 조성을 갖는 가스에 대한 설계에 있어서, 상태 방정식으로부터 압축 가스에 대한 바람직한 압력을 계산한다. 그 압력을 알면 최선의 압축 계수를 얻게 된다. 따라서, 파이프는 -20°F에서 이 최적 압축 계수를 위해 설계된다. 그 후, 압력을 아는 상태에서, 압력과 벽 두께의 방정식을 이용하여 주어진 직경에서의 벽 두께를 계산한다.

이렇게, 가스의 특정 조성을 고려하여 -20°F에서 견디어야 하는 압력에 대해 파이프를 설계한다. 그러나, Z 계수가 최적치인 곡선 상에 비교적 편평한 구역이 있다. 따라서, 도 3에 도시된 바와 같이, 비중이 0.7인 가스의 경우 압축 계수에 큰 변동 없이 설계 압력이 대략 1,200 psia 내지 1,500 psia일 수 있다. 이 때문에, 본 발명의 가스 저장 시스템으로 효율적으로 수송할 수 있는 가스의 조성에 융통성이 생긴다.

가스 저장 용기의 생산 및 제작 비용 때문에, 그리고 시스템 전체의 중량에 대한 고려 때문에, 가스 용기 설계를 최적화하는 것이 바람직하다. 만약 가스 용기가 -20°F에서의 가스 조성을 위해 설계되지 않으면, 가스 용기가 과도하게 설계되어 지나치게 비싸지거나, 필요한 압력에 대해서 부족하게 설계될 수 있다. 바람직한 실시 형태는 가스의 최적 압축률의 효율을 달성하기 위해 가스 용기 설계를 최적화한다. 효율은 가스의 중량 대 가스 용기 제조에 사용되는 파이프의 중량으로 정의된다. 바람직한 실시 형태에 따르면, 가스의 비중이 0.7인 경우 항복 강도가 100,000 psi인 파이프 재료를 사용할 때 효율이 0.53이 되도록 할 수 있다. 따라서, 용기의 중량이 파이프의 중량의 절반을 초과한다.

주어진 직경의 파이프에 대한 최적의 벽 두께는 쉽게 입수할 수 있는 파이프의 벽 두께와 일치할 수도 있고 일치하지 않을 수도 있다. 따라서, 주어진 직경에서 파이프의 다음 표준 두께를 위한 파이프 사이즈를 선택한다. 그러면 효율이 다소 낮아질 수 있다. 물론, 그 대안은 효율을 최적화하기 위해 파이프를 특정 사양, 즉 특정 조성의 천연 가스에 대한 파이프의 비용에 따라 제조하는 것이다. 만약, 여러 척의 선박을 공급하기 위해 필요한 파이프 양이 특수한 파이프를 경제적으로 제조할 수 있을 정도로 충분하다면, 파이프를 사양에 따라 제조하는 것이 비용 효율적일 수 있다.

전술한 식들을 사용하여, 결정된 상태에서 가스를 저장하기 위한 파이프의 벽 두께를 계산할 수 있다. 직경이 20 인치이고 항복 강도가 80,000 psi인 파이프를 사용하여 비중이 0.6인 가스를 1825 psia에서 저장하기 위해서는, 벽 두께가 0.43 인치 내지 0.44 인치의 범위에 있어야 하며, 0.436 인치인 것이 바람직하다. 파이프의 직경이 24 인치이면 벽 두께가 0.52 인치 내지 0.53 인치의 범위에 있으며, 0.524 인치인 것이 바람직하다. 직경이 36 인치인 파이프의 경우, 벽 두께는 0.78 인치 내지 0.79 인치의 범위에 있으며, 0.785 인치인 것이 바람직하다.

직경이 20 인치이고 항복 강도가 80,000 psi인 파이프를 사용하여 비중이 0.7인 가스를 1335 psia에서 저장하기 위해서는, 벽 두께가 0.32 인치 내지 0.33 인치의 범위에 있어야 하며, 0.323 인치인 것이 바람직하다. 파이프의 직경이 24 인치이면 벽 두께가 0.38 인치 내지 0.39 인치의 범위에 있으며, 0.383 인치인 것이 바람직하다. 직경이 36 인치인 파이프의 경우, 벽 두께는 0.58 인치 내지 0.59 인치의 범위에 있으며, 0.581 인치인 것이 바람직하다.

PB-KBB 보고서(본 명세서에 참고로 인용함)에는 주어진 비중의 가스를 저장하기 위해 파이프 직경과 두께를 계산하기 위한 또 다른 방법이 개시되어 있다. 천연 가스의 비중이 0.6이고 파이프의 직경이 24 인치이며 파이프 재료의 항복 강도가 100,000 psi인 경우, 설계 계수가 0.5일 때의 벽 두께는 0.43 인치 내지 0.44 인치의 범위에 있으며, 0.438 인치인 것이 바람직하며, 파이프의 직경이 20 인치이면 벽 두께는 0.37 인치 내지 0.38 인치의 범위에 있고, 0.375 인치인 것이 바람직하다. 파이프의 직경이 36인치이고 가스의 비중이 0.9이면 벽 두께는 0.48 인치 내지 0.50 인치의 범위에 있으며, 0.486 인치인 것이 바람직하고, 가스의 비중이 0.6이고 파이프 재료의 항복 강도가 100,000 psi이면 0.66 인치 내지 0.67의 범위에 있으며, 0.662 인치인 것이 바람직하다.

전술한 두께의 범위는 필요할 수도 있는 부식 또는 침식 여유를 포함하지 않은 것이다. 부식 및 침식의 효과를 상쇄시켜 저장 용기의 사용 기간을 연장시키기 위해, 저장 용기의 필요한 두께에 부식 또는 침식 여유를 추가할 수 있다.

## 선박 설계 및 제작

CNG와 LNG를 비롯한 천연 가스는 대형 화물선으로 장거리 수송할 수 있다. 본 발명의 한 가지 바람직한 실시 형태에서, 가스 저장 시스템은 새로 제작되는 선박과 통합 제작된다. 선박은 임의의 크기일 수 있는데, 통상적인 해상에서의 고려 사항과 규모의 경제성에 의해 제한된다. 예를 들면, 가스 저장 시스템은 표준 상태, 14.7 psi 및 60°F에서 가스를 3억 내지 10억 표준 입방 피트(BCF) 운반하기 위한 크기로 제작할 수 있다. 이 예의 시스템을 운반하기 위한 크기의 대양 항해 선박은 500 피트 길이의 파이프를 제작된 가스 용기를 포함할 수 있다. 일반적으로, 파이프의 길이는 선박의 길이, 깊이 및 선 폭 간에 적절한 비율을 유지해야 할 필요성 및 화물 크기에 의해 결정된다.

선박에 필요한 파이프의 내부 용적을 결정하기 위해, 알려진 가스 질량, 압축 계수, 기체 상수 및 선택된 압력 및 온도를 사용하여 전술한 수학적 1을 푼다. 예컨대, 바람직한 저장 조건에서, 3억 표준 입방 피트의 가스를 수용하기 위해서는 백십만

입방 피트의 내부 파이프 공간이 필요하다. 파이프 직경이 20 인치이면 선박에 100 마일의 파이프가 필요하다. 파이프의 직경이 36"이면 파이프의 전체 길이는 대략 32 마일이 된다. 본 발명에 따라 제작되는 선박의 바람직한 치수의 한 가지 예로서, 길이는 525 피트, 폭은 105 피트이며 높이는 50 피트이다.

수송해야 하는 특정 가스에 대해 파이프 파라미터들을 결정하고 나면, 전술한 고려 사항들을 참작하여 가스용 차량 또는 선박을 설계하여 제작할 수 있다. 선박은 특정 가스 공급원 또는 생산 지역에 대해 제작하는 것이 바람직한데, 다시 말하면 가스 조성이 특정되어 있고 알려져 있는 지리적 지역에서 생산된 가스를 수송하기 위해 파이프와 선박을 설계한다. 따라서, 각 선박은 특정 가스 조성의 천연 가스를 취급하도록 설계된다.

천연 가스의 조성은 가스를 생산하는 지리적 지역마다 다르다. 순수한 메탄은 비중이 0.55이다. 탄화수소 가스의 비중은 0.8 또는 0.9까지 클 수 있다. 가스의 조성은 특정의 지리적 지역으로부터조차도 시간에 따라 다소 변한다. 전술한 바와 같이, 조성의 작은 변동을 조정하기 위해서 일정 압력 범위에 걸쳐 압축 계수를 최적이라고 간주할 수 있다. 그러나, 어떤 영역에서 특정 압축 계수의 범위를 벗어나는 변동이 있으면, 조성이 특정 선박의 설계 범위에 들게 하기 위하여 보다 무거운 탄화수소를 가스에 첨가하거나 가스에서 제거할 수 있다. 따라서, 생산되는 가스의 특정 조성에 따라 설계한 선박은 가스의 탄화수소 혼합물을 조정함으로써 상업적 유통성을 더 크게 할 수 있다. 생산되는 가스에 보다 무거운 탄화수소를 첨가하여 가스를 농축시킴으로써 비중을 증가시키거나, 생산되는 가스로부터 보다 무거운 탄화수소를 제거함으로써 비중을 감소시킬 수 있다. 또한, 상이한 조성의 상이한 가스 분야에 대해서도 그러한 조정을 실시할 수 있다.

특정 선박이 상이한 비중의 가스를 취급하기 위해서는, 천연 가스에 첨가하기 위한 조정용 탄화수소의 저장 용기를 설비에 유지하여 천연 가스의 조성을 조정함으로써, 그 가스를 특정 조성의 가스를 위해 설계된 특정 선박에 싣기 위해 최적화할 수 있다. 비중을 증가시키기 위해 탄화수소를 첨가할 수 있다. 탄화수소의 저장 용기는 천연 가스를 싣거나 내리는 특정 항구에 위치할 수 있다.

예컨대, 비중이 0.6인 천연 가스를 비중이 0.7인 가스를 위해 설계된 선박에 싣는다고 가정한다. 대략 17 중량%에서 프로판을 얻어 0.6 천연 가스와 혼합하여 농축된 가스를 생성해서 선박에 싣는다. 그 후, 선박에서 가스를 내릴 때, 농축된 가스가 팽창해서 냉각되면 프로판은 액화되기 때문에 떨어져 나온다. 그러면, 프로판을 다시 선박에 넣어 원래 가스를 실은 항구에서 재사용할 수 있다. 비중이 0.6인 천연 가스에 프로판을 첨가하면 천연 가스 수송 용량이 41% 증가한다. 따라서, 프로판을 수송해 가고 오는 것이 비용 효율적으로 이루어질 수 있다. 천연 가스의 비중을 조정하기 위한 프로판의 저장 용기를 마련하는 것이, 비중이 0.6인 천연 가스를 취급하기 위해 새로운 선박을 제작하는 것보다 더욱 비용 효율적일 수 있다. 또한, 시스템의 설계 목적인 최적의 조건과 다른 조건에서 선박을 사용하는 것이 비용 효율적일 수도 있다.

본 발명의 한 가지 바람직한 실시 형태에서는, 압축 천연 가스용 파이프를 선박의 구조 부재로서 이용한다. 상기 파이프는 선박의 선체에 부착되어 있는 격벽에 부착된다. 이는 강성이 매우 큰 구조 설계를 만들어 낸다. 파이프를 구조 부재의 일부로 사용함으로써, 선박에 보통 사용되는 구조용 강의 양이 줄어들어 자본 비용이 감소한다. 파이프 다발은 구부러지기가 매우 힘들기 때문에 선박의 강성이 증가한다. 예비 설계에 따르면, 전체 길이가 500 피트를 넘고 파이프가 통합된 구조로 제작된 선박은 대략 2 인치 또는 3 인치만 편향되는 것으로 나타났다. 굽힘 편향은 파이프와 선박에 마모 및 인열을 발생시키기 때문에 제한하는 것이 바람직하다. 굽힘 편향은 수평 방향 직선으로부터 벗어나는 정도로 정의된다.

이제 도 5, 도 6 및 도 7을 참조하면, 특정 지점에서 선박에 싣기 위한 조성이 알려져 있는 특정 가스를 수송하기 위하여 바람직한 파이프(12)에 맞게 제작된 선박(10)이 도시되어 있다. 예를 들면, 파이프는 직경이 36"이고 벽 두께가 0.486 인치이며, 베네주엘라에서 생산된 비중이 0.7인 천연 가스를 수송하기 위한 것이다. 파이프(12)는 선박(10)의 선체 구조의 일부를 형성하며, 선박(10)의 선체(16)내에 수용된 파이프 다발(14)을 형성하는 긴 파이프를 복수 개 포함한다. 그러나, 본 발명에서 벗어나지 않고 파이프를 다른 형태의 차량 또는 선박에 수용할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 예컨대, 선박은 바지보다 빨리 이동할 수 있기 때문에 바람직하다.

파이프(12)의 각 열(20)을 지지하기 위해 크로스 빔(18)을 사용하며, 이 크로스 빔은 선박(10) 구조의 일부를 형성한다. 크로스 빔(18)은 선박의 빔을 가로질러 연장되어 선체(16)를 구조적으로 지지한다. 파이프 다발(14)과 함께 도 7에 도시된 주변부(22)는 선박(10)의 선체(16)를 나타낸다. 선박(10) 둘레에서 선체(16)를 형성하는 판은 선박(10)에서 고가의 부품이 아니다. 따라서, 크로스 빔(18)을 사용하여 파이프(12)의 개별적인 부분들을 고정하여 선박(10)을 제작한다. 파이프 다발(14)의 횡단면은 선박(10)의 선체(16)의 횡단면과 일치한다. 따라서, 선박(10)의 파이프 다발(14)의 횡단면은, 바지에서와 같이 직사각형이 아닌 삼각형 또는 사다리꼴인 것이 일반적이다. 파이프 다발(14)의 상단부는 선박(10)의 갑판(28) 바로 아래에 위치하기 때문에 편평하다.

도 5에 따르면, 파이프 다발(14)은 선박(10)의 거의 전체 길이에 걸쳐 연장되어 있다. 선박(10)은 기타 표준 선박 부품도 포함한다는 것을 이해해야 한다. 예를 들면, 고물(30)은 선원실과 기관을 포함할 수 있다. 또한, 선박(10)의 이물에는 공간(32)이 있다. 또한, 파이프(12)의 고물 단부(34)와 이물 단부(36) 부근에는, 후술하는 매니폴드 및 밸브 설비와 이들 설비의 조작실을 위한 공간이 있을 수 있다는 것도 이해해야 한다. 선박(10)의 기관을 위한 충분한 공간이 고물에 남아 있기만 하면 된다. 갑판(28)과 조타실(29)이 파이프 다발(14) 위로 연장된다.

크로스 빔(18)은 파이프(12)를 지지할 뿐만 아니라 파이프 다발(14)과 함께 선박(10) 내에서 격벽(40)의 역할도 한다. 바람직한 실시 형태에 있어서, 격벽(40)은 60 피트씩 떨어져 있지만, 이 값은 파이프 중량 및 선박 설계에 따라 변할 수 있다. 따라서, 길이가 500 피트인 파이프를 사용하는 선박(10)에는 격벽(40)이 대략 9개 있게 된다. 본 발명에서의 격벽의 갯수는 미국 해안 경비대의 규정과 일치한다. 격벽(40)은 선박(10) 내의 한 격실(42)로부터 다른 격실(42)로 누출이 생기지 않게 해야 한다. 예컨대, 선박(10)에서 한 쌍의 격벽(40)으로 이루어진 격실(42) 하나가 파손되더라도, 그 격실(42)로부터 다른 격실로 물이 들어가지 않아야 한다. 이렇게 격벽(40)은 선박(10)의 인접한 격실(42)을 밀폐한다.

캡슐화 단열재(24)가 각 격실(42) 내의 파이프 다발(14) 주위를 지나 선박(10)의 선체(16)로 형성된 외벽(26)까지 연장된다. 바닥을 따라 파이프 다발(14) 주위에 단열재가 위치한다. 파이프 다발(14) 전체가 단열재(24)로 둘러싸여 있다. 그러나, 크로스 빔(18)으로 형성된 격벽(40)의 벽을 따라서는 단열재가 위치하지 않는데, 왜냐하면 모든 격실(42)에서 온도가 일정하게 유지되므로 격실(42) 사이를 단열할 필요가 없기 때문이다. 단열이 필요한 것은 수송 중에 가스의 온도 상승을 제한하기 위해서이다. 바람직한 단열재는 폴리우레탄 폼이며, 두께는 계획된 이동 거리에 따라 대략 12-24 인치이다. 그러나, 대양과 인접한 단열재(24)는 열전도가 클 것이므로 두께를 약간 더 크게 해야 할 수 있다. 파이프 다발(14) 전체가 단열재(24)로 둘러싸였을 때의 온도 상승은 1000 마일 이동에 대해 1/2 °F 미만일 수 있다. 따라서, 파이프에 결과적으로 생기는 압력 상승은, 선박(10)의 작동을 위해 저장된 가스에서 사용하는 가스량으로 인한 감소보다 훨씬 작다.

도 7에 도시된 바와 같이, 크로스 빔(18) 사이에 수용된 파이프(12)는 파이프 다발(14)을 형성한다. 도 8에 도시된 바와 같이, 파이프(12)는 크로스 빔(18) 상에 개별적으로 배치되어 파이프 열(20)을 형성한다. 도 8 내지 10에는 크로스 빔(18)의 한 가지 실시 형태가 도시되어 있다. 도 8에 도시된 바닥부 크로스 빔(18a)은 바닥부 또는 상단부를 위한 크로스 빔인 반면, 도 9에는 긴 파이프(12)를 각각 수용하기 위한 상향 안장부(50)와 하향 안장부(52)를 형성하는 아치형 오목부가 교대로 배열되어 있는 전형적인 중간부 크로스 빔(18)이 도시되어 있다. 인접한 안장부(50, 52) 간의 연결을 밀봉하여 격벽(40)의 벽부로 물이 새지 않게 하기 위해, 각 안장부(50, 52)에는 코팅 또는 가스켓(54)이 라이닝되어 있다. 한 가지 실시 형태에서는 가스켓용 재료로서 Teflon™ 슬리브 또는 코팅을 사용한다. 크로스 빔(18)의 편평한 부분(58) 사이를 밀봉하기 위해 가스켓용 재료(56)를 사용할 수 있다는 것도 이해해야 한다. 짝을 이루는 C자형 안장부(50, 52)에 위치하는 파이프(12)는 밀봉된 연결을 형성한다.

크로스 빔(18)은 I 빔인 것이 바람직하다. I 빔을 사용하는 대신, 측면이 편평한 강관으로 형성된 박스 횡단면 형태의 빔을 사용할 수 있다. 이 박스 구조는 2개의 편평한 측면과 편평한 상단부 및 바닥부를 갖는다. 그 후, 박스 구조에서 안장부(50, 52)를 절삭해 낸다. 박스 구조는 I 빔보다 강도가 크다. 그러나, 박스 구조는 더 무겁고 제조가 더 어렵다.

상향 안장부(50)에 개별적인 파이프(12)를 수용시키고, 파이프(12)의 열(20)을 설치한 후, 그 열(20) 위에 다음 크로스 빔(18)을 배치하며, 하향 안장부(52)가 파이프(12)의 상측부를 수용하게 한다. 일단 2개의 인접한 크로스 빔(18)에서 짝을 이루는 C자형의 아치형 안장부(50, 52)에 파이프(12)가 수용되면, 그 크로스 빔(18)을 서로 체결하여 연결시킨다. 도 7 및 10에 도시된 바와 같이 크로스 빔(18)이 적층되어 격벽(40)을 형성하고 있다.

파이프(12)를 크로스 빔(18) 사이에 고정하여 격벽(40)을 형성하는 방법은 두 가지가 있는데, 하나는 파이프(12)를 크로스 빔(18)에 용접하여 전체 다발을 강체로 만드는 것이고, 다른 하나는 인접한 크로스 빔을 볼트로 고정하여 파이프(12)가 격벽(40)을 통해 움직일 수 있게 하는 것이다. 압축 천연 가스를 -20°F의 온도에서 유지해야 하기 때문에 파이프(12)는 30°F의 온도에서 설치한다. 파이프의 길이가 500 피트인 경우, 그 온도차에 대한 변형은 파이프(12)의 중간 부분에서 한쪽 자유 단부까지 대략 1 인치에 불과하다. 따라서, 파이프(12)의 온도가 30°F에서 80°F까지 변하면, 파이프(12)의 중간점에서 자유 단부까지 1 인치 팽창하게 된다.

파이프(12)의 길이에 대한 팽창이 비교적 작으므로, 용접 또는 토크 인가에 있어 팽창은 전혀 문제가 되지 않는다. 따라서, 크로스 빔(18)을 용접함에 있어서, 파이프(12)가 냉각되면 변형이 파이프(12)에 흡수되고 또한 크로스 빔(18)으로 형성된 격벽(40)에 흡수된다. 대안으로서, 파이프(12)를 크로스 빔(18)에 용접하지 않는다면, 파이프(12)를 크로스 부재(18)에 압축 상태로 배치한 후 하향 토크를 인가한다. 크로스 빔(18)을 서로 볼트 체결하여 파이프(12)의 각 부재를 고정시킨다. 그

러면 파이프(12)와 크로스 빔(18)이 사이에 마찰이 있는 상태로 맞물리게 되며, 파이프(12)는 온도에 따라 팽창하고 수축할 수 있게 된다. 비용접식 연결을 위해서는 격벽의 안장부에 마찰 감소 재료가 코팅 또는 삽입된 슬리브로서 존재하여 마찰을 완화시키는 것이 바람직하다. Teflon™ 코팅을 일례로 들 수 있다.

도 11을 참조하면, 파이프 지지 시스템의 다른 실시 형태가 도시되어 있다. 이 실시 형태에서는 파이프(12)의 외측 곡률에 맞도록 강판으로 제조된 스트랩(210)을 사용한다. 이 스트랩(210)은 대략 사인 함수 패턴으로 형성되며, 그 곡률 반경이 상향 및 하향 안장부(50, 52)를 형성하는 파이프(12)의 외경과 대략 동일하여, 파이프(12)가 대체로 나란히 위치하게 된다. 스트랩(210a)은 접촉점(214)에서 인접 스트랩(210b)에 용접되어 구조적 특성이 우수한 상호 체결식 구조를 제공한다. 이 상호 체결식 구조의 한 가지 효과는, 전체 구조(216)의 프와송비가 1에 가깝기 때문에 선체 구조(16)에 인가되는 응력이 수직 방향뿐만 아니라 수평 방향으로도 흡수된다는 것이다. 비록 스트랩(210)을 사용하면 한 층에 들어가는 파이프 수가 적어지지만, 파이프 층 자체는 더욱 조밀해지기 때문에, 층의 수를 증가시킬 수 있어서 시스템의 횡단면 면적당 더 많은 파이프가 포함된다.

스트랩(210)은 파이프(12)와 동일한 재료로 제작하거나, 스트랩을 서로 접촉시키기 위한 용접 또는 기타 부착에 적합한 유사 재료로 제작하는 것이 바람직하다. 스트랩(210)의 바람직한 실시 형태는 두께가 0.6"인 강판으로 제작하고, 각 스트랩의 폭은 2'로 한다. 파이프(210)의 길이가 500'인 구성에서는, 최저 레벨(218)에서 파이프 열당 10개의 스트랩(210)을 사용하며, 파이프 열당 스트랩(210)의 개수는 레벨이 높아질수록 감소하여 맨위 층(220) 바로 아래에서는 최소 6개의 스트랩이 사용된다. 높이에 따라 열당 스트랩(210) 수를 감소하게 하는 것은 스트랩이 지지하는 중량이 그에 따라 감소하기 때문이다. 파이프 사이 간격이 너무 큰 곳에서는 스페이서(239)를 사용할 수도 있다.

이 실시 형태에서는 파이프(12)를 스트랩(210)에 용접하지 않으며 독립적으로 움직일 수 있게 되어 있다. 그러한 움직임 때문에, 파이프(12)와 스트랩(210) 사이의 계면에 저마찰 재료 또는 내식성 재료(211)를 부착하여 마찰을 방지하고 파이프(12)와 스트랩(210)이 매끄럽게 잘 맞도록 한다. 각 파이프가 부양성이 있기 때문에 밀봉된 격실과 추가의 방수 격벽은 불필요하다. 한 층에 누출이 발생하면 차단하는 역할을 하도록 층 사이에 연속 시트 재료를 포함시킬 수 있다. 이 연속 시트는 스트랩(210)에 합체시킬 수 있고, 금속, Kevlar™와 같은 합성 재료, 또는 막 재료로 제작할 수 있다.

스트랩(210)의 단부들은 선박 또는 파이프 다발을 수용하는 용기(도시하지 않았음)에 견고하게 연결하는 것이 바람직하다. 복수 개의 스트랩(210)과, 지지되어 있는 파이프(12)는 선체 구조(16)의 전체적인 강성에 기여한다. 파이프(12) 자체는 스트랩(210)에 용접되지 않기 때문에, 필요에 따라 휘거나 팽창 및 수축할 수 있다. 각 파이프(12)는 선체의 움직임에 응답하여 다른 파이프로부터 독립적으로 움직이는 것이 바람직하다. 그러면, 선체의 신장, 굽힘 및 뒤틀림에 응답하여 각 파이프가 길이 방향으로 움직일 수 있게 된다. 파이프 중량을 지지하는 것은 상호 체결식 벌집 구조를 형성하는 스트랩에 의해, 그리고 파이프의 압축 강도에 의해 이루어진다.

## 매니폴드

도 12를 참조하면, 파이프(12)의 각 단부(64, 66)는 가스를 싣고 내리기 위한 매니폴드 시스템에 연결되어 있다. 파이프의 각 단부(64, 66)는 단부 캡(68, 70)을 각각 포함한다. 도관(72, 74)이 컬럼 매니폴드(76, 78)와 각각 연통하고 있다. 한 가지 바람직한 실시 형태에 따르면, 파이프의 단부(64, 66)는 반구형이고 도관(72, 74)은 층 매니폴드로 연장되는 단부 캡(68, 70)에 각각 연결된다.

파이프(12)의 각 열 또는 층은 파이프의 각 단부에서 층 매니폴드(86, 88)와 연통한다. 층을 이루고 있는 복수 개의 파이프(12)는 파이프(12)의 임의의 구체적인 세트를 포함할 수 있다. 그러한 층은 주로 가스를 싣고 내리기 편하도록 선택된다. 예를 들면, 층 매니폴드 하나가 파이프(12)의 상단 열(20)을 가로질러 연장되어 그 파이프(12)의 상단 열(20)이 한 층을 이루게 할 수 있다. 파이프(12)의 외부 열(20)은 층돌 시에 별도의 층 내로 매니폴드화될 수 있다. 파이프(12)의 바닥 열(20)도 별도의 층 매니폴드에 있을 수 있다. 이렇게 하면 외측 파이프(12)와 바닥 파이프(12)가 차단된다. 다른 파이프 층은 언제든지 예정된 양의 가스를 싣거나 내릴 수 있도록 임의의 개수의 파이프(12)를 포함할 수 있다.

매니폴드 시스템의 한 가지 구성은 파이프(12)의 단부(64, 66)를 각각 가로질러 연장되는 층 매니폴드(86, 88)를 포함할 수 있으며, 이들 층 매니폴드(86, 88)는 가스를 싣고 내리기 위한 선박(10)의 빔을 가로질러 연장되는 수평 방향 마스터 매니폴드(90, 92)와 각각 연통한다. 각 파이프 층은 자체 매니폴드를 구비하며, 모든 컬럼 매니폴드가 가스를 싣고 내리기 위한 마스터 매니폴드(90, 92)와 연통한다.

수평 방향 매니폴드는 선박(10)을 상대적인 평형 상태로 유지한다는 잇점이 있기 때문에 선호된다. 마스터 매니폴드(90, 92) 중 하나는 선박(10)의 고물에 있고 나머지 하나는 이물에 있는 것이 배관을 간단하게 하고 공간을 절약하는 데에 바람직하다. 모든 매니폴드를 선박(10)의 한쪽 단부에 있게 하는 것은 더 복잡하다. 마스터 매니폴드(90, 92) 중 하나는 압축 가스를 내리기 위해 도입하는 배출용 유체를 위해 사용하고, 나머지 하나는 압축 가스를 내리기 위한 유출용 매니폴드로서 사용한다. 수평 방향 마스터 매니폴드(90, 92)는 선박(10)을 가로질러 연장되는 주 매니폴드이다. 마스터 매니폴드(90, 92)는 가스를 싣고 내리기 위해 해안 시스템에 부착된다. 마스터 매니폴드(90, 92)의 단부에는 마스터 밸브(91, 93)가 마련되어 선박(10)으로 들어오고 나가는 흐름을 조절한다.

## 제작 방법

본 발명에 따라 제작되는 시스템은 여러 방법으로 제작될 수 있는데, 파이프 저장 시스템의 바람직한 제작 방법들을 예시하기 위해 그 중 몇 가지를 이하에서 설명한다. CNG용 저장 시스템을 운반하도록 새로운 선박을 특수 제작할 수 있다. 이 실시 형태에서는 CNG 시스템이 선박의 구조 및 안정성에 통합되어 있다. 대안으로서, 자신을 운반하는 선박과는 독립적으로 작동하는 모듈형 시스템으로서 CNG 시스템을 제작할 수 있다. 또 다른 실시 형태에서는 구식 선박을 CNG 수송용으로 사용하기 위해 개조할 수 있는데, 이 때 CNG 저장 시스템의 구조는 선박 구조에 통합된 구성 요소일 수도 있고 아닐 수도 있다.

도 5 내지 도 7을 참조하면, 새로운 선박(10)을 제작함에 있어서는, 선체(16)를 드라이 도크에 두고, 도 7에 도시한 격벽(40b)와 같은 각 격벽(40)용의 기관(62)을 구비한 바닥 선체(16)에 기초 구조(60)를 설치한다. 그 후, 기관(62) 위에 격벽(40b)의 나머지를 제작한다. 다음으로, 도 8에 도시된 것과 같은 바닥 빔(18a) 또는 도 11에 도시된 것과 같은 스트랩(210)을, 동시에 제작되는 격벽(40)의 각 기관(62)에 배치한 후 고정한다. 바닥의 크로스 빔(18a) 또는 스트랩(210)의 최초 세트가 기초 격벽 구조(60) 위에 배치되고 나면, 개별적으로 완성된 긴 파이프(12)를 크레인을 사용해 하강시켜 빔(18) 또는 스트랩(210)에 형성된 상향 안장부(50) 내에 배치한다. 파이프(12)의 전체 최초 열(20)이 바닥의 크로스 빔(18a) 또는 스트랩(210)의 최초 세트에 배치되고 나면, 도 9에 도시된 것과 같은 크로스 빔(18) 세트 또는 스트랩(210)을 파이프(12)의 최초 열(20) 위에 배치하고 설치하는데, 하향 안장부(52)가 열(20) 중의 개별 파이프(12)를 수용하여, 이전에 배치된 긴 각각의 파이프(12)를 2개의 크로스 빔(18, 18a) 또는 스트랩(210) 사이에 고정시킨다. 그 후, 인접한 크로스 빔(18, 18a) 또는 스트랩(210)을 용접하거나 볼트로 체결한다.

적재 온도가  $-20^{\circ}\text{F}$ 이고 예상되는 주위 외부 온도가  $80^{\circ}\text{F}$ 라고 가정할 때, 파이프(12)의 온도가  $30^{\circ}\text{F}$ 인 동안에 파이프(12)를 격벽(40)에 설치하는 것이 바람직하다. 온도가 이미  $30^{\circ}\text{F}$ 이고 파이프를 냉각할 필요가 없는 위치에서 선박(10)을 제작하지 않는다면, 파이프가 크로스 빔(18) 또는 스트랩(210) 내에 있을 때, 하지만 선박(10) 내의 위치에 고정되기 전에 각 파이프(12)에 냉각제를 통과시켜 파이프(12)를 냉각한다. 파이프를 대략  $30^{\circ}\text{F}$ 로 냉각하기 위해 질소를 냉각제로 사용할 수 있다. 그러면, 파이프(12)가 격벽(40) 내에 설치되었을 때 파이프(12)의 온도가  $30^{\circ}\text{F}$ 로 되어, 선박(10)의 온도가  $-20^{\circ}\text{F}$ 에서, 가능하다면  $80^{\circ}\text{F}$ 까지의 범위에 있을 때 파이프(12)의 팽창 또는 수축이 1 인치로 제한된다.

파이프(12)의 모든 부분이 선박(10) 내에 수평 방향으로 배치되고 격벽(40)이 모두 형성될 때까지, 크로스 빔(18) 또는 스트랩(210) 및 파이프(12)의 열(20)을 선박(10)의 선체(16) 내에 연속적으로 배치한다. 파이프(12)가 선박(10) 내부에 배치된 후, 각각의 긴 파이프(12)를 크로스 빔(18) 또는 스트랩(210)에 부착한다. 통상적인 설계의 경우에는, 길이가 대략 500 피트인 파이프(12)가 대략 500개 선박(10) 내에 배치될 것으로 예상된다.

이 500 피트 길이의 파이프(12)는, 파이프 제조 공장에서 파이프를 플랜트 머신을 사용하여 500 피트 길이로 용접하는 것이 바람직하다. 이것이 바람직한 이유는 공장에서의 용접 품질이 야외에서 용접하는 경우보다 양호하기 때문이다. 또한, 파이프(12)를 선박(10) 제작 장소로 운반하기 전에 제조 공장에서 파이프(12)를 시험한다. 파이프(12)는 트롤리로 운반한 후, 파이프(12)의 개별 부재들을 선박(10)의 선체(16)에 장착된 크로스 빔(18) 또는 스트랩(210)의 안장부(50) 내에 설치한다. 각 열(20)을 파이프(12)로 각각 채우고 크로스 빔(18) 또는 스트랩(210)을 배치하는데, 선박(10)이 대략 30 마일의 36" 직경 파이프를 완전히 채 때까지 계속한다. 파이프가 설치되고 나면, 파이프 다발(14) 위에 나머지 선체와 갑판(28)을 제작하여 격실(42)을 둘러싼다.

도 13 내지 도 14를 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시 형태는 선박(10)의 선체 구조(16)의 일부가 아닌 독립식 모듈형 유닛(230)으로서 제작된 가스 저장 시스템을 포함한다. 바람직한 모듈형 유닛(230)은 파이프 다발(231)을 형성하는 복수 개의 파이프(232)를 포함하며, 이들 파이프(232)는 대체로 서로 평행하고 적층되어 층을 이루고 있다. 파이프(232)는 스트랩(210)과 같은 파이프 지지 시스템에 의해 제자리에 고정되며, 스트랩(210)은 파이프 다발(231) 주위에 박스형 엔클로저를 형성하는 프레임(238)에 단부가 연결되어 있고, 파이프(232)의 각 단부에 연결된, 도 12에 도시된 것과 유사한 매니폴

드(233)를 구비한다. 도 8 및 도 9의 크로스 빔(18)을 파이프 지지 시스템으로도 사용할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 엔클로저(238)는 파이프 다발(281)을 주위로부터 격리시키고 파이프 설비 및 파이프 지지 시스템을 구조적으로 지지한다. 엔클로저(238)에는 단열재(234)가 라이닝되어 있어 파이프 다발(231)을 완전히 둘러싸며, 질소 분위기(236)로 채워져 있다. 파이프(232) 및 저장 가스의 온도를 적절하게 유지하기 위해 질소를 순환 및 냉각시킬 수 있다. 갑판 상에 저장되는 경우에는, 구성 요소로부터 보호하고 단열하는 역할을 하며 질소로 팽창시킬 수 있는 반강성의 다층막 또는 가요성의 절연 패널 스킨으로 엔클로저를 포위할 수 있다.

모듈형 유닛(230)의 크기 및 설계는 그것의 수송에 사용되는 차량에 의해 주로 결정된다. 본 발명의 한 가지 바람직한 실시 형태에 따르면, 모듈형 유닛(230)은 화물선의 갑판 상에서 수송된다. 이 용도로 사용되는 모듈형 유닛(230)은 36" 직경의 파이프가 옆쪽으로 36개 배열되고 위쪽으로 10개 적층되어 구성된다. 각 파이프는 길이가 500'이며 모두 34 마일의 파이프가 된다.

변형례에 따르면, 전술한 모듈형 유닛(230)은 수직 방향으로 배향된 파이프로 제작될 수 있다.

도 15에는 모듈형 유닛(230)을 수직 배향으로 사용하는 예가 도시되어 있다. 구조의 높이가 증가할수록 안정성 문제가 커지기 때문에 모듈형 유닛(230)의 높이는 제한된다. 높이는 250'로 하는 것이 적절하다고 생각된다. 또한, 수직 모듈형 유닛(230)은 그 유닛을 통합적으로 싣고 내릴 수 있도록 서로에 대해, 그리고 선박에 대해 독립적으로 되도록 제작할 수 있다. 도 16에는, 후술하는 바와 같이 가스를 내리는 것을 돕기 위해 경사 배향으로 되어 있는 모듈형 유닛(230)이 도시되어 있다. 수평 또는 수직 배향과 같은 바람직한 배향으로 모듈형 유닛(230)을 선박의 선체 내에 및/또는 선박의 갑판 상에 배치할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 품질 유지 및 비용 절감을 위해서는 조선소가 아닌 환경 또는 제강소의 제어된 상태에서 파이프를 가능한 한 길게 제작하는 것이 바람직하다.

비록 본 발명의 가스 저장 시스템이 새로운 선박의 일부인 것이 바람직하지만, 기존 선박에 가스 저장 시스템을 사용할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 현재, 석유 및 화학 물질의 유출을 방지하기 위해 선박의 선체를 이중으로 해야 한다는 요건이 있다. 오늘날 많은 선박이 단일 선체로 되어 있다. 상기 이중 선체 요건 때문에 단일 선체 유조선이 퇴출되어 가까운 미래에 이중 선체 선박이 단일 선체 선박을 대체할 것으로 생각된다. 본 발명의 바람직한 실시 형태에서는 선박이 이중 선체를 구비할 필요가 없는데, 왜냐하면 가스용 저장 파이프가 선박의 단일 선체 외에 보호 역할을 하는 제2 선체로 간주되기 때문이다. 각 파이프는 저장된 가스에 대한 또 다른 선체 또는 격벽으로 간주된다. 따라서, 선박에 이중 선체를 갖출 필요가 없다. 그러므로, 구식의 단일 선체 선박을 개조하여 본 발명의 바람직한 실시 형태에 사용함으로써 이중 선체 요건을 충족시킬 수 있다. 구식 선박의 재사용에 대해서는 "갑판 위 유효 하중의 지지를 위한 선박의 재사용"이라는 제목의 미국 특허 출원 제09/801,146호(이 출원의 내용을 본 명세서에 참고로 인용함)에 기재되어 있다.

구식 선박을 CNG 수송에 사용할 때의 염려의 한 가지는, 본 발명의 가스 저장 시스템이 가스로 완전히 채워졌을 때에도 매우 가볍다는 것이다. 사실, 본 발명의 바람직한 실시 형태의 파이프는 완전히 채워진 상태에서 물 위에 뜬다. 저장 시스템의 중량은 선박의 필요한 흘수를 얻기에 불충분할 수 있다. 선박의 안정성을 위해서, 그리고 프로펠러가 수면에서 적절한 깊이에 위치하게 하기 위해서는 충분한 흘수가 필요하다.

선박의 흘수를 증가시키는 한 가지 방법은 밸러스트를 추가하는 것이다. 도 17 및 도 20에는 가스 저장 유닛(241)이 선체 내에 배치되어 있는 선박(240)의 횡단면이 도시되어 있다. 가스 저장 유닛(241) 주위에 추가 밸러스트(242)가 배치되어 있다. 화물의 중량이 증가하면 밸러스트가 적게 필요하다. 도 19 및 도 20을 참조하면, 밸러스트의 필요량을 감소시키기 위해 추가의 모듈형 저장 유닛(243)을 선박(240)의 갑판에 배치할 수 있다. 도 20a에 도시된 바와 같이, 모듈형 유닛(243)은 내릴 때의 편의를 위해 경사져 있다.

도 21, 도 20 및 도 23을 참조하면, 선체부가 콘크리트로 제작된 기존의 선박 구성품을 이용하는 선박의 또 다른 실시 형태가 도시되어 있다. 도 21, 도 20을 참조하면, 선체(244)의 화물칸은 강화 콘크리트로 제작되어 있고, 강으로 제조된 이물칸(245) 및 고물칸(246)에 연결되어 있다. CNG 운반 파이프는 콘크리트 화물칸 내에 제작될 수 있다. 콘크리트 선체(244)는 필요한 밸러스트 양을 감소시키고, 내식성이 있으며, 저렴하게 제작할 수 있다. 도 23에는 원형 횡단면의 또 다른 선체(245)가 도시되어 있다.

도 21 또는 도 23의 선체 형상 중 어느 것도 미끄럼 성형 콘크리트 제작 기법(slip-forming concrete construction technique)으로 제조할 수 있다. 이 미끄럼 성형 기법에서는 한 번에 선체의 작은 부분만이 제작된다. 어떤 부분이 완성되면 콘크리트 주형을 들어올리고, 그 부분 위에 다른 작은 부분을 만든다. 이 형태의 제작은 피오르드와 같이 차가운 물이 있는 장소에서 행하는 것이 보통이며, 콘크리트 구조는 제작되면 물속으로 압출한다.

선박의 평형 상태와 출수를 조절하기 위해 밸러스트를 선박 내로 밀어넣을 수 있도록 선박의 콘크리트 부분은 부분(249, 251)과 함께 제작하는 것이 바람직하다. 콘크리트 부분 내의 CNG 파이프(247)는 가압되면 팽창하기 때문에 구조에 포스트 인장식 강화물의 역할도 할 수 있다. 콘크리트 선체식 CNG 수송 선박에는 모듈형 가스 저장 유닛과 같은 다른 화물을 수송하기 위해 갑판 화물 모듈(248)을 장착할 수도 있다.

도 20 및 도 24를 참조하면, 본 발명의 변형 실시 형태는 바지(250)를 포함하며, 이 바지에는 모듈형 가스 저장 시스템(253)이 도 24, 도 20에 도시된 바와 같이 바지 내에 장착되거나, 도 23에 도시된 바와 같이 바지의 갑판 상에 장착되어 있으며, 바지의 선체(252)는 석유 또는 기타 제품 저장을 위해 사용된다.

## 안전 시스템

선박 제작 후, 파이프 다발을 둘러싸는 모든 공기를 질소 분위기로 대체한다. 각 격실 또는 엔클로저를 질소에 잠기게 한다. 질소 분위기를 유지하는 주된 이유의 하나는 파이프(12)의 부식을 방지하기 때문이다.

또한, 질소는 각 격벽 격실(42) 또는 엔클로저(238) 내에 안정적인 분위기를 제공하며, 파이프(12)로부터 가스가 누출되는 지를 결정하기 위해 상기 격벽 격실(42) 또는 엔클로저(238)를 모니터링할 수 있다. 바람직한 실시 형태의 경우, 화학적 모니터를 사용하여 각 격실(42) 또는 엔클로저(238)를 모니터링함으로써 탄화수소의 누출을 검출한다. 화학적 모니터링 시스템은 누출을 검출하고 시스템 온도를 모니터링하기 위해 계속 작동한다.

도 5를 다시 참조하면, 플레어 시스템(100)은 격벽(40) 사이의 각 격벽 격실(42)과 연통한다. 만약 누출이 검출되면 플레어 시스템(100)이 작동되어 격실 내의 누출 가스를 빼내서 안전하게 연소시키거나, 대기 중으로 배출한다. 플레어 시스템(100)은 누출 가스를 연소시키기 위한 구체적인 플레어 스택(102)을 포함한다. 또한, 격벽 플레어 스택(102)을 사용하여 연소시키면 격실(42) 내의 질소가 탈출할 수 있게 되며, 그 격실에는 다시 질소를 채워야 한다.

선박(10)의 측면이 파손되어 저장 용기에서 가스가 새어 나올 경로가 형성될 정도의 크기로 충돌이 일어날 가능성은 매우 적은 것으로 예상된다. 선박(10) 설계의 일부로서, 저장 격실(42)은 일부 단열 폼(24)의 벽 안에 수납된다. 바람직한 실시 형태에 따르면, 용도에 따라 두께가 대략 12 인치 내지 24 인치인 폴리우레탄 폼(24)을 사용한다. 이는 격실(42)을 충분히 단열된 상태로 유지하는 역할을 할 뿐만 아니라, 저장 파이프(12) 주위에 보호용 차단부를 추가하는 역할을 한다. 충돌이 일어나면 선박(10)의 선체(16)뿐만 아니라 두꺼운 폴리우레탄 차단부(24)도 파열된다.

선박 설계 및 가스 저장 설계의 또 다른 설계상 잇점으로서, 파이프(12) 내의 가스의 밀도가 물보다 훨씬 낮기 때문에 충전된 파이프(12)는 선박에 부력을 제공한다. 격벽 격실(42)의 대부분이 침수되더라도 선박(10)은 여전히 뜨게 된다. 이 형태의 구조는 2차 격벽 시스템으로 볼 수 있다. 따라서, 1차 격벽 시스템은 실제로 중복되며, 규정에 있더라도 필요 없을 수 있다.

별도의 추가적인 플레어 시스템(104)도 선박(10)의 일부로서 제작되어, 필요에 따라 매니폴드(76, 78)와 직접 연통하거나 파이프(12)와 직접 연통한다. 예를 들면, 선박(10)이 좌초되어 파이프(12) 내에서 가스의 온도를 유지할 수 없는 경우 처럼 일부 천연 가스를 빼낼 필요가 있다면, 격실(42) 내의 질소를 교란시키는 일 없이 별도의 플레어 시스템(104)을 통해 천연 가스를 빼낸다.

## 시험

ABS에 기초하여, 5년 마다 파이프의 10%에 압력 무결성 시험 또는 검사를 실시한다. 한 가지 방법은 파이프 샘플에 스마트 피그(smart pig)를 통과시키는 것이다. 스마트 피그는 내부에서 파이프를 검사한다. 다른 방법은 선박에서 가스를 내리는 절차 중에 파이프가 배출용 유체로 가득 찼을 때 파이프를 가압하는 것이다. 압력을 모니터링하여 선박의 파이프의 무결성을 시험할 수 있다. 파이프 시험 후에는 수중 선체 부분도 검사하는 것이 바람직하다.

## 신는 방법

가스를 신고 내리기 위해서 별도의 매니폴드 시스템을 사용한다. 선박에 가스를 처음 채웠을 때, 파이프를 통해 천연 가스를 펌핑하고 냉각기를 통해 복귀시켜 파이프를 -20°F로 천천히 냉각한다. 구조를 둘러싸는 질소 블랭킷을 냉각함으로써 구조를 냉각할 수도 있다. 파이프가 냉각되고 나면 유입 밸브(91, 93)를 폐쇄하고 천연 가스를 파이프 층 내에서 압축한다. 두 세트의 매니폴드(90, 92)를 사용할 수 있다.

그럼에도 불구하고, 만약 최초에 파이프에서 가스의 온도가 하강하는 것을 피해야 한다면, 저압에서 천연 가스를 파이프 내로 펌핑할 수 있다. 저압 천연 가스는 팽창하기는 하지만, 열 충격이 생기거나, 그러한 저압에서 파이프를 과도하게 압박할 정도로 파이프를 냉각시키지 않는다. 선박에 천연 가스가 계속 채워지면, -20°F 미만으로 냉각하면서 천연 가스의 주입 압력을 1,800 psi의 최적 압력으로 상승시킨다. 최종적으로, 압축 가스는 온도 -20°F, 압력 1,800 psi로 된다.

### 내리는 방법

도 12 및 도 29를 참조하면, 배출용 유체를 마스터 매니폴드(90)를 통해 층 매니폴드(76) 및 컬럼 매니폴드(76) 내로 펌핑함으로써 가스를 내리기 위해 매니폴드 시스템을 사용한다. 밸브(145 및 121)를 열어 배출용 유체를 도관(72)을 통해 파이프(12)의 한쪽 단부(64) 내로 펌핑한다. 동시에, 다른 단부(66)에 있는 밸브(91 및 122)를 열어 가스가 도관(74)을 통해 컬럼 매니폴드(78) 및 층 매니폴드(88) 내로 이동하게 한다. 배출용 유체는 단부 캡(68) 및 도관(72)의 바닥으로 들어가고, 내리려는 가스는 파이프(12)의 다른 단부(66)에서 단부 캡(70) 및 도관(74)의 상단부를 탈출한다. 배출용 유체는 파이프(12)의 하측부로 들어가고 가스는 상단측을 탈출한다. 따라서, 가스를 내리는 중에는, 배출용 유체를 하나의 층 매니폴드(86)를 통해 주입하여, 압축 가스가 다른 층 매니폴드(88)에서 빠져나오게 한다. 배출용 유체는 파이프의 한쪽 단부로 흘러 들어가서, 천연 가스를 파이프의 다른쪽 단부를 통해 밀어낸다.

한 가지 바람직한 배출용 유체는 메탄올이다. 선박을 기울이거나 가스 용기가 경사지게 함으로써, 메탄올과 천연 가스 간의 계면을 최소화하여 천연 가스가 메탄올에 흡수되는 것이 최소화된다. 메탄올을 표준 상태에서는 천연 가스를 거의 흡수하지 않는다. 그러나, 고압 때문에 메탄올이 천연 가스를 일부 흡수할 수 있다. 그러한 흡수는 최소화하는 것이 바람직하다. 천연 가스가 메탄올에 흡수될 때마다, 탱크의 상단부에 있는 가스 캡으로부터 압축함으로써 천연 가스를 저장 탱크 내로 제거한다. 배출용 유체가 가스를 전혀 흡수할 수 없다면 가스를 내리기 위해 선박을 기울이지 않는다. 또 다른 배출용 유체로는 에탄올이 있다. 바람직한 배출용 유체는 빙점이 -20°F보다 훨씬 낮고, 강에 대한 부식 효과가 적으며, 천연 가스에 대한 용해도가 낮고, 환경 및 안전 고려 사항을 충족시키며, 저렴하다.

한 가지 바람직한 실시 형태는 도크 또는 가스를 내리기 위한 스테이션에서 선박을 길이 방향으로 기울이는 것을 포함한다. 이는 배출용 유체와 천연 가스 간의 표면 접촉을 최소화하기 위한 것이다. 선박을 기울임으로써 배출용 유체와 가스 간의 접촉 면적이 파이프의 횡단면보다 약간 더 커진다. 기관의 중량이 고물에 있기 때문에 보통은 이물을 들어올리는데, 얇은 물에서는 고물을 낮출 수 없다. 선박을 대략 1° 내지 3° 기울인다. 바지를 선박 아래로 잠수시킨 후에 부상시켜 그렇게 기울일 수 있다. 선박을 기울이는 다른 방법은 원하는 정도로 기울도록 선박 내에서 밸러스트를 이동시키는 것이다.

대안으로서, 선박은 수평하게 유지하면서 저장 구조가 일정 각도로 경사지게 할 수 있다. 또 다른 바람직한 방법은, 파이프가 항상 수평 방향에 대해 일정 각도를 이루도록 저장 시스템을 제작하는 것이다. 또한, 도 15에 도시된 것과 같은 수직 방향 저장 유닛은 가스가 운반 유체 내로 흡수되는 정도를 감소시키는 잇점이 있는데, 왜냐하면 운반 액체와 저장 가스 간의 접촉 면적이 최소화되기 때문이다. 처지는 파이프에 포획된 액체가 제거되도록 하기 위해서, 지지체 사이에서 파이프가 자연적으로 처지는 것을 극복하기에 충분한 각도로 파이프를 경사지게 하는 것이 바람직하다.

도 27을 참조하면 모듈형 저장 캡이 도시되어 있는데, 저장 파이프의 각 단부에는 유입구(237)와 유출구(235)가 마련되어 있다. 한쪽 단부의 유출구(235)는 파이프 다발 위에 있는 반면, 반대쪽 단부에 있는 유입구(237)는 파이프 다발의 보다 낮은 단부에 있다. 보다 낮은 단부(237)는 운반 유체를 파이프 다발 내로 펌핑하기 위해 사용되는 반면, 위쪽의 유출구(235)는 가스 제품을 제거하기 위해 사용된다. 유입구와 유출구의 이러한 배치는 운반 유체와 제품 가스 간의 계면을 최소화한다.

가스 유출구(235)는 높은 지점에 있고 액체 유입구(237)는 낮은 지점에 위치하도록 저장 파이프를 경사지게 함으로써 상기 특징을 추가로 향상시킬 수 있다. 도 16 및 도 19를 참조하면, 그렇게 경사지게 하는 것은 모듈 유닛을 기울이거나 제작 중에 개별 파이프를 일정 각도로 설치함으로써 가능하다. 그 각도는 수평 방향과 수직 방향 사이의 임의의 각도일 수 있는데, 각도가 클수록 운반 액체와 제품 간의 분리가 최대화된다.

선박은 본 발명에 따라 건설된 가스를 내리기 위한 스테이션에 도킹하는 것이 바람직하다. 따라서, 도킹 스테이션은 선박을 기울이기 위한 수단을 포함할 수 있다. 선박을 기울이기 위한 이 수단은 선박의 한쪽 단부를 들어올리기 위한 수중 호이스트 또는 크레인 또는 선박의 한쪽 단부 위에서 스윙하는 고정 암을 포함할 수 있다. 고정 암은 선박용 호이스트를 포함한다. 이물을 들어올려 액체가 천연 가스와 접촉하는 것을 최소화하는 것이 바람직하다. 배출용 유체와 가스는 가스를 내리기 위해 가스를 이물 매니폴드로 밀어내는 계면을 형성한다.

몇몇 가스 및 액체의 수송 및 저장에 있어서, 제품과 배출용 액체 간의 자연적인 분리, 즉 밀도, 혼화성, 표면 장력 등이 그 두 성분의 불필요한 혼합을 방지하기에 불충분할 수도 있다. 그러한 경우에, 배출용 액체를 사용하여 가스를 내리게 되면 배출용 액체가 가스와 섞일 우려가 있을 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 피그를 파이프 내에 배치하여 배출용 유체를 가스로부터 분리한다.

도 30 및 도 31을 참조하면, 단순한 구체 또는 세척용 피그와 같은 피그(220)를 각 파이프(22) 내에 설치할 수 있다. 이 형태의 피그(220)는 상이한 제품을 분리하기 위해 파이프라인에서 흔히 사용된다. 피그(220)는 파이프(222)의 한쪽 단부에 위치하며, 파이프(220)의 주 단부는 가스(224)로 채워져 있다. 그 후, 피그(220)로 배출용 유체(226)를 파이프(222)의 단부에 도입한다. 배출용 유체가 파이프(222)에 들어가면 피그(220)는 파이프(22)의 길이 방향 아래쪽으로 가압되어 그 앞에 있는 가스(224)를 압박하며, 이는 피그(220)가 파이프(222)의 다른쪽 단부에 도달하여 가스가 파이프(222)로부터 나올 때까지 계속된다.

저장 파이프가 거의 비게 되면, 액체 펌핑을 중단하고 밸브 장치를 저압 헤더로 전환하여, 이용 가능한 압력이 피그를 파이프(222)의 첫번째 단부로 다시 압박하게 함으로써 배출용 유체(226)를 모두 밀어낸다. 한 가지 불리한 점은, 펌프가 배출용 유체(224)를 피그(220)에 대항하여 밀어내어 피그가 적절한 속도로 이동함으로써 효율적인 스위핑(sweeping)을 유지하기 위해서는 추가 마력이 필요할 수 있다는 점이다. 또한, 피그(220)를 보수하고 교체하기 위한 접근부를 파이프에 마련해야 할 것이다.

도킹 스테이션은 천연 가스를 배출하기 위해 사용되는 액체로 채워진 탱크를 포함한다. 선박이나 파이프 다발을 기울이더라도 천연 가스 중 일부는 배출용 유체에 흡수된다. 배출용 유체가 저장 탱크로 복귀하면, 배출용 유체에 흡수된 천연 가스는 제거된다.

대안으로서, 선박이 배출용 유체 탱크를 포함한다. 이 탱크를 선박이 운반함으로써 선박은 독립적인 언로딩 스테이션 역할을 할 수 있다.

매니폴드 시스템은 연결된 파이프의 개별적인 층을 사용하여 단계적으로 가스를 싣고 내릴 수 있게 한다. 동시에 모든 파이프에서 가스를 내리기 위해서는 다량의 배출용 유체가 필요하고 그 배출용 유체를 이동시키기 위해 비경제적인 동력이 사용될 것이다. 유체를 배출하기 위해서는 적어도 압축된 천연 가스의 압력과 동일한 압력이 필요하다. 따라서, 모든 가스를 동시에 내리려면, 모든 배출용 가스를 가스와 동일한 압력으로 가압해야 한다. 따라서, 배출용 유체를 사용하여 가스를 내리는 작업은 단계적으로 행하는 것이 바람직하다. 단계적으로 가스를 내리는 경우에는, 한 번에 한 층의 파이프에서 가스를 배출한 다음, 다른 층의 파이프에서 유체를 배출함으로써 한 번에 필요한 동력량을 줄인다. 가스를 내리는 중에, 일단 첫번째 층에서 가스를 내리고 난 후, 이전에 압축된 천연 가스가 있었던 첫번째 파이프 층을 배출용 유체가 모두 채우면, 비워야 할 다음 파이프 층으로 그 배출용 유체를 유입시킨 다음 재사용할 수 있다.

한 층에서 가스를 제거한 후, 배출용 유체를 펌핑해 내어 저장 탱크로 다시 보내며, 그러면 저장 탱크 중의 다른 배출용 유체가 다음 층으로 펌핑되어 다음 파이프 층에서 압축 천연 가스를 배출하게 된다.

천연 가스를 단계적으로 내림으로써 동력을 절약하고 배출용 유체의 전체량이 감소된다. 배출용 유체는 재순환되어 결국 육상 또는 선박의 저장 용기로 복귀하며, 그 곳에서 배출용 유체에 흡수되었던 천연 가스가 제거된다. 육상 또는 선박의 저장 용기는 냉각 상태로 유지된다.

보다 무거운 조성의 가스를 수송하는 경우에는, 가스를 사용자에게 공급하기 전에 분자량이 더 큰 성분의 일부 또는 대부분을 제거하는 것이 바람직하다. 전용 발전소와 같은 일부 사용자는 무거운 탄화수소가 제거되지 않아 가열치가 추가되는 것을 원할 수 있다. 이 시나리오에서는 선박의 가스가, 예컨대 비중이 0.7이고 대략 83 몰%가 메탄이지만, 에탄과 같은 같은 다른 성분과, 프로판 및 부탄과 같은 더욱 무거운 가스 성분을 포함하며, -20°F의 온도와 대략 1,350 psi의 압력에서 저장된다. 가스를 내릴 때, 가스는 도크에서 팽창 밸브를 통과해서 팽창하게 된다. 가스가 냉각되고 압력이 강하하면 액체가 떨어져 나온다. 즉, 가스가 임계 상을 벗어나 액체로 된다. 일단 압력이 대략 1000 psia로 하강하면 액체 탄화수소가 형성되기 시작하며, 압력이 400 psia에 가까워지면 액체 탄화수소가 가스로부터 완전히 제거된다. 액체가 떨어져 나오면 수집해서 제거한다.

이 공정은 가스 팽창과 관련된 온도 강하에 의해 가속될 것이므로 보조 냉각은 필요하지 않다. 종래 기술 공정에 따르면, 액체를 제거하기 위해 가스를 냉각하는 냉각기가 필요하다. 팽창량과 그에 따른 냉각 정도는 가스 조성 및 원하는 최종 제품에 좌우된다. 가스 온도 저하 때문에, 수용하는 파이프라인을 위해서 가스를 재압축해야 할 필요는 없는 것으로 생각된다. 그러나, 파이프라인에 필요한 압력 미만으로 가스 압력을 줄여야 한다면 가스를 재압축할 수 있다.

도 28을 다시 참조하면, 선박 상의 파이프를 4개의 수평 방향 층(200, 210, 220, 230)으로 분할할 수 있다. 각 층(200, 210, 220, 230)은 파이프 다발(202, 212, 222, 232)을 나타낸다. 이들 파이프 다발은 횡단면에 걸쳐 균등하게 분할하거나, 구역으로서 분할할 수 있는데, 예를 들면 주변부 둘레에 위치하는 파이프 군을 한 층으로 하고, 나머지 파이프가 균일하게 분할된 것을 다른 층으로 할 수 있다. 각 층(200, 210, 220, 230)에서, 추가의 매니폴드 작업이 발생하는 도크의 연결부로 연장되는 마스터 매니폴드(90, 88)로 연장되어 있는 파이프(202, 212, 222, 232)의 각 단부에는 유입층 매니폴드(76, 214, 224, 234)와 유출층 매니폴드(91, 216, 226, 236)가 마련되어 있다.

저장 탱크(300)에 유지되어 있는 배출용 유체는, 밸브(145)는 개방되어 있고 밸브(272, 274, 276, 121)는 폐쇄되어 있는 매니폴드(90)를 통해 층(200)으로 도입된다. 배출용 유체는 밸브(145)를 통해 가압 펌핑되어 매니폴드(90) 및 파이프(202)로 도입된다. 배출용 유체가 파이프(202)로 들어가면 가스가 밸브(91)를 통해 매니폴드(206)로, 그리고 도크를 향해 매니폴드(88)로 밀려나온다. 0.28 BCF 선박의 경우, 배출용 유체는 하기의 유량으로 층(200)으로 펌핑된다.

수학식 9

$$Q=1.068E6\text{ft}^3/10\text{hrs}=13315\text{gpm}$$

가스를 내리는 전체 시간을 12시간으로 가정하면, 최종 두 시간은 마지막 층(232)에서 가스를 제거하기 위한 시간으로 배정하므로, 가스 배출 시간은 10시간이 된다.

층(200)에서 가스가 완전히 배출되면, 다시 배출용 유체를 매니폴드(76)를 통해 제거해서 밸브(121)와 매니폴드(260)를 통과하게 하며, 이 때 밸브(145)는 폐쇄한다. 배출용 유체를 저장 탱크(300)로 다시 이송하는데, 저장 탱크(300)에서는 배출용 탱크가 층(210)으로 동시에 펌핑되고 있다. 저장 탱크(300)로부터 매니폴드(90), 밸브(272) 및 매니폴드(214)를 통해 공급되는 배출용 유체로 층(210)이 채워지며, 이 때 밸브(145, 274, 276)는 폐쇄된다. 층(210)에 있는 가스는 층(200)에서와 마찬가지로 밀려나와 매니폴드(216), 밸브(246) 및 매니폴드(88)를 통해 도크로 배출된다. 층(200)에서 사용되는 배출용 유체는 층(210)에 있는 가스를 배출하기 위해 사용되는 저장 용기의 일부가 되는 효과가 있다. 따라서, 전체 파이프 세트를 채우기에 충분한 배출용 유체를 선박에 저장할 필요가 적어진다. 가스 수용 시스템이 비워질 때까지, 또는 복귀 항해에 필요한 만큼 가스가 남을 때까지 각 연속적인 층(220, 230)에 대해 이 공정을 반복한다. 탱크로부터 선박으로의 압력 상승이 1500 psi라고 가정하면, 이 작업에 필요한 전력은 하기와 같다.

수학식 10

$$H_p = 1500 \times 144 \times 13315 / 0.8 \times 2.468E5 = 14567$$

여기서, 전체적인 펌프 효율은 0.8로 가정하였다. 최초로 가스를 내릴 때 가스는 1840 psi로부터 1500 psi로 팽창할 수 있었다. 마력을 10시간 동안의 kw-hrs로 변환하고 .28 BCF(2000 마일 왕복 항해를 위한 연료 가스 미만)를 사용하면, \$ 0.04의 kw-hr 비용에 대해 MCF당 비용이 \$0.0157이 된다.

층별로 가스를 내리는 시스템에는 필요한 액체 저장 탱크가 훨씬 작다는, 즉 완전히 채우기 위한 200,000 bbls에 비해 50,000 bbls로 작다는 다른 잇점도 있다. 또한, 가스를 내리는 중에 선박에 저장되는 액체량이 층이 없는 경우의 대략 1/3 이므로, 파이프 지지 구조가 그다지 강할 필요가 없다. 즉, 액체로 충전된 파이프를 지지하기 위해 필요한 구조가, 가스로 충전된 파이프를 지지하기 위해 필요한 경우보다 더 강할 수 있다.

배출용 유체는 가스와 같은 온도에 있으므로 파이프에 열 충격을 주지 않는다. 천연 가스를 내리고 나서 다른 가스를 싣기 위해 선박이 복귀하는 동안, 파이프에는 복귀 항해를 위해 남겨둔 소량의 천연 가스가 남아 있게 된다. 복귀 항해를 위한 이 잔류 가스는 팽창했기 때문에 -20°F 미만이다. 가스를 연료로 사용함에 따라 온도는 더욱 하강할 것이다. 따라서, 단열의 효율성에 따라, 복귀 시에는 파이프의 온도가 더 낮아지게 된다.

파이프에 압축 천연 가스를 재충전하고 나면, 온도는 다시 -20°F로 된다. 파이프의 온도가 작은 온도 범위 내에서 유지되도록 항상 선박에 천연 가스를 싣고 수송하고 내리는 것이 바람직하다. 파이프는 주위 온도에서 적재량의 대략 50%를 수

용하게 된다. 따라서, 가스 온도가 허용할 수 없는 수준으로 상승하면 천연 가스의 최대 1/2를 연소시켜야 한다. 그러면 나머지 적체량과 파이프는 주위 온도에 있게 된다. 따라서, 선박이 목적지에 도착하면 압축 천연 가스를 내린 후, 선박에 천연 가스를 다시 싣고 나면 처음 선박에 천연 가스를 실을 때와 유사한 방법을 이용하여 파이프를 냉각해야 한다.

배출용 유체는 선박에서 육상의 단일 탱크로 내리는 것이 바람직하다. 선박에는 배출용 유체를 육상의 탱크로 펌핑하기 위한 펌프가 마련되어 있다. 배출용 유체가 선박으로 순환될 때 저온 제어가 중단되지 않도록, 냉각기를 사용하여 탱크를 저온으로 유지한다. 그러면 파이프에 열 충격이 가해지지 않는다. 배출용 유체의 빙점은 가스 저장 시스템의 작동 온도보다 충분히 낮다.

유체의 양은 파이프의 적어도 한 층의 가스를 배출하고 그 층의 매니폴드 설비 및 육상의 펌프 성프(pump sump)를 채울 정도의 충분한 양이어야 한다. 그러나, 선박에는 복수 층의 파이프가 있기 때문에, 한 번에 선박의 전체 30 마일의 파이프를 완전히 채울 정도의 메탄올이 필요하지는 않다. 대략 250,000 입방 피트 정도의 유체가 필요할 것이다. 이는 대략 50,000 배럴의 유체로, 대형 저장 탱크가 아니다.

배출용 유체를 사용하는 이유 중 하나는 가스를 내리는 중에 선박에서 가스가 팽창하는 것을 방지하기 위함이다. 만약 선박에서 천연 가스가 팽창하면 온도가 하강할 수 있다. 따라서, 가스를 내리는 동안에는 선박에서 밸브(91, 122)를 개방하여 천연 가스가 매니폴드 시스템을 완전히 채우게 한다. 마스터 매니폴드(88)는 육상 매니폴드에서 폐쇄된 밸브(146)까지 연장되어, 육상의 폐쇄된 밸브(146)까지 천연 가스가 매니폴드 시스템을 완전히 채우게 된다. 따라서, 가스를 내리는 밸브(146)에 걸쳐 압력 강하가 발생한다. 가스는 매니폴드 시스템을 채우면서 다소 팽창하게 된다. 그러나, 이는 선박에 실린 전체 천연 가스에 비하면 무시할 수 있는 양이다. 선박에 있는 36인치 직경의 파이프 30 마일에 비하면, 폐쇄된 밸브까지의 매니폴드 파이프는 단지 몇 백 피트이다.

폐쇄된 밸브까지 연장되는 매니폴드 시스템이 선박의 압력에 도달하면 폐쇄되어 있던 밸브를 개방하며, 그러면 그 밸브에 걸쳐 모든 팽창이 일어난다. 그러면 선박에 압력 강하가 발생하지 않게 된다. 밸브에서 온도가 상당히 강하하게 되며, 그러면 천연 가스에서 무거운 탄화수소를 제거할 기회가 생긴다. 그 후 가스를 가온하는 것이 보통인데, 만약 가스를 발전소로 직접 이송한다면 가온할 필요가 없다.

이 예에서는 천연 가스를 내리는 데에 12 시간이 걸린다. 가스를 싣거나 내리는 시간은 장비의 함수이다.

대안으로서, 단순히 가스를 가온하여 팽창시킴으로써 천연 가스를 내릴 수 있다. 주위 상태에서 저장 시스템을 가온하거나, 전기 추적 시스템으로 저장 시스템에 열을 공급하거나, 저장 시스템을 둘러싸는 질소를 가열함으로써 저장 시스템을 가온할 수 있다. 또한, 낮은 흡입 압력의 컴프레서를 사용하여 저장 시스템에 남아 있는 가스를 배기해야 할 수도 있다. 이 방법은 선박이 가스를 내리는 스테이션에 장기간 머물러 천천히 취출하는 경우에 주로 적용할 수 있다.

## CNG 수송 시스템

천연 가스는 항구에서 싣는 것이 바람직하지만, 파이프라인을 이용할 수 없는 대양의 심해 위치에서 실을 수도 있다. 규정 때문에 연소시킬 수 없다면, 가스를 재주입하는 등의 선박보다 선박을 사용하는 것이 더 경제적이다. 다수의 해상 작업장을 하나의 중앙 로딩 설비에 연결함으로써, 선박을 효율적으로 사용하기에 충분히 높은 속도로 여러 작업장의 가스를 함께 싣게 된다.

도 29를 참조하면, 가스를 싣고 내리는 방법의 추가적인 설명을 포함한, 전반적인 가스 수송 방법의 상세한 예가 제시되어 있다. 본 발명의 바람직한 해상 CNG 수송 시스템은 가스전(111)과 같은 천연 가스 공급원으로 지향되는 것이 바람직하다. 가스전(111)으로부터 공급되는 천연 가스의 조성은, 당업계에 알려져 있는 바와 같이 파이프라인 품질의 천연 가스인 것이 바람직하다. 대략 400 psi의 압력 또는 기타 파이프라인 압력에서 가스를 수용할 수 있는 로딩 스테이션(113)이 수송용 가스를 준비하기 위해 마련된다.

예컨대 비중이 0.6인 천연 가스의 경우, 그 가스를 대략 1800 psia의 압력으로 압축하고 대략 -20°F의 온도로 냉각하기 위해, 당업계에 알려져 있는 바와 같이 로딩 스테이션(113)은 컴프레서/냉각기(117)와 같은 압축 및 냉각 설비를 포함하는 것이 바람직하다. 예컨대, 컴프레서/냉각기(117)는, York 프로판 냉각 시스템을 구비하고 용량에 따라 Cooper 가스 연소식 엔진에 의해 구동되는 다수의 Ariel JGC/4 컴프레서를 포함할 수 있다. 로딩 스테이션(113)의 자본 비용을 최적화하고 작동 비용을 최적화하기 위해, 로딩 스테이션(113)의 크기는 최종 사용자가 CNG를 소비하는 속도의 1.0/0.9배 이상의 속도로 CNG를 싣도록 정하는 것이 바람직하다.

또한, 로딩 스테이션(113)에는 가스전(111)으로부터 생산된 가스를 수송하기 위한 CNG 수송 선박에서 압축되고 냉각된 천연 가스를 싣기 위한 로딩 도크(131)를 마련하는 것이 바람직하다. 가스전(111)과 로딩 스테이션(113)은 당업계에 알려져 있는 통상적인 가스 라인(151)으로 연결할 수 있다. 마찬가지로, 컴프레서/냉각기(117)는 단열된 통상적인 가스 라인(152)에 의해 로딩 도크(131)에 연결된다. CNG의 수송을 위해 선박(10)과 같은 선박을 마련한다. 그러한 선박을 복수 척 마련하여, 먼저 가스를 실은 선박이 이동하는 동안 제1 선박(10)에 CNG를 실을 수 있게 하는 것이 바람직하다. 실제로, 바지와 선박 중 어느 것을 선택하느냐는 두 선택 간의 상대적인 자본 비용과 상대적인 이동 거리에 좌우되는데, 보통 바지가 저렴하기는 하지만 선박보다 느리다. 비록 본 발명의 바람직한 방법을 선박과 관련하여 설명하지만, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않고 선박, 바지, 뗏목 또는 임의의 기타 형태의 해상 수송 수단을 이용할 수 있다는 것을 이해해야 한다.

수송된 천연 가스를 수용하고 저장하여 사용 준비를 하기 위한 수용 스테이션(112)이 마련된다. 이 수용 스테이션(112)은 선박(10)으로부터 CNG를 수용하기 위한 수용 도크(141)와, 선박(10)으로부터 서지(surge) 저장 시스템(181)으로 CNG를 내리기 위한 본 발명에 따른 언로딩 시스템(114)을 포함하는 것이 바람직하다.

서지 저장 시스템(181)은 육지에 기초한 저장 유닛을 포함하거나 대수층과 같은 지하 다공성 매체 저장 수단, 고갈된 석유 또는 가스 용기, 또는 소금 동굴을 포함할 수 있다. 그 후, 당업계에 잘 알려져 있는 바와 같이 하나 이상의 수직 또는 수평형 유정(도시하지 않았음)을 이용하여 가스를 주입하여 저장 상태에서부터 취출한다. 서지 저장 시스템(181)은, 수용 도크(141)에 제2 선박(120)과 제1 선박(10)이 도착하는 사이 시간에 발전소(191), 지역 분배망(192), 그리고 선택적인 추가 사용자(193)와 같은 사용자의 수요를 충분히 공급할 수 있는 CNG 저장 용량을 갖도록 설계하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 서지 저장 시스템(181)의 용량은 대략 2주 동안 재공급 없이 선박 두 척 분량의 CNG를 수용하고 공급자(191, 192, 필요하다면 193)에게 공급하기에 충분한 CNG를 제공할 수 있는 크기이다. 어떤 경우에는, 서지 저장 시스템(181)은 선박(10)이 CNG를 가능한 한 빨리 내릴 수 있게 해야 하고, 또한 발전소(191)의 고장 시와 같이 CNG 수요의 급작스런 중단에 대처할 수 있어야 한다. 또한, 서지 저장 시스템(181)은 태풍이나 지진으로 CNG 공급이 중단되는 경우에 사용자(191, 192)에 공급하기 위한 대략 2주 분의 예비 용량을 갖추어야 한다.

수용 도크(141)는 배출용 유체 라인(144)에 의해 언로딩 시스템(114)에 연결되어 있다. 수용 도크(141)는 가스 라인(161)에 의해 서지 저장 시스템(181)에도 연결되어 있으며, 이에 대해서는 당업계에 잘 알려져 있다. 마찬가지로, 가스 라인(163, 164)은 서지 저장 시스템(181)을 발전소(191) 및 지역 분배망(192)과 같은 가스 사용자에게 각각 연결한다. 본 발명의 범위에서 벗어나지 않고, 필요하다면 추가의 가스 라인(165)이 서지 저장 시스템(181)을 추가 사용자(193)에게 선택적으로 연결할 수 있다.

대안으로서, 대형 가스 분배 시스템이 이미 배치되어 있다면, 서지 저장 시스템(181)은 불필요하다. 이 경우, 가스 라인(161)은 가스 라인(163, 164, 필요하다면 165)에 직접 연결되어 CNG를 기존 분배 시스템으로 직접 배출한다. 또한, 사용자(191, 192, 필요하다면 193)가 필요로 하는 CNG의 속도가 매우 크다면, 선박(10)에서 CNG가 배출되는 속도와 사용자(191, 192, 193)가 필요로 하는 속도의 총합을 동일하게 할 수 있기에 충분한 용량을 언로딩 시스템(114)이 갖도록 설계할 수 있다. 그러한 경우에는 수용 도크(141)와 언로딩 시스템(114)이 거의 계속 사용된다는 것을 알 수 있다. 마지막으로, 서지 저장 시스템(181)은 만족스러운 서지 용량의 육상 또는 해상 파이프, 통상적인 육상 저장 수단, 본 발명의 방법을 이용하여 냉각 및 단열된 파이프의 시스템을 포함할 수 있으며, 또는 연속 공급을 위해 CNG 선박 자체가 도크에 남아 있을 수도 있는데, 이들 선택은 수용 스테이션(112)의 비용을 크게 상승시킨다.

작동 시에는 파이프라인 품질의 천연 가스가 가스전(111)으로부터 가스 라인(151)을 통해 로딩 스테이션(113)으로 흐른다. 당업자라면, 본 발명은 해상 설비에 있는 해상 수집 지점으로부터 천연 가스를 실을 수 있다는 것을 이해할 것이다. 본 발명은 육상 가스전에 한정되지 않는다. 로딩 스테이션(113)에서, 예컨대 컴프레서/냉각기(117)가 천연 가스를 대략 1800 psi로 압축하고 대략 -20°F로 냉각하여 가스를 수송할 준비를 한다. 그러면, 압축되고 냉각된 가스는 가스 라인(152)을 통해 로딩 도크(131)로 흐른다. 그 후, 로딩 도크(131)에서 통상적인 수단으로 가스를 선박(10)에 싣는다.

도 29에 개략적으로 도시된 실시 형태의 경우, 제2 선박(120)에는 로딩 도크(131)에서 CNG가 이미 실려 있다. 가스를 실은 후 제2 선박(120)은 목적지로 향한다. 실려 있는 CNG의 일부를 향해 중에 선박(120)의 연료로 사용할 수 있다. 실려 있는 CNG의 일부를 선박(120)의 연료로 사용하는 것은, 팽창에 의해 나머지 CNG가 냉각되어 향해 중에 얻게 되는 열을 보상하여 수송되는 CNG를 거의 일정한 온도로 유지할 수 있다는 추가의 잇점이 있다. 제2 선박(120)이 향해 중인 동안, 로딩 도크(131)에서 제1 선박(10)에 천연 가스를 싣는다. 비록 두 척의 선박(10, 120)을 도시하였지만, 당업자라면 예컨대 천연 가스의 수요, 로딩 도크(131)와 수용 도크(141) 사이에서 선박(10, 120)을 수송하기 위한 이동 시간, 그리고 가스전(111)에서 가스가 생산되는 속도에 따라 임의 척수의 선박을 사용할 수 있다는 것을 이해할 것이다.

목적지에 도착하면 수용 스테이션(112)의 수용 도크(141)에서 제2 선박(120)으로부터 가스를 내린다. 언로딩 시스템(114)은, 먼저 가스를 서지 저장 시스템(181)의 압력으로 팽창시킨 후 가스 라인(161)을 통해 흐르게 함으로써 제2 선박(120)에 의해 수송된 천연 가스를 내린다. 배출용 액체 라인(144)을 사용하여 나머지 가스를 내리며, 이에 대해서는 후술한다. 그 후, 서지 저장 시스템(181) 내의 천연 가스를 가스 라인(163, 164)을 통해 발전소(191) 및 지역 분배망(192)과 같은 사용자에게 각각 공급한다. 따라서, 비록 가스가 주기적으로만 서지 저장 시스템(181)에 추가되지만, 서지 저장 시스템(181)으로부터 가스가 연속적으로 취출되어 사용자(191, 192)에게 공급될 수 있다.

가스를 내리는 공정 동안, 로딩 도크(131)로 복귀하는 항해 중에 연료로 사용하기에 충분한 양의 가스를 선박(120)에 남겨둔다. 가스를 내린 후에, 제2 선박(120)은 로딩 도크(131)로 복귀 항해한다. 그러면, 제1 선박(10)이 수용 도크(141)에 도착해서, 제2 선박(120)과 관련하여 전술한 바와 같이 가스를 내린다. 그 후 제2 선박(120)이 로딩 도크(131)에 도착하며, 이러한 싣고 내리는 사이클을 반복한다. 가스를 싣고 내리는 사이클은 이렇게 계속 반복된다.

두 척의 선박(10, 120)보다 많은 선박을 사용하는 경우에도 가스를 싣고 내리는 사이클은 계속 반복된다. 이 싣고 내리는 사이클을 반복해야 하는 빈도(따라서 필요한 선박의 수)는, 사용자(191, 192)에 공급하기 위해 가스가 서지 저장 시스템(181)으로부터 취출되는 속도와 서지 저장 시스템(181)의 용량에 좌우된다.

도 32를 참조하면, 본 발명의 방법을 실시하기 위해 사용되는, 압축된 천연 가스를 내리기 위한 시스템의 한 가지 실시 형태의 개략도가 도시되어 있다. 도면 부호 114로 전체적으로 지시한 이 시스템은 배출용 유체(143)와, 이 배출용 유체(143)를 저장하기 위한 표면이 단열된 저장 탱크(142)와, 이 저장 탱크로부터 배출용 유체(143)를 펌핑해 내기 위해 상기 저장 탱크(142)의 유출구에 연결된 펌프(141)를 포함하는 것이 바람직하다. 액체를 액체 저장 탱크(142)로 복귀시키기 위해 액체 복귀 라인(144a)과 육상 복귀 펌프가 마련되어 있다. 하나 이상의 셉프 펌프(sump pump)(141a)가 선박(10)에 마련된다. 선박(10)의 셉프 펌프(141a)는 복귀 매니폴드 시스템(144a)을 통해 액체를 탱크(142)로 복귀시킨다.

배출용 액체(143)는 빙점이 선박(120)으로 수송되는 CNG의 온도보다 낮은, 즉 대략 -20°F인 액체를 포함하는 것이 바람직하다. 또한, 배출용 유체(143)의 조성은 CNG의 배출용 유체(143)에 대한 용해도가 무시할 수 있는 정도가 되도록 선택하는 것이 바람직하다. 이러한 요건을 충족시키면서 합리적인 가격으로 비교적 쉽게 입수할 수 있는 적절한 배출용 유체는 메탄올이다. 메탄올은 대략 -137°F에서 어는 것으로 알려져 있으며 CNG는 메탄올에 대한 용해도가 낮다.

펌프(141)를 선박(10 또는 120)에 연결하기 위해 배출용 유체 라인(144)이 마련되는 것이 바람직하다. 선박(120)이 없는 경우와 같이 밸브(145)가 폐쇄되었을 때 배출용 액체가 흐르는 것을 방지하기 위해, 제1 배출용 액체 밸브(145)가 배출용 액체 라인(144)에 배치되는 것이 바람직하다. 마찬가지로, 선박(120)이 항해중인 경우와 같이 밸브(146)가 폐쇄되었을 때 가스의 역류를 방지하기 위해, 제1 가스 밸브(146)가 가스 라인(161)에 배치되는 것이 바람직하다.

펌프(141)는 하나 이상의 펌프 및 펌프 구동기를 포함하는 것이 바람직한데, 이들은 직렬 및/또는 병렬로 배치되어 있고, 서지 저장 시스템(181)의 압력과, 배출용 액체 라인(144) 내의 메탄올 흐름 손실과, CNG를 서지 저장 시스템(181)으로 배출할 때의 하류 흐름 손실을 극복하기에 충분한 메탄올 압력을 배출 시에 형성할 수 있어야 한다. 역전 가능한 펌프(141)의 용량은 선박(120)에 필요한 언로딩 속도에 좌우된다.

도 32와 관련하여 전술한 실시 형태에서, 선박(10, 120)은 수송되는 가스를 저장하기 위한 다수의 저장 파이프(12)를 포함하는 것으로 도시되어 있다. 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 선박(10, 120)에 임의 개수의 가스 저장 파이프(12)를 운반할 수 있다는 것을 당업자라면 이해할 것이다. 예를 들면, 다수의 가스 저장 파이프(12)는 관련 코드에 따라 래크 장착되고 매니폴드화된, X-80 또는 X-100 강 파이프의 20 인치 직경의 용접된 부분을 포함할 수 있다. 그러한 파이프는 성능과 비용 측면에서 모두 만족스러울 수 있다. 사용 기간이 만족스럽고 대략 -20°F 및 대략 1800 psi의 CNG 조건을 견디어 낼 수 있다면, 다른 재료로 물론 사용할 수 있다.

마찬가지로, 모든 휴무 시간과 가스를 싣고 내리는 데에 필요한 모든 시간을 포함한, 로딩 도크(131)로부터 언로딩 도크(141)로 이동하는 시간 동안, 내부에 저장된 CNG가 대략 -20°F의 대체로 일정한 온도로 유지된다면, 가스 저장 파이프(12)를 단열하기 위한 다양한 수단을 사용할 수 있다. 예를 들면, 전술한 20 인치 직경의 파이프를 사용하고, CNG를 선박 연료로 사용함에 따른 팽창 냉각이 생기는 경우, 가스 저장 파이프(12)의 외측부 둘레에 대략 12-24 인치의 폴레우레탄 폼 층이 마련된다면 온도가 대략 -20°F로 유지된다. 열전도율이 대략 0.02 Btu/hour/foot/°F 이하인 36 인치 두께의 펄라이트 층과 같은 다른 단열재로 사용할 수 있다.

그 후, 전술한 바와 같이 가스를 내리는 공정을 실시한다.

## 이동 거리당 비용

도 33에는 LNG 400, CNG 410, CNG 30 및 파이프라인 430에 대하여, 비중이 0.7인 천연 가스 백만 BTU당 달러 기준의 손익 분기 비용 대 가스의 운반 거리가 도시되어 있다. LNG 및 파이프라인 데이터는 2000년 5월 15일자 Oil & Gas Journal에서 얻은 것이다. LNG는 취급을 위한 설비를 건설해야 하기 때문에 초기 비용이 많이 든다. 압축된 천연 가스는 LNG에 비해 초기 비용이 매우 낮다는 명백한 잇점이 있다. 본 발명에서 필요한 것은 압축된 천연 가스를 싣고 내리기 위한 몇몇 표준 컴프레서 및 냉각기가 전부이다. 라인 430은 파이프라인을 사용하는 것을 의미한다. 라인 410은 비중이 0.7인 천연 가스에 대한 본 발명에 해당한다. 도 34에는 비중이 0.6인 천연 가스에 대한 유사한 그래프가 도시되어 있다. 비중이 0.7인 경우의 그래프는 압축 계수가 0.4로 매우 낮기 때문에 매우 경제적이다. 0.6에서 천연 가스는 거의 순수한 메탄이지만 6,500km의 이동 거리까지는 여전히 경쟁력이 있다. 파이프라인은 대략 500km의 거리까지 경쟁력이 있다. 따라서, 본 발명은 대략 300 마일 내지 4,000 마일의 수송에 대해 경쟁력이 있다. 이들 비용 그래프는 분할 상황, 보험, 이자, 작동 비용 등을 비롯한 가스의 수송과 관련된 모든 비용을 포함한다. 그래프에서 라인들의 기울기는 수송 비용의 차이를 나타낸다. 또한, 그래프는 선박 비용도 포함한다. 이들 그래프는 손익 분기 상태에 있으며 세금이나 이윤은 나타내지 않는다.

본 발명을 적용할 수 있는 위치의 하나로 베네주엘라를 들 수 있다. 따라서, 비용 대 거리를 도시한 비중이 0.7인 경우의 차트를 보면, 베네주엘라에서 카리브해의 임의의 항구까지의 비용을 결정할 수 있다. 본 발명은 베네주엘라의 임의의 장소에서 미국의 남동부까지의 경우에 경제성이 있다. 그래프를 사용하기 위해서는, 거리를 입력하고, CNG 선까지 수직으로 이동하여 교차하는 값이 비용이 된다. 따라서, 동부 베네주엘라로부터 1900 마일 거리에 있는 사우스캐롤라이나주 찰스턴의 경우, 손익 분기는 \$0.60/mcf이다. 이는 0.5 BCF/일의 이송 속도에 기초한 것이다. 규모의 경제학이 적용될 수 있다.

## 기타 용도

비록 본 발명의 저장 시스템을 최적 작동 조건 또는 그 부근에서 사용하는 것이 바람직하지만, 상기 시스템의 설계 목적인 최적 조건이 아닌 상태에서 상기 시스템을 이용하는 것도 가능하다고 생각된다. 먼 지역에 있는 가스의 공급이 확대되고 변함에 따라, 본 발명에 따라 설계된 저장 시스템을 원래 설계 조건과는 다른 조건에 채용하는 것이 경제적 실현 가능성이 있을 것으로 예측된다. 이것에는 최적 효율 범위 밖에서 상이한 조성의 가스를 수송하거나, 최초 의도보다 더 낮은 압력 및/또는 온도에서 가스를 저장하는 것이 포함될 수 있다.

본 발명의 파이프에 기초한 저장 시스템은 액체의 수송에도 사용될 수 있다. 본 발명의 잇점은 탱크에 비해 파이프의 설계 계수와 관련이 있다. 만약, 파이프를 필요한 강도의 단지 두 배로 제작하기만 하면 되고(즉, 설계 계수가 0.5), 탱크의 설계 계수가 0.25라면, 탱크는 파이프보다 4배 강할 것이다. 예컨대, 액체 프로판은 특정 증기압을 갖고 있으며, 액체 프로판의 증기압의 2배의 압력에 대해 저장 파이프를 설계할 수 있다. 이는 액체 프로판을 파이프에 저장하는 것이 탱크에 저장하는 것보다 저렴하다는 것을 의미한다. 선박으로 프로판을 수송할 것이라면, 액체 프로판을 위해 파이프를 사용하는 것이 저렴할 수도 있다. 액체 프로판은 파이프 내에서 주위 온도로 수송하게 된다.

본 발명의 바람직한 실시 형태를 예시하고 설명하였지만, 당업자라면 본 발명의 범위에서 벗어나지 않고 수정할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

도 1은 비중이 0.6인 가스에 대한 가스 압축 계수 대 가스 압력의 그래프.

도 2는 비중이 0.7인 가스에 대한 가스 압축 계수 대 가스 압력의 그래프.

도 3은 도 1 및 도 2에 도시된 비중이 각각 0.6 및 0.7인 가스에 대한 -20°F 곡선의 확대도.

도 3a는 여러 작동 온도에 대한 가스 저장 시스템의 효율 대 저장 압력의 그래프.

도 4는 특정 비중의 가스에 대해 최적화된 압축 계수에 기초했을 때, 강의 질량에 대한 가스 질량의 비가 파이프의 두께에 대한 직경의 비에 따라 어떻게 변하는가를 도시한 도면.

도 5는 가스 저장 파이프를 구비한 격벽 격실을 보여주고 있는 본 발명에 따른 선박의 길이 방향 횡단면도.

도 6은 도 7의 격벽을 보여주고 있는 본 발명에 따른 도 5의 선박의 폭방향 횡단면도.

도 7은 가스 저장 파이프 및 크로스 빔의 격벽을 보여주고 있는 본 발명에 따른 도 5의 선박의 선체의 횡단면도.

도 8은 도 7에 도시된 가스 저장 파이프를 지지하기 위한 베이스 크로스 빔 지지체를 보여주고 있는 파이프 지지 시스템의 한 가지 실시 형태의 사시도.

도 9는 도 7에 도시된 가스 저장 파이프를 지지하고 하향 토크를 인가하기 위한 도 8의 파이프 지지 시스템의 표준 크로스 빔의 사시도.

도 10은 본 발명에 따라 제조되는 도 7의 격벽의 사시도.

도 11은 파이프 지지 시스템의 다른 실시 형태의 횡단면도.

도 12는 도 7의 가스 저장 파이프의 매니폴드 시스템의 개략적인 부분 횡단면도.

도 13은 선박으로부터 내릴 수 있는 선박 구조로부터 독립되어 있는 파이프 다발을 구비한 수평 방향 파이프 모듈형 유닛의 측면도.

도 14는 도 13에 도시된 파이프 모듈형 유닛의 횡단면도.

도 15는 수직 방향 파이프 모듈형 유닛의 측면도.

도 16은 경사진 파이프 모듈형 유닛의 측면도.

도 17은 파이프 모듈형 유닛이 선체 내에 배치되어 있는 선박의 측면도.

도 18은 도 17에 도시된 선박의 횡단면도.

도 19는 파이프 모듈형 유닛이 선박의 선체 내에, 그리고 갑판 상에 배치되어 있는 선박의 측면도.

도 20은 도 19에 도시된 선박의 횡단면도.

도 21은 직사각형 콘크리트 선체와 강제 이물 및 고물을 구비한 선박의 측면도.

도 22는 파이프 모듈형 유닛이 선체 내에 배치되어 있는 도 21의 콘크리트 선체의 횡단면도.

도 23은 하나 이상의 둥근 콘크리트 선체가 강제 이물 및 고물에 고정되어 있는 선박의 측면도.

도 24는 파이프 모듈형 유닛이 선체 내에 배치되어 있는 바지의 측면도.

도 25는 도 24에 도시된 바지의 횡단면도.

도 26은 석유가 선체 내에 저장되어 있고 파이프 모듈형 유닛이 갑판 상에 배치되어 있는 도 24의 바지의 측면도.

도 27은 저장 가스의 액체 배출을 위한 용기의 개략도.

도 28은 가스 저장 파이프에 저장된 가스를 배출용 액체를 사용하여 단계적으로 선박에서 내리는 과정을 도시한 개략도.

도 29는 가스 생산 설비가 있는 가스를 신기 위한 항구로부터 수요자가 있는 가스를 내리기 위한 항구로 가스를 수송하는 방법을 개략적으로 도시한 도면.

도 30은 저장된 가스를 배출하기 위해 한쪽 단부에 피그가 있는 저장 파이프의 측면도.

도 31은 저장 파이프의 다른쪽 단부에 피그가 위치하여 저장된 가스가 배출된 도 30의 저장 파이프의 측면도.

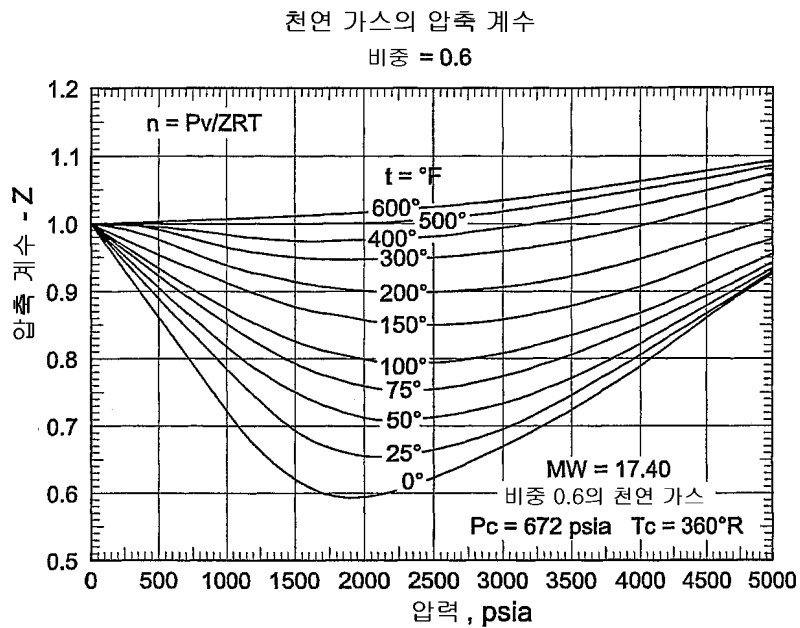
도 32는 가스 저장 파이프를 구비한 선박에 가스를 싣고 그 선박으로부터 가스를 내리는 방법을 개략적으로 도시한 도면.

도 33은 가스의 비중이 0.705일 때 LNG, CNG 또는 파이프라인에 있어서 이동 거리에 대한 수송 비용을 보여주고 있는 그래프.

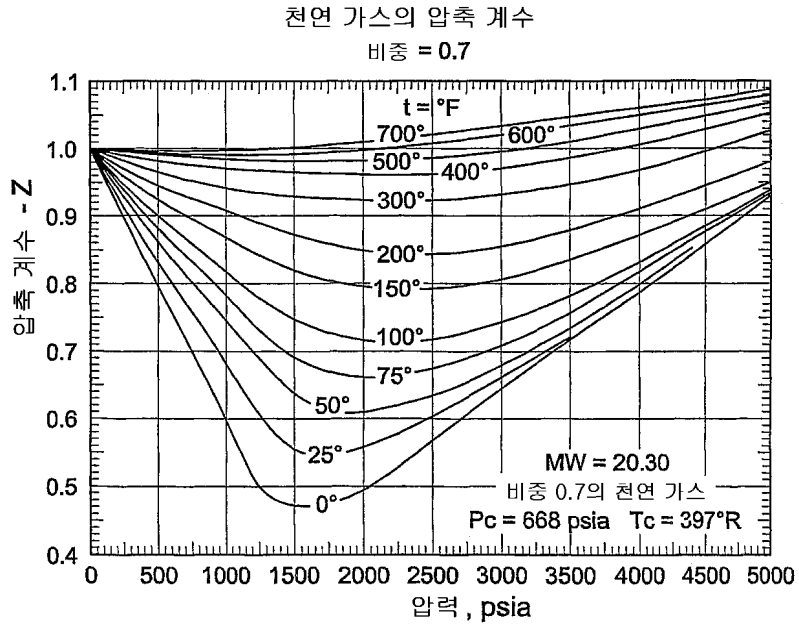
도 34는 가스의 비중이 0.6일 때 LNG, CNG 또는 파이프라인에 있어서 이동 거리에 대한 수송 비용을 보여주고 있는 그래프.

도면

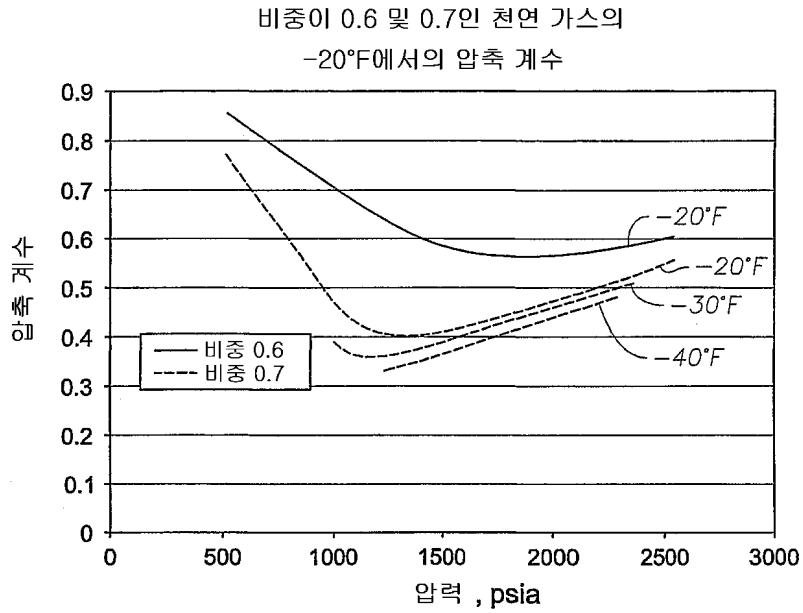
도면1



도면2

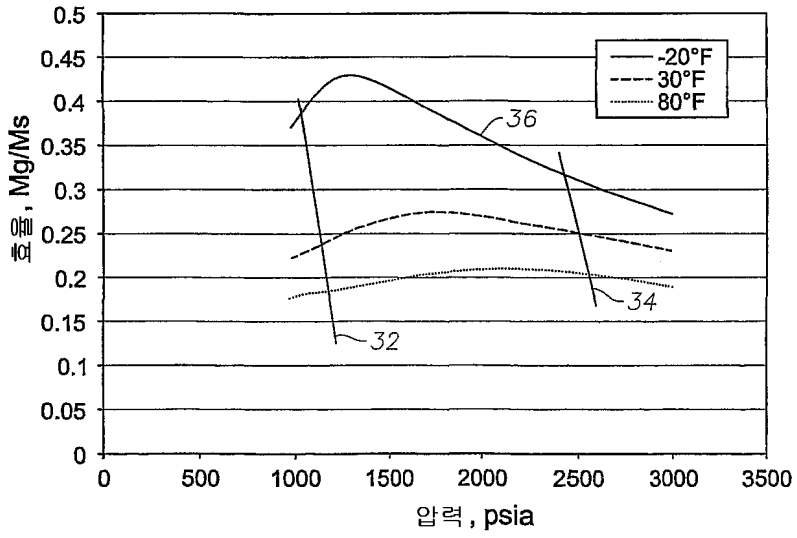


도면3



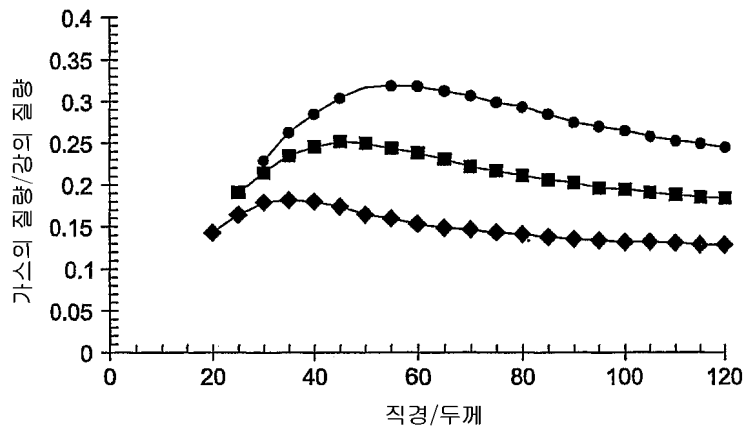
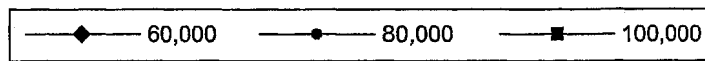
도면3a

여러 온도에서의 저장 효율 대 압력

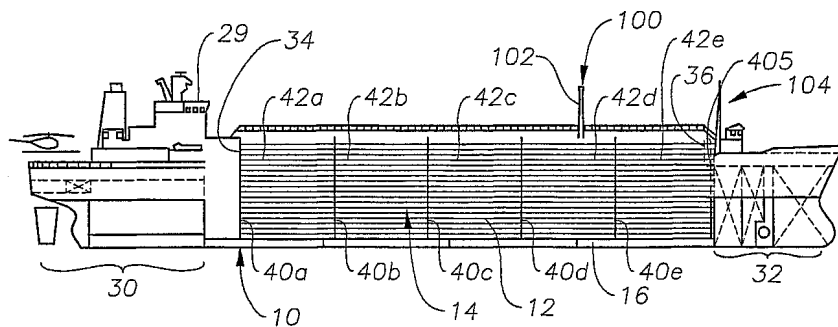


도면4

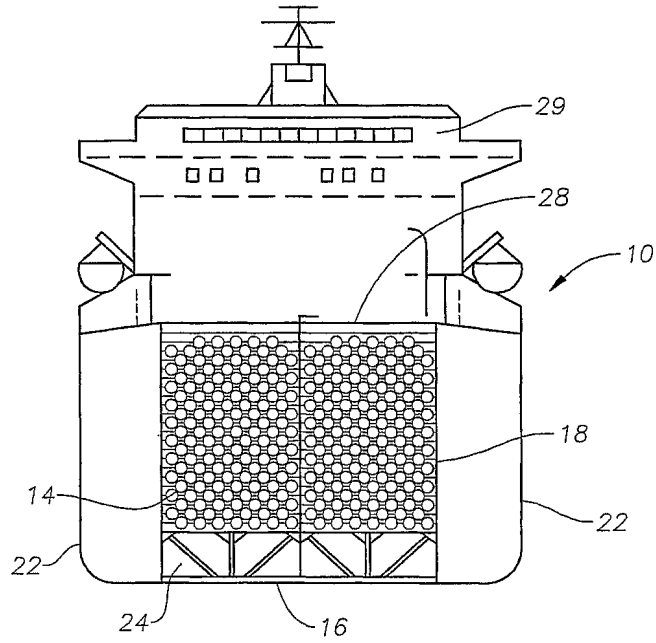
가스



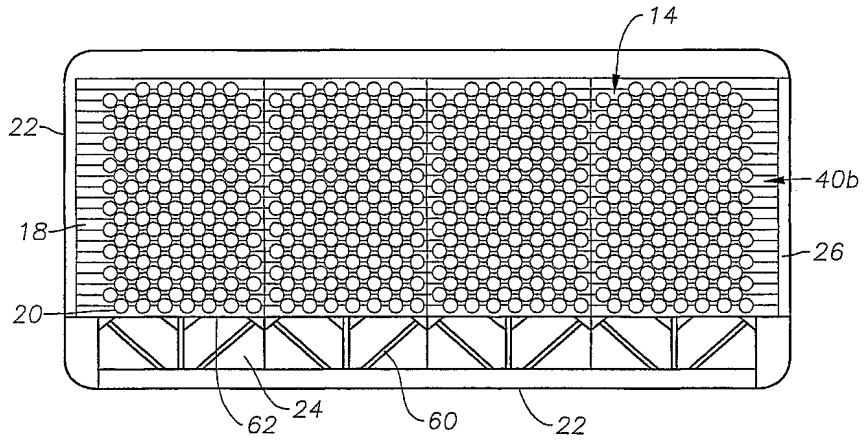
도면5



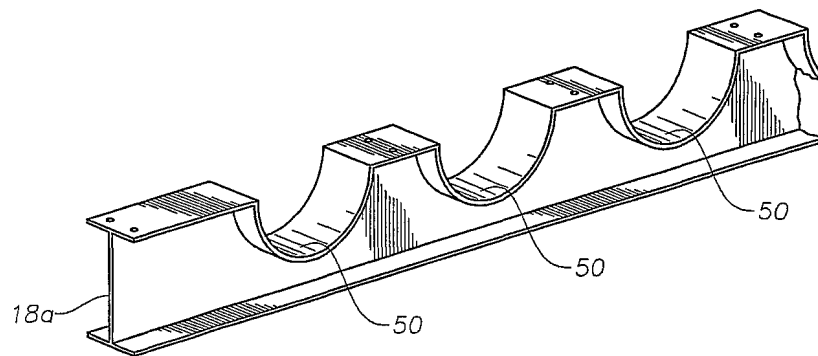
도면6



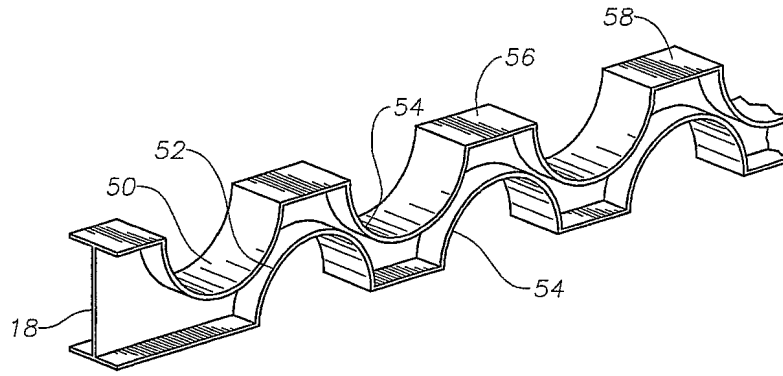
도면7



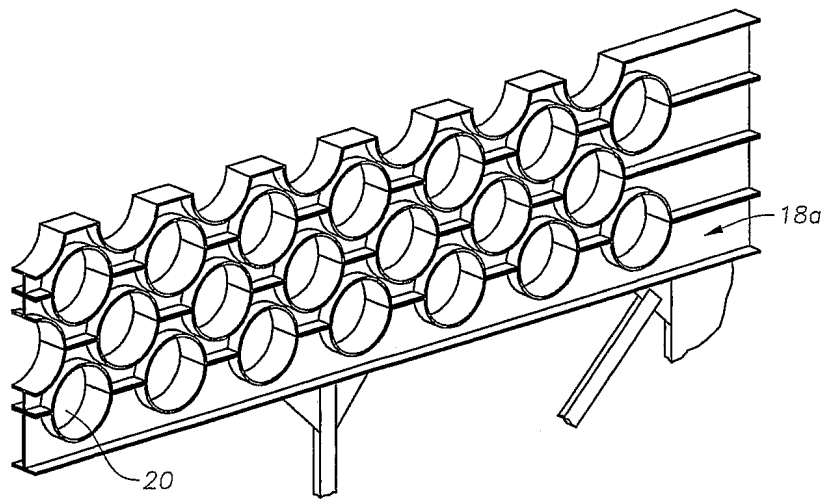
도면8



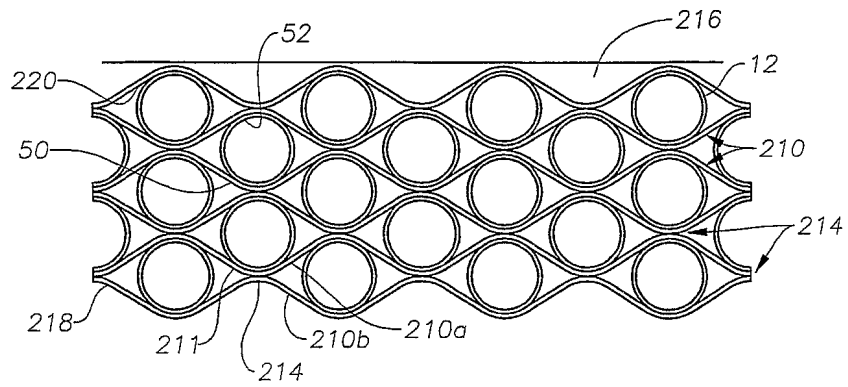
도면9



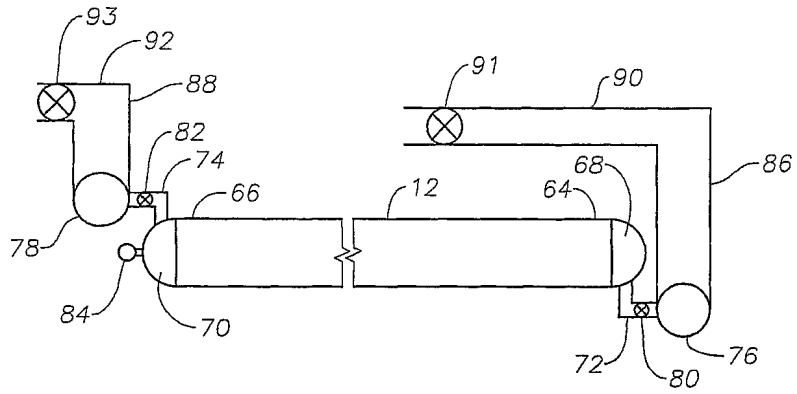
도면10



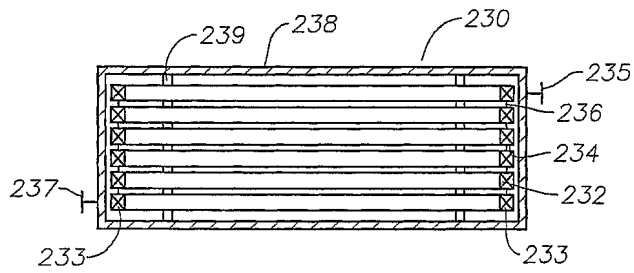
도면11



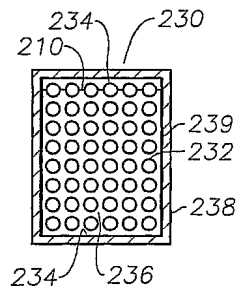
도면12



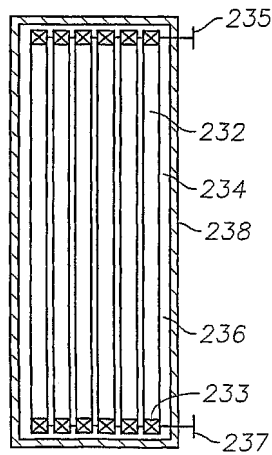
도면13



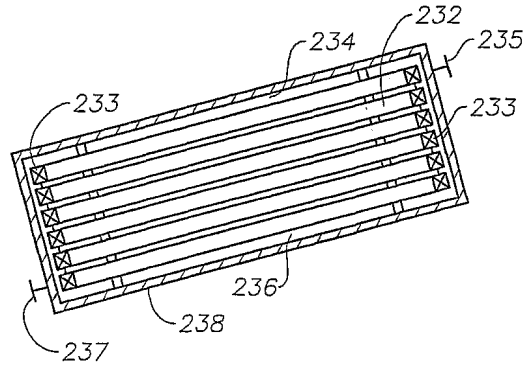
도면14



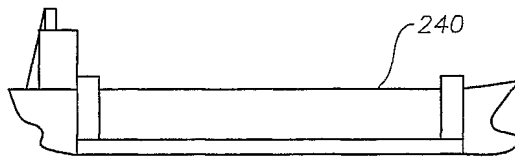
도면15



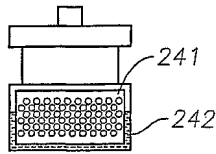
도면16



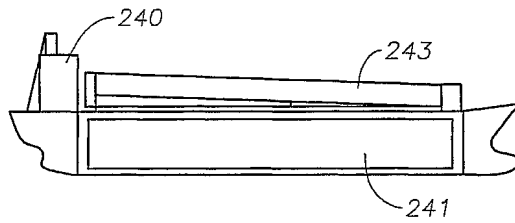
도면17



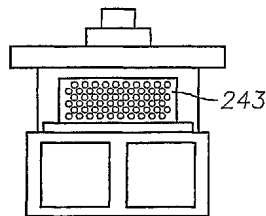
도면18



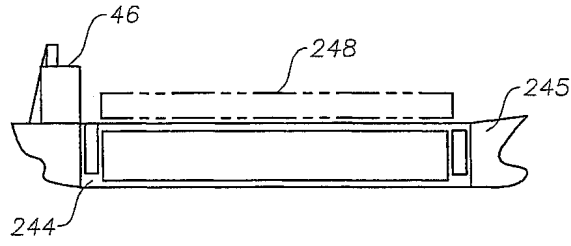
도면19



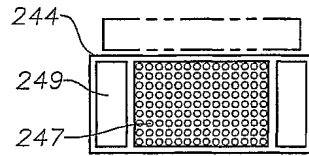
도면20



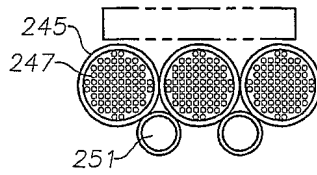
도면21



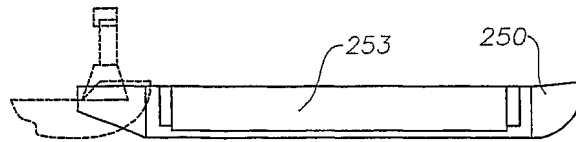
도면22



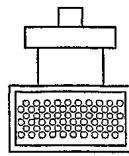
도면23



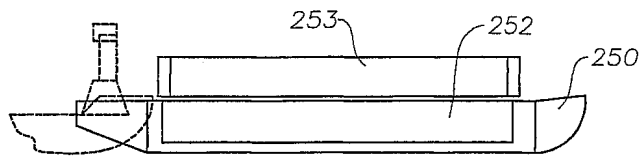
도면24



도면25



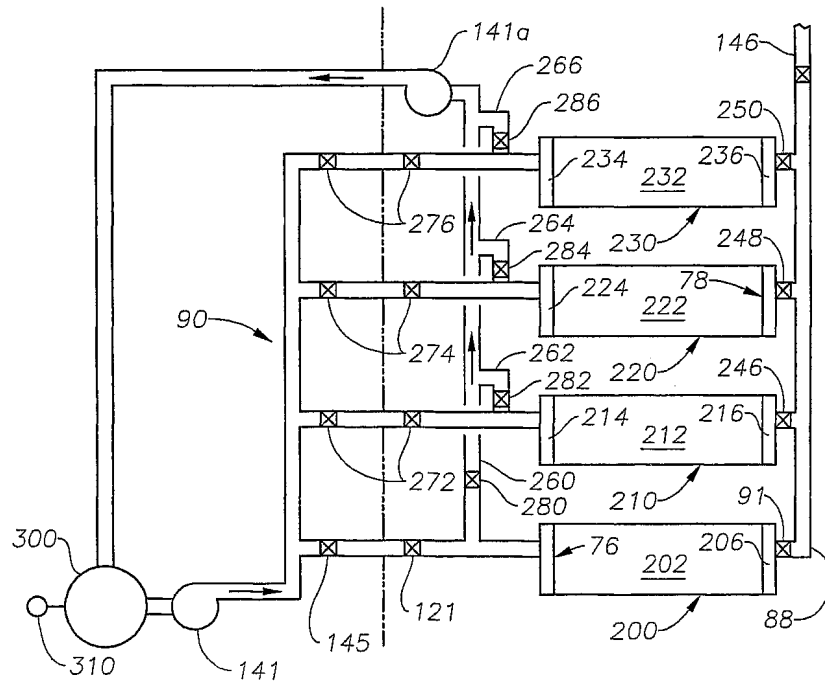
도면26



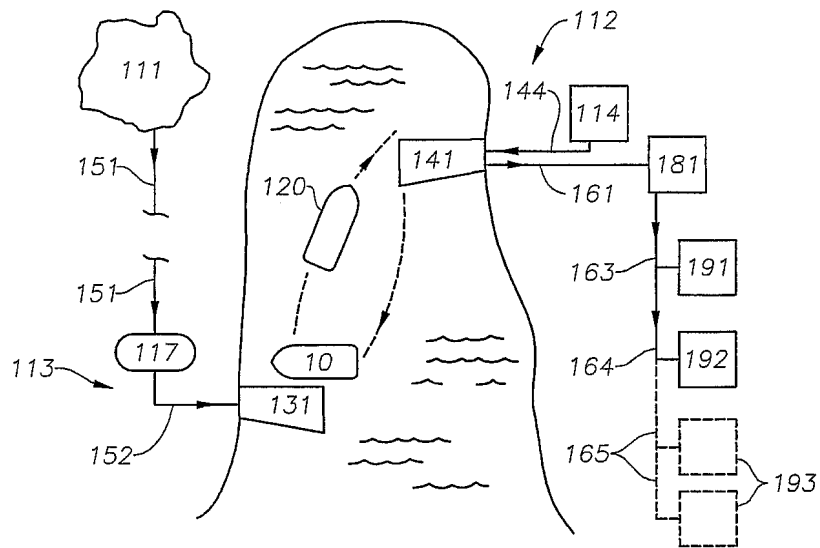
도면27



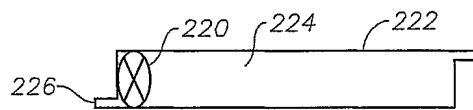
도면28



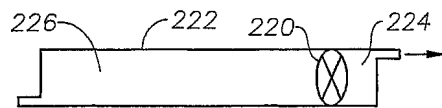
도면29



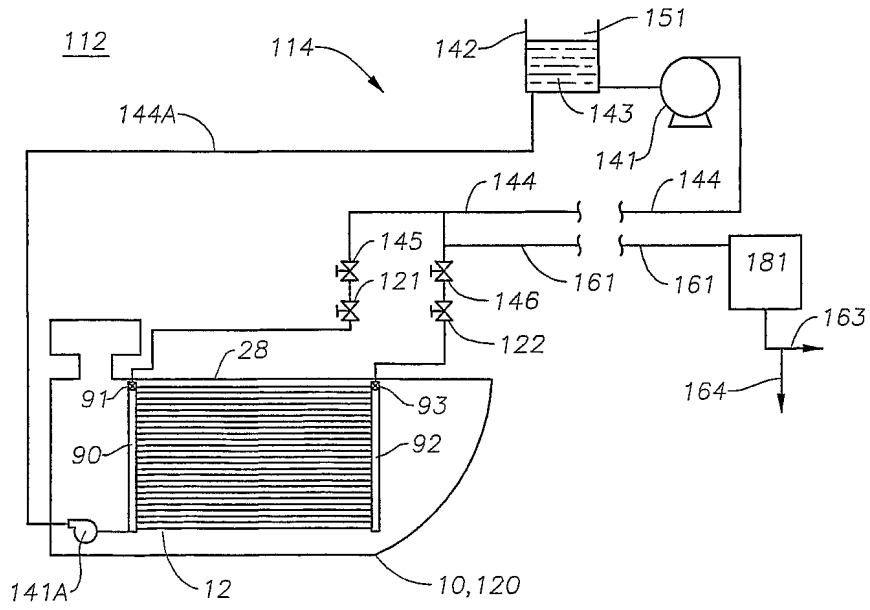
도면30



도면31

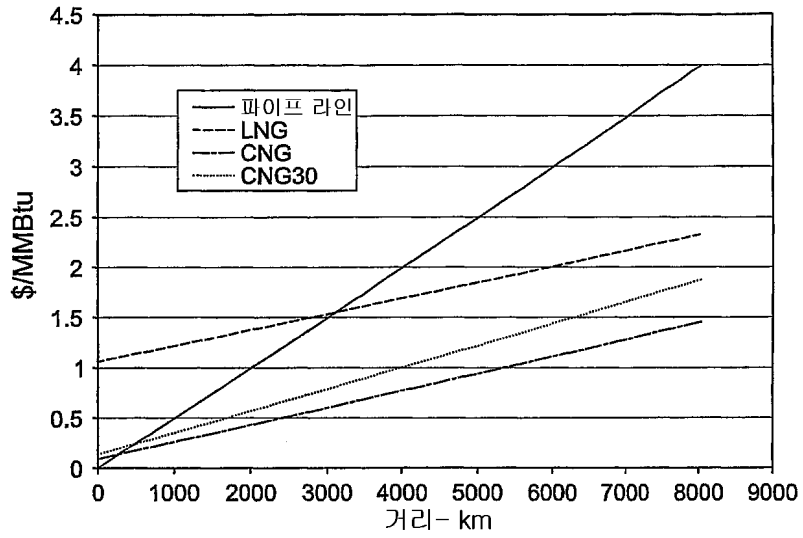


도면32



도면33

비중이 0.705인 경우의 손익 분기  
 비용 비교: 파이프 라인, LNG 및 CNG



도면34

비중이 0.6인 경우의 손익 분기  
 비용 비교: 파이프 라인, LNG 및 CNG

