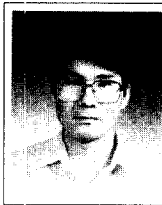


LNG 인수기지 건설과 운영

김 영 철

The Construction and Operation of LNG Receiving Terminal

Young-Chul Kim



●김영철(한국가스공사 시설운영부)
●1948년생
●기계공학을 전공하였으며, 평택 LNG 인수기지 건설에 참여하고 평택인수기지 사무소 부소장을 거쳐 현재 시설(기지, 관로)운영계획업무에 종사중이다.

1. 머리말

정 부에서는 '79년 제2차 석유 파동후 석유 의존도를 줄이고, 에너지를 다원화하기 위해 석유를 원자력, 천연가스 등으로 대체해 나아가는 탈석유 정책을 강력히 추진키로 하였다. 그 일환으로 석유보다 공급안정이 높을 뿐만 아니라, 60년대 이후 경제성장과 산업화로 국민소득이 높아지고, 대기오염이 심각해짐에 따라 무연탄을 대체할 도시가스 연료로서 적합한 청정연료인 천연가스 공급의 필요성이 대두되었다. 이러한 대외적인 에너지 정세와 청정연료에 대한 국민욕구를 충족시키기 위해 정부는 '81년 4월 경제장관 협의회에서 'LNG 도입 기본계획'을 의결하고, '83년에는 LNG 사업전담 기구인 『한국가스공사』를 설립했으며, '86년 말부터 인도네시아 및 말레이시아로부터 장기계약에 의거 LNG를 수입하여 전국에 천연가스를 공급하고 있다. 이 글에서는 천연 가스의 일반현황, LNG 설비개요, LNG 인수기지건설·운영을 소개하고자 한다.

2. 천연가스의 일반현황

2.1 개 념

액화천연가스(LNG : liquefied natural gas)는 천연가스를 정제하여 아황산가스, 질소, 분진 등 불순물을 분리 제거한 후 해상수송하기 위해 액화한 -162°C 의 초저온 물질이다. LNG를 다시 기체상태로 만든 연료가스를 천연가스(NG : natural gas)라 한다.

2.2 특 성

천연가스는 표 1에 예시된 바와 같이 석유나 석탄 등 다른 화석연료와는 달리 공해물질이 거의 없는 청정연료이며, 또한 액화석유가스(LPG : liquefied petroleum gas)와는 달리 공기보다 가볍고, 착화온도가 높아 매우 안전한 연료이다.

또한 석유는 중동지역에 편중되어 있으나 천연가스는 매장량이 풍부하고 부존지역도 전세계에 골고루 분포되어 있기 때문에 장기

표 1 연료의 오염물질 배출량 비교

(단위 : g/천kcal)

| | 유황산화물 | 질소산화물 | 일산화탄소 | 분진 |
|------|-------|-------|-------|-----|
| 천연가스 | - | 10 | 3 | 0 |
| 연탄 | 275 | 35 | 1,030 | 120 |
| 중유 | 41 | 40 | 6 | 12 |
| 등유 | 2 | 19 | 6 | 5 |

안정적인 공급이 가능하다.

3. 설비개요

그림 1에 예시된 바와 같이 인수기지에 도착한 LNG선은 하역설비인 언로딩 암(unloading arm)에 의해 저장탱크로 이송된다. 언로딩 암의 총 하역률은 11,200 m³/h로서 12시간 이내에 LNG를 저장탱크에 하역 완료할 수 있도록 설계되어 있다. 하역된 LNG는 1기당 10만 m³인 LNG 저장탱크에

저장된다. 탱크내의 LNG는 1차 펌프에 의해 약 15 kg/cm²로 가압되어 저압기화기 및 2차펌프로 이송된다. 저압기화기로 이송된 LNG는 해수에 의해 데워져서 기화되고 저압계량설비를 통과하여 평택화력발전소로 공급된다. 한편 2차펌프로 이송된 LNG는 이곳에서 약 77 kg/cm²로 승압되어 해수식 및 연소식 고압기화기로 보내져 LNG를 기화시켜 고압가스를 생산한다. 이 가스가 고압계량기를 거쳐 26인치 및 30인치의 복선주배관을 통해 이송되어 인천화력의 발전용 등과 수도권 및 중부권 도시가스용으로 사용된다. 인수기지 설비별 기능은 표 2에 예시된 바와 같다.

3. LNG 인수기지 건설

3.1 평택 LNG 인수기지 건설

인수기지는 수입된 LNG를 하역·저장하

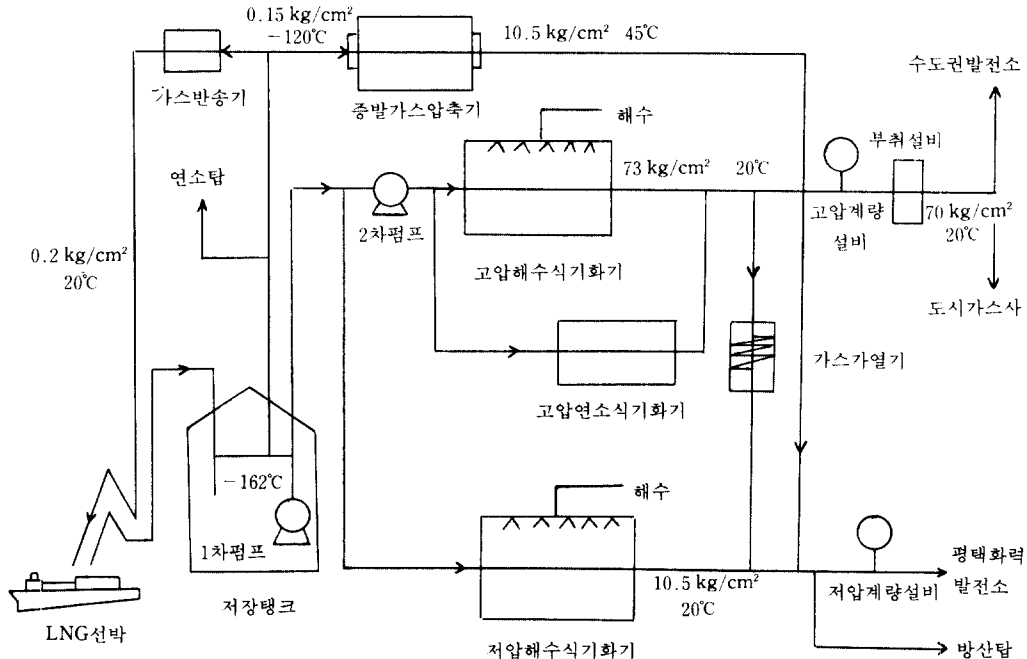


그림 1 인수기지 계통도

표 2 설비별 기능

| 구 분 | 설 비 명 | 기 능 | 용량 및 대수 ('93년 말 기준) | 비 고 |
|-------------------------|------------------------------|---|---|----------------------------------|
| 하역설비 (unloading arm) | ○LNG Arm | LNG선의 LNG를 하역, 탱크로 이송 | 4,200m ³ /h×4대 (직경 16") | |
| | ○NG Arm | LNG 저장탱크의 BOG를 LNG선으로 반송 | 12,600m ³ /h×1대 (직경 16") | 액체질소선적 Arm (3"×1개) 부착 |
| | ○B-C유 | LNG선에 소요되는 B, C유 선적 | B, C유 680m ³ /h×1대 (직경 12") | Diesel Oil 선적 Arm(4"×1개) 부착 |
| 저장설비 | ○LNG 저장탱크 | 하역 LNG를 저장 | 10만 kl×5기 지상 Concrete Membrane식 | |
| 송출설비 | ○저압 LNG 펌프 | · 탱크내 잠액식으로 설치 · 저압기화기와 고압LNG 펌프에 LNG 공급 | 150ton/h×10대 (탱크당 2대) | |
| | ○고압 LNG 펌프 | 고압기화기로 LNG 공급 | · 80ton/h×6대 · 110ton/h×9대 | |
| 기화설비 | ○해수식 저압 기화기 | 평택화력에 천연가스 공급 | 90ton/h×3대 | |
| | ○해수식 고압 기화기 | 수도권 지역에 천연 가스 공급 | · 130ton/h×2대 · 180ton/h×4대 | |
| | ○연소식 고압 기화기 | 고압기화기 고장시 또는 수도권지역 가스 부족시 공급 | · 68ton/h×2대 · 90ton/h×3대 | |
| 증발가스 처리설비 | ○ 증발 가스 압축기 (BOG compressor) | 탱크내 증발되는 가스를 압축 승압하여 평택화력으로 송출 | 1,2000 Nm ³ /h×5대 | |
| | ○ 가스 반송기 (return gas blower) | 탱크내 증발기를 LNG선으로 반송하여 압력을 보상 | 2,2000 Nm ³ /h×2대 | |
| | ○ 소각탑 (flare stack) | 탱크내 압력이 규정치(190 g/cm ²)이상시 방출가스(초저온)를 소각 처리 | 43,000 Nm ³ /h×1기 높이 : 35 m | 미방출 기간에도 Pilot Burner 로 점화 상태 유지 |
| 해수설비 | ○ 기화기용 해수 펌프 | LNG 기화용 해수를 취수하여 기화기에 송출 | 10,000m ³ /h×7대 | 한전해수배수로에 익류제로 막아 취수 |
| | ○ 염소주입설비 | 기화기용 해수에 생물체가 번식하지 못하도록 염소를 주입하는 설비 | Cl ₂ 생산량: 60 kg/h×2기 | |
| 계량설비 | ○ 저압 계량설비 | 평택화력에 공급되는 천연가스 계량 | 27~270ton/h(4월) | |
| | ○ 고압 계량설비 | 수도권지역에 공급되는 천연가스 계량 | 38~800ton/h(2월) 100~1400ton/h(2월) | |
| | ○ 가스 가열기 (Gas Heater) | 고압가스(수도권지역 공급)를 저압가스(평택 화력 공급) 공급관으로 이송시 압력강하에 따른 온도 보상 | 135ton/h×2기 | |

| | | | |
|------|------------------|---------------------------------|--|
| 기타설비 | ○방산탑(Vent Stack) | 저압가스 송출관 압력이 상승할 경우 가스 방출 | 106,000 Nm ³ /h×1기 높이: 45m |
| | ○부취설비 | 가스 누출시 조기감지를 위하여 부취제 첨가(고압송출가스) | 펌프 9.3l/h×2대 13l/h×2대 저장탱크: 8 m ³ ×1기 |

였다가 가스수요에 따라 기화·송출하는 시설을 말하며, 평택인수기지는 최초로 최대 LNG 400만톤/연을 처리할 수 있는 규모로 계획되어, 우선 1단계 사업으로서 LNG 200만톤/연을 도입하여 처리할 수 있도록 1986년 LNG 저장탱크 4기를 건설하였다. 이후 계속 LNG 수요량의 증가에 따라 인수기지 설비증설이 필요하게 되어 LNG 저장탱크 3기 및 관련 부대설비의 건설공사를 '89년 12월에 시행하여 '93년에 저장탱크 1기가 추가로 건설되었으며 '94, '95년에 저장탱크 각 1기씩 완공될 예정이다. 따라서 '96년의 LNG 처리능력은 700만톤/연에 이르게 된다.

3.1.1 저장탱크

단위저장용량이 10만kl인 LNG 저장탱크는 바깥지름 59.26m, 높이 52.5m의 원통형 지상식 콘크리트탱크로서 벽체는 90cm 두께의 콘크리트와 20cm 두께의 단열재 및 스테인리스 멤브레인으로 초저온에 대한 단열 효과와 강도를 높였다. 기초는 지름 150cm의 기둥 150개가 설치되어 본체중량 9,200톤을 지지할 수 있도록 되어 있으며, 지붕 역시 철골구조물 위에 60cm 두께의 콘크리트를 덮어 외부로부터의 충격에 견딜 수 있도록 만들었다. LNG 저장탱크는 프랑스 테크니가스사가 개발한 고유모델이며, 일본에서는 도쿄가스가 반지하탱크로 많이 사용하고 있다. 한편 프랑스에서는 평택인수기지 와 같은 타입이 많이 사용되고 있다. 탱크의 특징은 견고하여 안정성이 뛰어나고 유지보수가 용이할 뿐만 아니라 신뢰성이 보장된다는 장점이 있다. 탱크 주위에는 방액제를 설치하여 만약의 경우 저장탱크가 파손되어

LNG가 누출되더라도 외부로 확산되는 것을 방지할 수 있도록 하였다. 방액제의 저장용량은 탱크용량과 같으며 지름 130m, 높이 9m, 두께 2m이다.

3.1.2 LNG 처리설비

LNG 설비는 증발가스 처리설비와 LNG 이송·기화설비로 되어 있으며 보통 프로세스 계통이라 부른다. 증발가스 처리설비는 증발가스 반송기 2대와 증발가스 압축기 5대, Flare Stack 1기로 되어 있고 LNG 이송설비는 저장탱크 내에 설치된 1차 LNG 펌프 10대와 2차 LNG펌프 15대로 되어 있다.

3.1.3 보조설비

보조설비는 해수·공업용수 설비, 압축공기설비, 전기설비, 질소공급설비 등으로 구성 되어 있다.

3.1.4 배관설비

배관설치 공사는 LNG나 기화가스를 이송하는 프로세스 배관과 유틸리티 배관 그리고 배관설치를 위한 파이프 랙 공사로 되어 있다. 프로세스 배관은 스테인리스 강관을 특수용접인 불활성가스 아크용접으로 시공하였고, 용접부위는 100% 방사선투과검사와 초음파탐상검사를 실시하였으며, 최종적으로 압력시험과 기밀시험을 실시하였다. LNG 배관은 외부단열을 위하여 폴리우레탄으로 되어 있다. 배관작업은 작업장에서 직관을 제단하여 플랜지, 엘보를 붙여 적당한 길이가 되도록 가공한 후 보냉제를 시공하였다. 유틸리티 배관은 탄소강관을 주로 사용하였고, 해수배관은 방식도장한 강관으로 설치하

였으며, 기타 배관은 지하 매설부위만을 방식 도장하였다.

3.2 LNG 저장탱크 건설

3.2.1 탱크시방

LNG 저장탱크는 지상 콘크리트 멤브레인 형식이며 탱크시방은 표 3에 예시된 바와 같다. 이 탱크의 특징은 외각의 콘크리트에 후응력(post tensioned concrete)을 가한 후 내부에는 보냉재를 부착하고 그 위에 멤브레인이라는 주름진 스테인리스 강판을 덮은 것이다.

3.2.2 시공

탱크의 기초공사는 지름이 1.5 m, 깊이가

평균 40 m 정도의 대형 말뚝(bored pile) 150개를 심는 것이다. 평택인수기지가 위치한 부지는 대부분 바다 또는 개펄 지역이라 지반이 무르고 이에 따라 굴반의 깊이도 대단히 깊다. 또한 땅속의 공동이 존재하여 시공진행에 많은 장애가 되기 때문에 양호한 품질의 말뚝시공을 위한 시험 수행절차에 철저를 기해야 했다. 기초말뚝이 완료된 후 말뚝위로 지름 1.5 m, 높이 1.56 m의 기둥(column)을 150개 세우고 기초로부터의 진동이 본체로 전달되는 것을 차단하는 역할을 네오파드(neoprene pad)를 얹어서 고정한다. 탱크본체의 바닥 슬라브 공사가 후속 공정으로 진행된다. 기초말뚝 공사와 매트 및 칼럼공사를 완료한 후 네오파드 상부의 탱크

표 3 저장탱크 시방

| 구 분 | 시 방 | 비 고 |
|---------|---|----------------|
| ○탱크형식 | 지상 콘크리트 멤브레인 (prestressed concrete & membrane) | |
| ○탱크지름 | | |
| — 내 부 | 57.04 m | |
| — 외 부 | 59.26 m | |
| | (벽체두께 90 cm, 보냉재두께 21.2 cm) | |
| ○탱크높이 | | |
| — 중 심 | 52.51 m | |
| — 벽 체 | 44.88 m | |
| ○보냉두께 | | |
| — 벽체·바닥 | 21.2 cm | ○재질은 발포 PVC |
| — 천 정 | 35 cm | |
| ○멤브레인 | | |
| — 두께 | 1.2 mm | |
| — 설계온도 | -162°C | ○재질은 스테인리스 강판 |
| — 설계압력 | 230 g/cm ² ·g | |
| — 운전압력 | 50~170 g/cm ² ·g | |
| ○안전설계 | | |
| — 수평진도 | 0.2 g | ○원자력 발전소와 동일수준 |
| — 방 액 제 | 8 m | ○LNG 외부유출 방지시설 |
| — 네오파드 | 기초말뚝과 탱크 사이에 진도의 차단을 위한 설계 | |

본체 공사를 하게 되는데 이의 개략적인 시공순서는 그림 2에 예시된 바와 같다.

1) 탱크바닥 및 벽체공사

탱크바닥은 탱크의 자체 무게와 저장될 LNG의 무게를 150개의 기초말뚝에 고르게 분산하는 역할을 하고 있으며 지지되는 부분은 1m, 기타 다른 부분은 50 cm의 두께로 콘크리트를 타설하며 타설량은 약 2,236m³,

타설시간은 연속으로 약 36시간이 소요된다. 벽체는 18단으로 나누어서 시공되며, 제1단은 2.62 m, 제18단은 1.7 m의 높이로 타설되고 나머지 2단에서 17단까지는 2.535 m이다. 바닥 슬라브에서 벽체시공 중 prestressing을 위해 강선을 넣을 배관을 넣어 콘크리트를 타설하고 완전히 양생이 끝난 후 강선을 넣고 인장 한다.

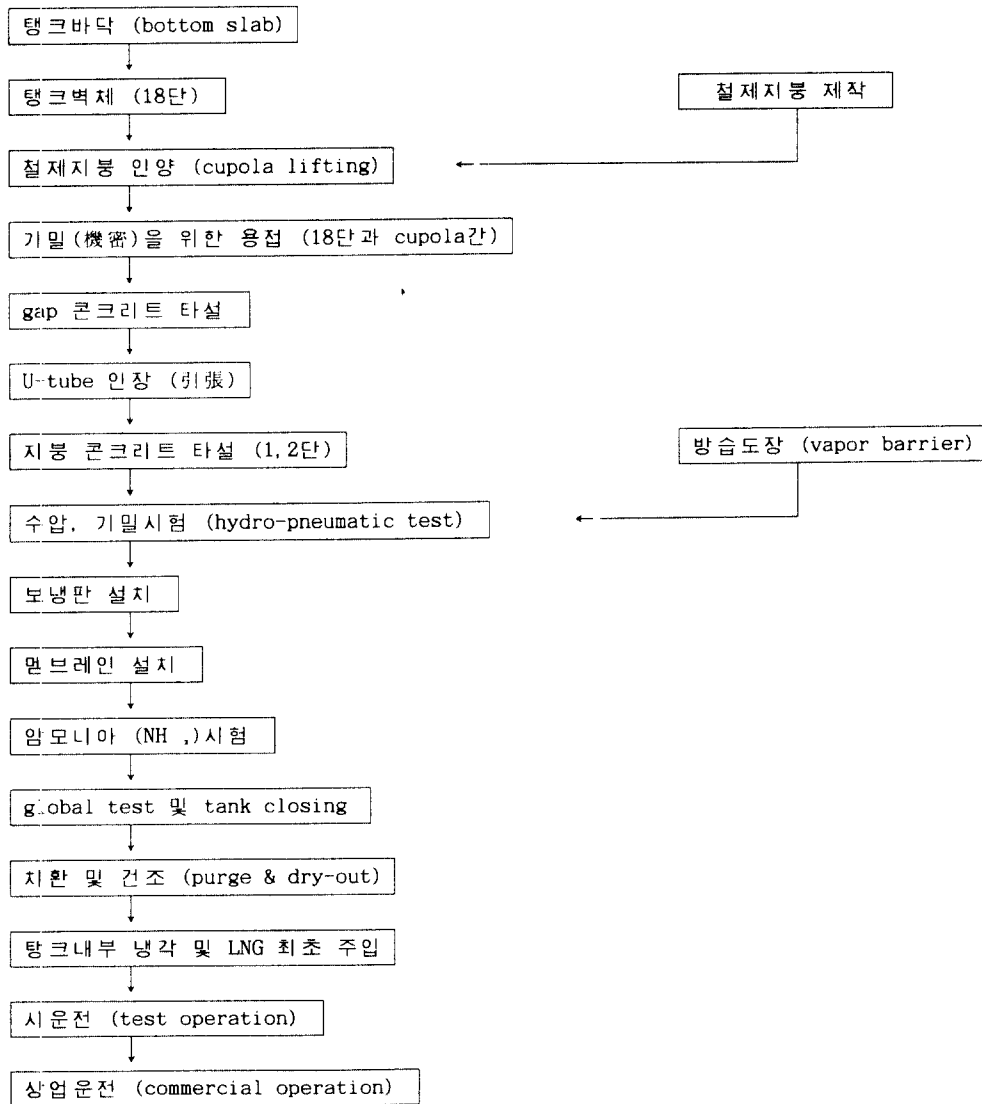


그림 2 본체공사

2) 탱크지붕과 내부천정(suspended ceiling)

탱크지붕은 형강(形鋼)을 구부려 그위에 철판을 덮어 씌워 만든 것으로 벽체 3단 시공이 끝난 후 탱크내부에서 조립하여 벽체 18단이 완료된 후 강선으로 유압을 이용하여 들어올리며, 5호 탱크의 경우 총 인양중량은 580톤이었다. 탱크지붕 인양 후 지붕 콘크리트를 1,2단으로 나누어 60 cm 두께로 타설하게 된다.

3) 방습도장(vapor barrier)

방습도장은 탱크내부의 바닥과 벽체면에 바른다. 재질은 에폭시 계통의 점성이 있는 검은색 액체로, 콘크리트에 잘 붙어 보냉판넬 설치시 중간 접착제가 견고하게 고착할 수 있어야 하며 콘크리트로부터 스며오는 습기가 내부에 전달되는 것을 차단할 수 있는 성질을 갖추어야 한다.

4) 수압-기밀시험(hydro-pneumatic test)

탱크의 방습도장이 끝나면 보냉 및 멤브레인 작업의 수행 전에 탱크의 안전성을 입증하는 시험인 수압 및 기밀시험을 실시한다. 이 시험을 통하여 탱크의 각 부위의 변형상태, 탱크의 기밀성 및 수밀성(水密性)과 침하(沈下) 및 정착상태(定着狀態)를 검사하게 된다.

5) 보냉판(insulation pannel)설치

탱크내부의 보냉 및 멤브레인 설치공사는 LNG 탱크 건설에서 LNG와 직접 접촉하는 부분의 공사로 정밀시공과 철저한 품질관리가 요구되는 공정이다. 보냉재는 저장된 LNG의 외각 콘크리트에 고르게 분산시키며, 설계된 증발가스 발생률 이하로 열전달을 감소시키는 역할을 하게 된다.

6) 멤브레인 설치

멤브레인은 1.2 mm 두께의 오스테나이트계 스테인리스 강판을 주름지어 제작한 것으로 S. N. Technigaz 사가 독자적으로 개발한 자재로서 저온에서 기계적 성질과 용접성이 우수한 재질이다. 또한 직교방향으로 제

작된 주름은 기계적 하중과 열적 수축·팽창에 자유롭게 적응하여 탱크의 내·외적 충격에 의한 균열의 확산을 방지한다. 멤브레인 강판은 1.2 mm 박판이므로 용접시 용접봉이 없이 모재를 직접 용융하여 접합시키는 방법으로 용착시킨다.

7) 각종 시험과 시운전

탱크내부의 멤브레인 설치공사 후 용접부위에 대한 밀폐시험을 실시한다. 용접의 시험은 일반적으로 비파괴검사를 실시하여 용접부위에 대한 결함을 검사하고 기밀, 내압 시험을 하는 것이 보통이지만 멤브레인 용접 시험은 멤브레인 자체가 박판이므로 육안검사로서 용접부위의 검사를 실시하고 기밀시험으로는 암모니아(NH₃) 시험을 하게 된다. 암모니아 시험은 전용접 부위에 시험액을 도포한 후 보냉공간(insulation space)인 멤브레인과 콘크리트 내벽 사이에 암모니아를 통과시키면 누설되는 부분이 노란색에서 보라색으로 변하게 되어, 결함부위를 바로 찾아서 보수하게 된다. 탱크내부의 1차 펌프, 배관 및 외부의 기계공사가 끝나면 탱크 내부의 분위기를 치환하고 건조시킨다. 탱크 내부의 산소농도 2% 이하가 되도록 질소 치환을 해야 하고, 이슬점이 -25°C 이하(보냉공간은 +12°C 이하임)가 되도록 건조한다. 탱크의 시운전은 LNG를 이용한 냉각에서부터 시작된다고 보아야 한다. 탱크 내부의 냉각을 위한 LNG를 최초로 주입한 후, 24시간 연속 자동운전으로 최초 운전시험을 하고, 가스부하 변동에 따른 자동운전으로 시운전이 실시된다. 시운전이 성공적으로 끝나면 정상운전이 시작된다.

4. LNG 인수기지 운영

4.1 하역설비

LNG는 -160°C의 온도에서 대기압보다 약간 높은 압력으로 LNG 운반선에 의해 운

송된다. 각 운반선은 10대의 펌프가 설치되어 있으며 2개의 30인치 하역배관을 통해 지상 저장 탱크로 LNG가 이송된다. 운반선의 펌프에서 토출되는 LNG는 열이 들어가게 되므로 지상 저장탱크의 압력은 약 50 g/cm²g 정도 더 올라가게 된다. LNG 하역중 저장탱크에서 발생된 LNG 증발가스의 일부는 가스반송기에 의해 LNG 운반선으로 보내지게 되며 이는 LNG 하역시 발생할 수 있는 운반선 탱크내의 부압(負壓)을 방지토록 하고 있다.

4.2 저장설비

LNG 저장탱크는 내부압력 2.5~230 g/cm²g 사이에서의 조건을 고려하여 각종 안전장치가 구비되었고, 벽체와 단열재를 통한 열유입을 고려하여 최소의 증발가스 발생률 조건하에서 설계되었다. LNG 저장탱크에는 계장설비에 특별한 주의를 기울였고, 경보 및 긴급 차단설비를 설치함으로써 탱크의 안전도를 최대로 하였다.

4.3 송출 및 기화설비

저압망과 고압망의 송출 및 기화설비는 그림 3에 예시된 바와 같다.

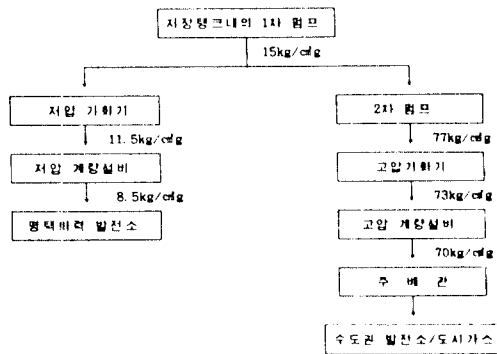


그림 3 송출 및 기화설비

4.4 증발가스 처리설비

LNG 증발가스(boil off gas)란 주위로부터 열이 유입되어 자연적으로 발생하는 가스를 뜻하며, 기화기 이외에서 발생한 가스를 모두 지칭한다. 증발가스 관련 설비로는 BOG 압축기, 가스반송기, 연소탑 등으로 구성된다. 증발가스 압축기에 의해 11 kg/cm²g까지 가압된 BOG는 저압기화기를 통해 평택화력으로 보내지는 저압가스공급망에 합하여져 평택화력발전소에 공급된다. 또한 소각탑은 증발가스를 BOG 압축기로 압축, 송출할 수 없는 상황이 발생할 경우 직접 연소하여 처리하기 위한 설비이다.

4.5 안전, 소방설비

LNG 취급시 고려해야 할 사항은 잠재해 있는 화재 위험 요소이다. 즉 LNG는 액화된 연료이며, 초저온이고 또한 취급 용량이 대단위이기 때문에 LNG 인수 기지의 방재 설비는 LNG의 발화 특성과 규모, 저장 용량을 충분히 고려하여 감지설비, 물분사설비, 고발포 거품설비, 분말소화설비로 구성된다.

5. 맺음말

이상에서 본 바와 같이 LNG 인수기지 건설에 있어 주요 기자재는 외국에서 구입하고 이들 설비의 설치 및 시운전은 제작사 기술진의 감리하에 이루어졌다. 그간 천연가스 사업의 지속적인 발전으로 가스설비의 국산화가 상당히 이루어졌고, 국내 건설기술의 향상으로 외국인 감리자의 수요가 많이 감소하였으나 현재도 LNG 저장탱크의 건설감리는 외국인의 책임하에 수행되고 있다. LNG 설비의 운전은 완전한 기술자립이 이루어졌으며, 설비의 점검·보수 또한 우리 기술진

이 수행하나, 핵심 부품의 고장이 발생한 경우는 제작사의 전문가가 보수를 시행하는 경우가 많다. 이에 대한 대책으로서 설비의 운전·유지·보수 기술을 더욱 축적하여 설비의 안정적 운영을 확고히 하고, 설비의 안전을 향상시키는 기술개발을 계속 추구하여야 할 것이다.

참고문헌

- (1) 한국가스공사, 1989, 평택 LNG 인수기지 운전지침서.
- (2) 한국가스공사, 1993, 천연가스 사업실무. 