

140,000kl 9% 니켈강식 액화천연가스 저장탱크의 안전성 평가

† 이 수 경 · 양 병 동 †

서울산업대학교 안전공학과, *한국가스기술공업(주)
(2004년 7월 25일 접수, 2004년 9월 22일 채택)

A Safety Assessment for 140,000kl 9% Ni Steel Type LNG Storage Tank

Su Kyung, Lee and Byung Dong, Yang*

Dept. of Safety Engineering, Seoul National University of Technology,

*Korea Gas Maintenance & Engineering Co., Ltd.

(Receive 25 July 2004 ; Accepted 22 September 2004)

요 약

본 연구는 천연가스 생산기지를 구성하는 설비 가운데 핵심설비라 할 수 있는 LNG 저장탱크의 설계 기술을, 세계에서 다섯 번째로 국내 기술로 설계를 완료하여 건설 중에 있는, ○○ 생산기지 LNG 저장탱크(용량 : 14만kl, 형식 : 지상식, 9% Ni강 내조 · Prestressed Concrete 외조) 1기에 대한 공정설비의 설계 적합성과 탱크 외벽에 대한 소화설비의 설계 적합성에 관하여 연구하였다.

Abstract - This study is to assess the safety of the process facilities and fire fighting facilities for LNG storage tank which is the main facility in the LNG receiving terminal. The LNG storage tank(capacity : 140,000kl, type : aboveground, inner tank : 9% Ni steel plate, outer tank : prestressed concrete) was designed by foreign country up to now, but it has designed by domestic technology as the fifth in the world is under construction now.

Key words :

I. 서 론

본 연구는 천연가스 생산기지를 구성하는 설비 가운데 핵심설비라 할 수 있는 LNG 저장탱크의 설계 기술을, 세계에서 다섯 번째로 국내 기술로 설계를 완료하여 건설 중에 있는, ○○ 생산기지 LNG 저장탱크(용량 : 14만kl, 형식 : 지상식, 9% Ni강 내조 · Prestressed Concrete 외조) 1기에 대한 공정설비의 설계 적합성과 탱크 외벽에 대한 소화설비의 설계 적합성을 연구하고자 한다. 이는 국내 기술에 의해 설계를 완료하여, 건설

중에 있는 LNG 저장탱크의 공정설비 및 소화설비 설계 적합성에 관한 연구는 필수적이라 할 수 있으며, 향후 국내·외에서 계속하여 LNG 저장탱크 건설이 추진될 것으로 예상되는 140,000kl 지상식 9% 니켈강 LNG 저장탱크의 안전성을 제고하자 하는 것이다.

II. 공정설비에 대한 설계적합성

LNG 저장탱크 공정설비는 HAZOP 기법을 이용하여 3개의 Study Node를 선정하여 일정한 가이드 워드(Guide Words)와 4개(Flow,

Pressure, Temperature, Level)의 공정변수(Process Parameter)를 조합한 합성경험으로 73개의 이탈(Deviation) 시나리오를 구성하여 누락 가능성을 제거하고 체계적으로 문제점을 연구하여, 공정설비 설계에 관한 4건의 권고사항을 제시하고 설계를 보완함으로써, 시운전·운전 및 유지·보수 등 안전성 측면의 설계 적합성을 확인하였다.

(1) HAZOP Study Node 1

Design Concept : 지상식 저장탱크, 하역량 11,000 m³/hr, 용량 140,000kl, 운전 압력 150~250 mbar.g.
Description. : LNG Storage Tank and Unloading line.

(2) HAZOP Study Node 2

Design Concept : LNG는 Recondenser로 이송, Unloading line 냉각유지.
Description. : LNG LP Pump and Transfer, Circulation, Mixing line.

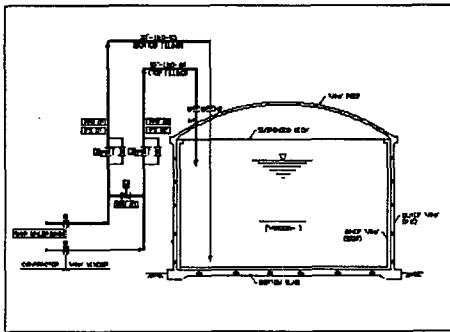


Fig. 1. HAZOP Study Node 1.

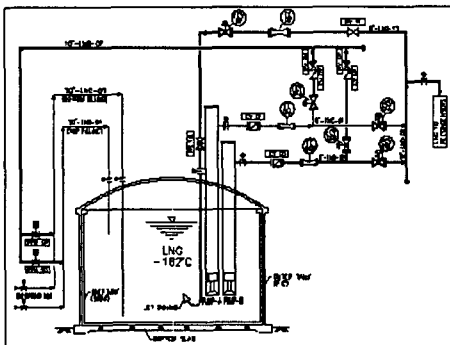


Fig. 2. HAZOP Study Node 1.

(3) HAZOP Study Node 3

Design Concept : 수분 응결발생 경우 탱크 손상 방지 위해 탱크 주위 온도를 10℃로 유지.

Description : Brine Heating System for LNG Storage Tank

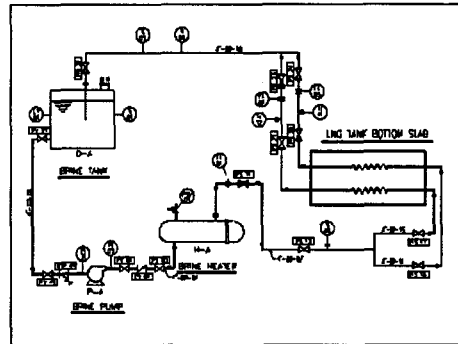


Fig. 3. HAZOP Study Node 3.

HAZOP 분석 수행과정

HAZOP 분석절차는 대상 공정에 대한 친숙화(Familiarization) 단계로서 배관 및 계장도(P&ID), 공정설명서 등 관련자료를 수집하여 검토하고 설계 및 운영요원과의 면담을 실시하였다. 분석 절차를 요약하면 아래의 Fig 4와 같다.

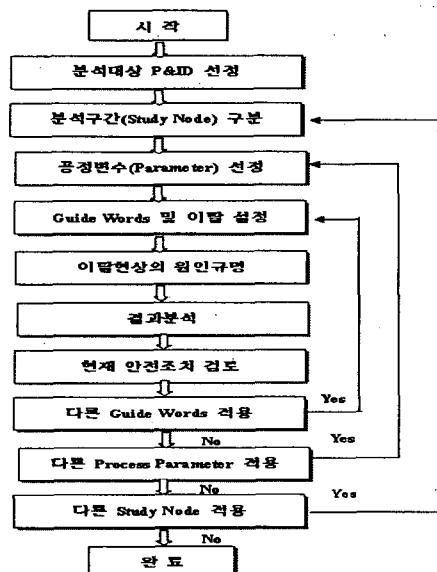


Fig. 4. HAZOP 분석절차.

(2) 화재 위험성이 있는 지역 즉, LNG 저장 탱크 지붕에 설치되는 LP(Low Pressure) Pump 및 안전밸브 대기 가스 토출 지역에 분말소화설비에 대한 분말 소화 약제량을 산출하고 분사 헤드수량 및 방출량을 결정하여 화재 시 안전성을 확인하였다.

분말소화약제 소요량

$$\text{공식 } [Q = V \times q \times s] \quad [q = X - Y \frac{\alpha}{A}]$$

여기서, Q : 분말소화약제 소요량,
 V : 방호대상체적 (공간),
 q : 방호공간 1m³에 대한 분말 소화 약제량 (kg/m³),
 s : 안전율 (1.1),
 X : 3.2 (제3종 분말계수),
 Y : 2.4 (제3종 분말계수),
 A : 방호공간의 벽면적 합계,
 a : 방호대상물의 주위에 설치된 벽면적 합계(m²)

(1) LP Pump 지역 소요 약제량 (Q1)

$$Q_1 = V_1 \times q_1 \times s \Rightarrow q_1 = X - Y \frac{\alpha}{A}$$

여기서, V₁ : 가로×세로×높이(LP Pump 2기)
 $\Rightarrow 2.8\text{m} \times 8.0\text{m} \times 3.7\text{m} = 82.88\text{m}^3$
 s : 1.1, X : 3.2, Y : 2.4,
 a : $\pi \times D(\text{dia}) \times h(\text{Height}) \times 2\text{기} = 3.14 \times 1.1 \times 3.1 \times 2 = 21.42\text{m}^2$
 A : $(8.0 \times 3.7) + (2.8 \times 3.7 \times 2\text{기}) = 80\text{m}^2$

$$q_1 = 3.2 - 2.4 \frac{21.42}{80} = 2.5574$$

$$\therefore Q_1 = 82.88\text{m}^3 \times 2.5574\text{kg/m}^3 \times 1.1 = 233.15\text{kg} \Rightarrow 250\text{kg}$$

(2) 안전밸브지역 소요 약제량 (Q2) (Relief Valve 3기)

$$Q_2 = V_2 \times q_2 \times s \Rightarrow q_2 = X - Y \frac{\alpha}{A}$$

여기서, V₂ : 가로×세로×높이 $\Rightarrow 7.78\text{m} \times 3.0\text{m} \times 4.1\text{m} = 95.7\text{m}^3$
 s : 1.1, X : 3.2, Y : 2.4,
 a : $\pi \times D \times h \times 3\text{units} \Rightarrow 3.14 \times 0.4 \times 3.5 \times 3 = 13.2\text{m}^2$
 A : $(7.78 \times 4.1 + 3.0 \times 4.1) \times 2 = 88.4\text{m}^2$

$$q_2 = 3.2 - 2.4 \frac{13.2}{88.4} = 2.84$$

$$\therefore Q_1 = 95.7\text{m}^3 \times 2.84\text{kg/m}^3 \times 1.1 = 299\text{kg} \Rightarrow 300\text{kg}$$

분사헤드

(1) 분말 소화약제 분사헤드는 기준 저장량의 소화약제를 30초 이내에 방사할 수 있도록 아래와 같이 설치한다.

- LP Pump 지역 : 8개
- 안전밸브지역 : 8개

(2) 분사 헤드의 방출량은 아래와 같다.

- LP Pump 지역 : 1.04 kg/sec
- 안전밸브지역 : 1.25 kg/sec

IV. 결 론

공정설비의 HAZOP 기법으로 설계 적합성에 대하여 3개의 Study Node를 정하여 가이드워드(Guide Words)와 공정변수(Process Parameter)를 조합한 합성경험으로 총 73개의 이탈(Deviation) 시나리오로 분석한 결과, 다음과 같이 총4건의 권고사항이 발견 됨으로써 공정설비의 설계 적합성이 확인되었다.

(1) Node 1 시나리오 14번에서, LNG 저장탱크의 액위 지시계가 2중으로 설치되었으나 그 중 한 개가 오지시 될 경우, 탱크 내 액위 상승.

▶ 탱크액위의 편차경보를 주어 액위 상승을 감지할 수 있는 방안

(2) Node 1 시나리오 18번에서, 시운전 중 탱크바닥 보냉재 공간의 질소Purge를 위한 압력제한밸브(PRV-01/02)가 오동작 될 경우, 탱크내 압력 상승으로 바닥 Plate(9% Ni)의 Buckling 발생

- ▶ 외부에서 탱크바닥 보냉제 공간으로 들어가는 절소 퍼지 라인을 탱크내조에서 환상공간을 통하여 탱크바닥 보냉제로 퍼지하는 방안
 - ▶ 환상공간과 탱크내조 사이의 압력차를 감지하기 위해 2중으로 P야 감시계 설치하는 방안(Fail Safe)
- (3) Node 2 시나리오 3번에서, LP Pump 라인 중 탱크로 순환시켜주는 유량조절 밸브(FCV-01A/B)의 오작동시 LNG 순환이 안됨.
- ▶ FCV 밸브에 비상시 운전원이 작동할 수 있도록 Hand Wheel 설치하는 방안
- (4) Node 2 시나리오 10번에서, LP Pump 라인 중 탱크로 들어가는 Jet Mixing line 이 필요시 1년에 2~3회 운전하므로 RV-11 밸브가 닫힐 경우, LNG Mixing이 안됨.
- ▶ Jet Mixing Line RV-11밸브에 L.O(Lock Open)를 설치하는 방안

소화설비의 설계 적합성에 대하여

- (1) 물분무설비에 대한 최소 방출요구량은 38,139 Lpm이나, Program으로 Hydraulic Calculation 결과는 탱크전체에 물 분사량은 46,551 Lpm(2,793m³/hr)이며, 탱크외벽의 전체 물 분사량(4개 방호구역)은 30,408 Lpm(1,824m³/hr)이고, Roof Top 부분 및 지붕 위의 LP Pump 및 Instrument 방호용 물 분사량은 16,143 Lpm(968m³/hr)이다. 또한 연결지점에서의 최고압력은 제7방호구역의 물분무설비에 요구되는 압력으로서 0.94MPa(9.54kg/cm²-g)이다.
- 따라서, LNG 저장탱크의 냉각용 물분무설비에 필요한 소화수 소요량은 60분간 연속 분사를 기준으로, 최악의 화재 시나리오를 가정하여 저장탱크와 저장탱크 사이에 있는 Pipe Work 주변에서 화재가 발생할 경우, 탱크 4기의 외벽 1/4식과 탱크 4기 Roof 전체를 동시에 분사할 경우 약 6,000m³이 필요하며, 소화수 공급 펌프 용량도 6,000m³/hr 이상이 필요할 것으로 판단된다.
- (2) 분말소화설비는 국소방출방식중 오버헤드방식(Over Head Type)으로 A,B,C급

화재에 모두 적합한 제3종 분말(NH4H2PO4) 소화약제를 30초 이내 방사할 수 있도록 분말소화 약제량은 LP Pump 지역이 250kg, 안전밸브지역이 300kg 산출 됨으로써 설계의 적정함이 파악되었다.

설계의 적합성 및 향후 추진방향

- (1) 세계에서 다섯번째로 LNG(액화천연가스) 저장탱크 설계를 국내 기술로 완료하여 건설 중에 있는 지상식 140,000kl 9% 니켈강 LNG 저장탱크 공정설비 및 소화설비의 설계 적합성에 대하여 안전성 평가를 한 결과 설계의 적정함이 판단되었다.
- (2) 따라서, 천연가스 소비의 증가 추세에 따라 향후 국내·외에서 계속하여 LNG 저장탱크 건설이 추진될 것으로 예상되는 140,000kl 지상식 9% 니켈강 LNG 저장탱크의 설계기술 보유 및 안전성이 제고됨으로써, 해외 진출의 기반을 구축할 수 있는 계기를 마련하게 되었으며, 대외 경쟁력을 높이고 저장효율 제고 및 운전비용 절감을 위해 빠른 시일 내에 180,000kl급 이상의 대형화 LNG 저장탱크 건설 추진이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 한국가스공사, "LNG 저장탱크의 안전성 향상을 위한 검사기준 연구", PP. 1-10.21, 1998.

[2] 한국가스공사, "인천인수기지 위험성 평가 보고서", pp. 2장 1-3, 1996.

[3] gti, "Fundamentals of Baseload LNG", GAS TECHNOLOGY INSTITUTE Vol.1, pp. 4-11, 2002.

[4] 한국가스공사, "인천인수기지 위험성 평가 보고서", pp. 3장 1-5. 부록1(A1) 12-21. 부록2(2) 1-9, 1996.

[5] 이내우·이진우·전성균·이영순, "위험성 평가", 동화기술, pp.58-62, 2000.

[6] 윤석춘, "정성적 위험성 평가", 한국안전전문기관협의회, pp. 304. 365~ 368. 384~390, 1999

[7] Grace. Hou, P.E, "HAZARD AND

- OPERABILITY(HAZOP) SYUDY TRAIING", Korea Gas Corporation, pp. (2)20, 1996.
- [8] 한국산업안전공단 교육교재, "위험과 운전 분석(HAZOP)", 한국산업안전공단, pp.62-63.113-118.175-182, 2002
- [9] SFPE, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", 2nd Edition SFPE, pp. 76.124, 1996.
- [10] 박외철·유재환·이수경·이춘하·전중함·김영수, - "최신 소방설비", 동화 기술, pp. 286-299. 325-338, 1999.
- [11] 손봉세, "소화설비공학", 일진사, pp. 221-236. 314-330, 1999.
- [12] 허만성, "소방기계시설론", 동일출판사, pp. 184-203. 340-364, 1998.