

고장수목을 중심으로 한 LNG저장탱크의 정량적 위험성평가

고재선*, 김 효

서울시립대학교 화학공학과

(119kjs@hanmail.net*)

Quantitative Risk Analysis of LNG Storage Tank based on Fault Trees

Jae-Sun Ko*, Hyo Kim

Dept. of Chemical Engineering, University of Seoul

(119kjs@hanmail.net*)

1. 공정개요

Table 1. Description of process facilities for LNG storage

Process Facilities	Contents
LNG Filling	1. From the drain drum to pilot plant with 8" cargo pipe. 2. Two process conditions at battery limit. - cargo : 3.67 kg/cm ² g, Recycling : 10.5kg/cm ² g 3. Cargo to the top side of tank, and to the upper and the down inside pipes. - Upper side : Spray Device / Splash Plate, Down side : Stand-pipe.
LNG Send-out	1. From pilot plant to receiving terminal header using with low pressure pump. - normal condition : 1 pump, at emergency : 2 pumps 2. Max. flow rate : 75m ³ /h, At terminal : 12kg/cm ² .
Treatment of Evaporation Gas	1. Vapor from the storage tank are treated in terminal gas header. - Low tank pressure : dissociating the pipes, vapor : incinerated by fire. - High tank pressure : sent to terminal vapor header. 2. Sudden rise in tank pressure(inflow to pilot plant TSV vapor header) : incinerated. 3. sudden drop(vacuum) : supplement with high pressure gas.
LNG Drain	1. Drain and filling at low pressure, or in other pipes : Transport with fuel-gas or nitrogens. 2. Leftovers : sent using with TSV or vent line to incinerate.
Detector air & Nitrogen Facilities	1. Gauge air and nitrogen : self-supplied, Emergency : supplied from terminal. - Nitrogen : total 500Nm ³ /h [consisting vaporizer and storage tank(12m ³)]. - Air : 200Nm ³ /h air(consisting 200Nm ³ /h compressor, drier.)

2. 빈도분석

2.1 HAZOP Analysis

Table 2, Hazardous factors by using HAZOP analysis

Classification	Contents
1.Isolation	*Nitrogen injection line : Not used at normal condition, required the operation sheets and the check card(malfunction would lead the workers to injured or to death).
2.Tank indicators	*Multiple indicators : indicate liquid level, temperature, pressure, and require the documentation of the counteractions at abnormal operating
3.Circulation	*Recycle line : Filling header and Send-out header in tank, prevent the local evaporation and rupture inside the pipe, require the verification of indicator level with corresponding operation mode, and the check card of indicator level when altering operation mode.

Table 3. Recommendations after the risk analysis

No	Node	Risk ranking	Recommendation
1	1	3	Verify procedures to isolate N2/fuel line after purge operation.
2	1	2	Consider installing drain and vent line on the filling line between HCV-PO411 and XV-PO401.
3	1	3	Consider installing hydrocarbon detectors in vicinity of discharge of atmospheric PSV
4	1	3	Consider installing level deviation alarm
5	4	4	Verify procedures for re-circulation operation
6	4	4	Tag No. of LI on D-101 and TK-001 is same. Change the tag No. as the different tag No.

2.2 LNG 누출에 관한 고장수목분석

2.2.1 누출시나리오

기본 설계단계의 HAZOP분석내용과 상세설계 자료를 검토한 결과로 Pilot LNG 저장설비 및 관련 배관에서의 LNG 또는 NG누출에 관한 시나리오를 LOPA(Layer of Protection Analysis)양식으로 정리 하였다. 다음으로 LOPA 기록지를 근거로 고장수목분석을 수행하였다. 정점사상으로서 Pilot LNG 저장설비 및 관련 배관에서의 LNG 또는 NG누출은 (1) 저장탱크 과충전(Overfill), (2) 저장탱크 과압(Overpressure), (3) 저장탱크 부압(Vacuum), (4) 격리구간의 열팽창(Thermal Expansion), (5) 압력안전밸브(PSV)또는 배기밸브의 열림, (6) 기계적 건전성 상실로 구분하였다.

2.2.2 고장수목 작성

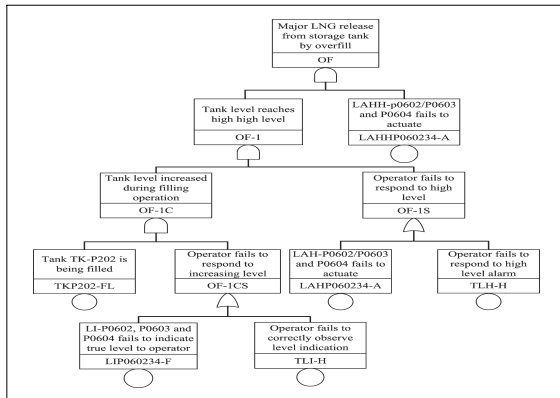


Fig 1. Fault tree for overfill in storage tank.

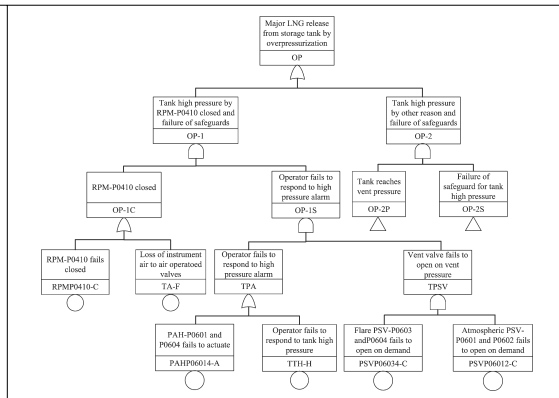


Fig 2. Fault tree for overpressure in storage tank(1)

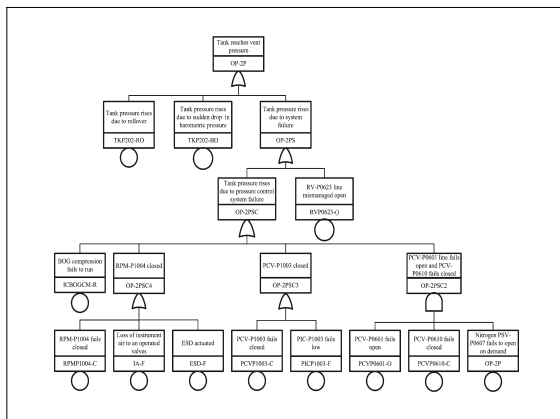


Fig 3. Fault tree for overpressure in storage tank(2)

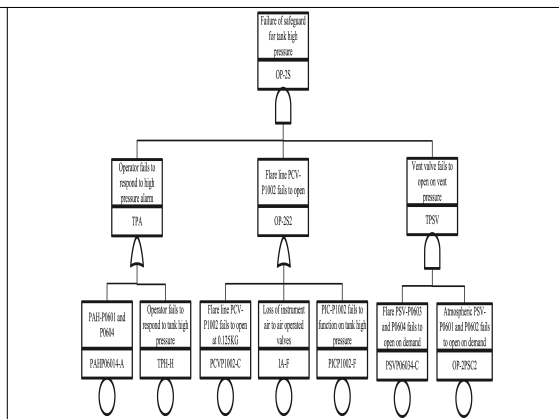


Fig 4. Fault tree for overpressure in storage tank (3)

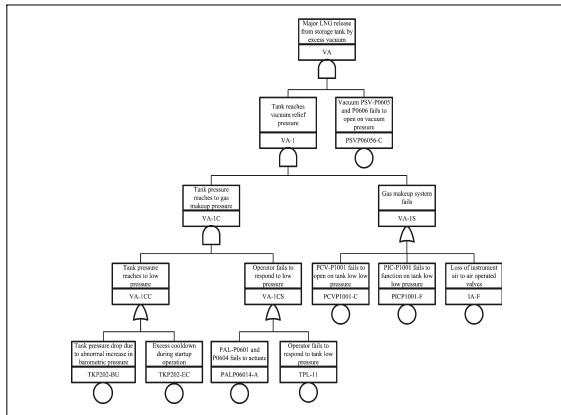


Fig 5. Fault tree for vacuum in storage tank.

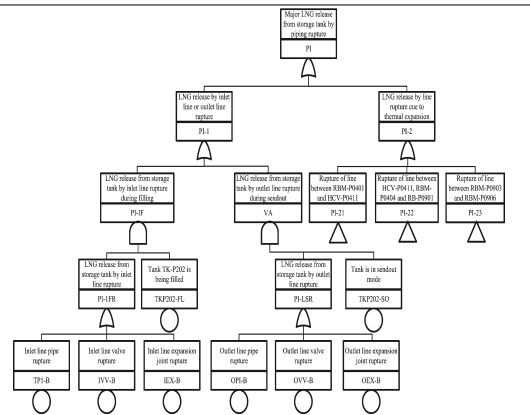


Fig 6. Fault tree for pipe rupture

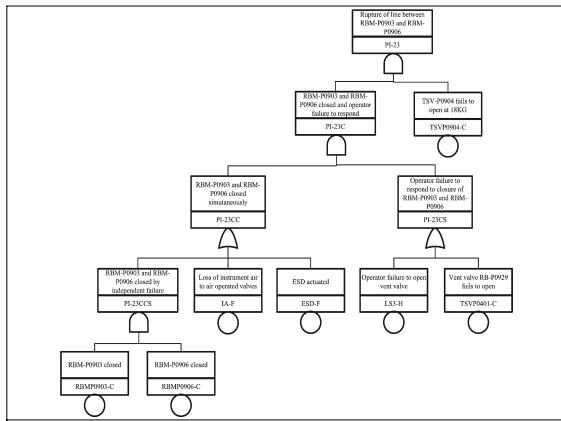


Fig 7. Fault tree for tank tank connecting pipes.(3).

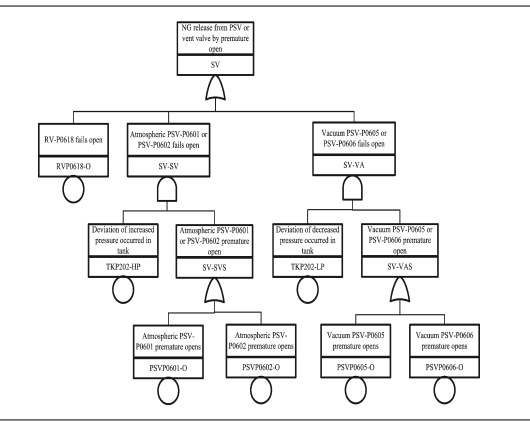


Fig 8. Fault tree for mechanical loss.

2.2.3 정량화 결과

Table 4. Quantitative result of fault tree analysis

Reporting for TANK							
value= 1.58E-02							
Final Cut Sets							
no.	value	f-v	acc	cut sets			
1	5.50E-03	0.3485	0.3485	LAHP060234-A	TKP202-FL	TLH-H	LIP060234-F
2	1.47E-03	0.0931	0.4417	TKP202-LP	PSVP0606-O		
3	1.47E-03	0.0931	0.5348	TKP202-HP	PSVP0601-O		
23	2.09E-08	0.0000	1.0000	TSVP0904-C	LS3-H	RBMP0903-O	PBMP0906-O
24	8.06E-09	0.0000	1.0000	PSVP06056-C	PICP1001-F	TKP202-EC	TPL-H
25	8.06E-09	0.0000	1.0000	PSVP06056-C	PICP1001-F	TKP202-BU	TPL-H
30	2.82E-09	0.0000	1.0000	PSVP06056-C	PICP1001-F	TKP202-BU	PALP06014-A
31	1.86E-09	0.0000	1.0000	PSVP06056-C	IA-F	TKP202-EC	TPL-H
32	1.86E-09	0.0000	1.0000	PSVP06056-C	IA-F	TKP202-BU	TPL-H

2.3. 중요도

기본사건의 중요도는 Fussel-Vesely 중요도(F-V), 위험도달성가치(Risk Achievement Worth : RAW), 위험도감소가치(Risk Reduction Worth : RRW)의 3가지 척도로 나타내었다. F-V 중요도는 해당 기본사건이 포함되는 모든 최소단절군 빈도의 합과 전체 빈도의 비로서 정의된다.

Table 5. Significance for basic events in fault tree analysis

no.	event	mean	F-V	RRW	RAW
1	TKP202-FL	1.00E-01	0.4263	1.7431	4.8366
2	LAHHP060234-A	5.00E-01	0.3654	1.5759	1.3654
3	TLH-H	5.00E-01	0.3643	1.5732	1.3643
4	LIP060234-F	2.20E-01	0.3495	1.5374	2.2393

3. 결론

사고발생빈도 정량화 결과 천연가스누출빈도는 점추정치로 1.62E-2/yr로 나타났으며, 이는 평균적으로 60년에 한 번 정도 누출이 발생하는 것을 의미한다. 또한 누출빈도에 기여하는 최소 단절 군 (group of Cut Set)을 살펴보면 첫째 저장탱크 충전 중 고액위 경보에서 운전원의 조치가 적절하지 못하여 비상정지가 실패한 경우가 천연가스 누출의 가장 큰 기여를 하는 것으로 나타났고, 둘째 저장탱크 상부의 과압 방지용 PSV가 열리거나, 부압방지용 PSV가 열려 기체상태의 천연가스가 누출되는 사건, 셋째 탱크 상부의 배기밸브가 열려 천연가스가 누출되는 것, 넷째 탱크 자체의 기계적 건전성 상실로 인해 천연가스가 대규모로 누출되는 사건, 다섯째 탱크 입구와 출구 쪽 배관의 연결부 및 밸브가 손상되는 것으로 사건 순으로 분석되었다. 한편 중요도 순위를 보면 RRW 측면에서는 탱크 충전 운전모드, 탱크 고고액위 신호, 탱크 고액위시 운전원 조치, 탱크 액위 지시기의 순으로 나타났으며, RAW 관점에서는 탱크 배기밸브의 열림과 탱크의 기계적 건전성, 탱크상부 압력안전밸브의 열림, 탱크입구 및 출구배관의 밸브, 연결부 등의 파손이 중요한 것으로 나타났다. 이상에서 살펴본 바와 같이 본 연구를 수행함으로써 천연가스 공급시설의 취약설비에 대한 개선 압력작용으로서 효율적인 사고예방활동의 역할을 기대할 수 있고 향후 천연가스 공급시설의 신설 및 확충시에 가스의 누출에 따른 빈도 및 결과 영향을 가장 적절하게 평가할 수 있는 수치적 이론 및 software model들을 더욱 더 검토하여 누출에 대한 모델링을 발전시킴으로서, 인간의 건강, 환경, 안전에 미치는 영향을 평가하기 위한 세분화된 정량적인 유해위험성 평가기술을 마련해야 할 것이다.

참고문헌

1. Piping and Instrument Diagram, Rev .1, September, (1988).
2. Preliminary Safety & Environmental Assessment, Rev .0, Proj-PM021,(1988).
3. Fire-fighting & Fire Protection Specification, Rev. 0, DOC-X-022, August, (1988).
4. Occupational Safety & Health Administration, 29CFR1910.119 Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, USA, (1992).
5. Crowl, D.A., Louvar, J.F., Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications, Prentice, Inc., (1990).
6. Fthenakis, V. M., Prevention & Control of Accidental Release of Hazardous Gases, Van Nostrand Reinhold, (1993).
7. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Second Edition with Worked Examples, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, (1992).
10. Guidelines for Process Equipment Reliability Data, CCPS for American Institute of Chemical Engineers, (1989).