

C-14

LNG 저장시설에 있어서의 탱크지역에 대한 사고영향분석

고재선*, 김효
서울시립대학교 화학공학과

Accidents Effect Analysis of Tank Area in Liquefied Natural Gas Storage Facility.

Ko Jae-Sun*, Kim Hyo
Department of Chemical Engineering University of Seoul

I. 서론

LNG 저장시설의 LNG 누출에 따른 사고 시나리오를 정성적/정량적 위험성 평가 결과를 토대로 분석하였고, 작성된 사고 시나리오 별로 피해범위 및 영향 분석을 수행하였다. 분석된 결과를 토대로 사고시의 피해를 예측함으로써, LNG저장시설내 사고시 피해를 최소화 할 수 있는 방법 및 계획을 수립하는데 활용함으로써 안전성 향상에 기여하고자 한다.

예비분석결과 사고시나리오 중 NG의 누출 사고는 주위 온도에서 완전히 기화되고 연소하한치(Lower Flammalbe Limit, LFL)보다 낮은 농도로 급격히 공기와 혼합되기 때문에 그 피해 규모가 LNG 누출 사고에 비해 작아 본 분석에서 배제하였고, 본 연구에서는 저장탱크 파손으로 인한 LNG 누출사고를 가장 최악의 대상(Target) 시나리오로 한정하고 LNG 누출시의 저장시설내 탱크지역에서의 피해 결과를 분석하였다.

II. 본론

2.1 누출 원형(Release Source Term) 및 입력데이터(Input Data)

누출시 압력은 각 시스템의 운전압력을 고려하여 탱크의 경우 탱크 설계 압력인 $0.23 \text{ KG/cm}^2\text{G}$ 로 가정하였고, LNG 누출의 위치는 지상 및 해상(하역설비에서 LNG 누출시)으로, 지형의 정도를 표현하는 Roughness는 지상의 경우 0.1 m, 해상의 경우 0.03으로 가정하였다. 탱크 파손의 경우 10분, 30분, 60분의 누출 시간을 선정 이를 기준으로 누출 원형을 산정하였다.

대기 안전성은 최악의 결과를 발생 시키는 조건을 선정하였다. 즉 기상조건은 대기 안전성 F 등급, 풍속은 작은 속도(1.5m/s)로 적용하였다. 대기안전성 F 등급은 대기가 매우 안정되어 있음을 의미하며, 화재 및 폭발에 대한 분석 결과가 보수적인 값으로 유도하기 위해 선택되었다. 대기 온도는 평균 온도인 20°C 로 보았으며, 습도 50

%를 사용하였다.

2.2 확산 모델(Dispersion Model)

검색된 사고 시나리오별 피해 결과를 예측하기 위해 LLC에서 제작한 화학물질의 위험성 관리를 위한 소프트웨어 누출사고 결과 분석을 위한 확산 모델로 TRACE 8.2가 활용되었다. 그리고 LNG 탱크 파손시의 풀화재 분석에 LNG 누출시 풀화재 분석에 사용하는 범용적인 소프트웨어 LNGFIRE3를 사용하였다.

2.3 탱크지역에서의 누출 사고 시나리오

탱크지역에서의 LNG 누출은 총 4개의 시나리오로 구분하였다. 시나리오는 하역 중 과충전으로 인한LNG의 누출(TK-01), 그리고 최악의 시나리오로 탱크 파손으로 인한 누출사고이다(TK-02/03/04). 탱크의 파손은 과압 발생으로 인한 탱크 파손시의 LNG 누출(TK-2), 진공발생으로 인한 탱크 파손시의 LNG 누출(TK-3), 건전성 상실로 인한 탱크 파손시의 LNG 누출(TK-4) 등으로 구분될 수 있다. 본 분석에서는 탱크 파손의 경우 탱크 내용물(100,000 m³가정)이 전부 방액제 내로 누출된다고 가정하였다.

Table 1. Accident scenarios of tank area

Number of Scenario	Scenario	Release Velocity (kg/s)	Line Diameter (inches)	Release Time (초)	Total Release Amount (kg)	Release Type
TK-1	하역시 과충전으로 인한 LNG누출	493	8.5	300	147,930	LNG
TK-2	탱크파손-과압발생으로 인한 탱크파손시의 LNG누출(TK-2)	79,100,	-	600	47,460,000	LNG
TK-3	진공발생으로 인한 탱크파손시의LNG누출(TK-3)	26,366	-	1800	47,460,000	LNG
TK-4	건전성상실로 인한 탱크파손시의 LNG누출(TK-4)	13,183	-	3600	47,460,000	LNG

2.4 탱크지역에서의 사고피해범위 분석결과

피해 범위는 5 kW/m², 12.5 kW/m² 그리고 37.5 kW/m² 의 복사열이 미치는 거리와 1 psi, 3psi 그리고 10 psi의 과압이 미치는 거리를 도식하였고 탱크 방액제의 크기는 약 13,678 m² , 그리고 높이는 약 13 m로 보았다.

Table 2. Results of accident scenarios at LNG release in tank area

Number of Scenario	Mamium LFL radius(m)	Distance approach Radiation heat(m)			Distance approach overpressure(m)		
		5 (KW/m ²)	12.5 (KW/m ²)	37.5 (KW/m ²)	1Psi	3Psi	5Psi
TK-1	1,208	785	552	401	621	192	72
TK-2	1,002	1,232	965	831	2,154	665	251
TK-3	906	1,090	775	661	1,568	741	182
TK-4	774	1,068	710	589	1,250	386	145

2.5 LNGFIRE3 를 이용한 풀화재 계산 결과

Table 3. Results of calculations for pool fire

Velocity of wind - 1.5 , 5, 7 (m/s)			
LNGFIRE MODEL RESULTS : 132 M DIAMETER CIRCULAR POOL			
INPUT		OUTPUT	
MOLECULAR	17.00	MASS BURNING RATE(KG/m ² S)	0.11000
LNG LIQUID DENSITY (KG/M ³)	432.00	FLAME LENGTH (M)	144.91
BOILING TEMPERATURE (K)	112.00	FLAME TILT FROM VERTICAL(DEG)	0.00
			22.76
			38.80
FLAME BASE HEIGHT (M)	0.00	FLAME DRAG RATIO	1.00
			1.14
			1.20
TARGET HIGHT (M)	0.00	BFF . EMISSIVE POWER (KW/m ²)	190.00
POOL DISMETER (M)	132.00	THERMAL FLUX (KW/m ²)	FEDERAL CODE DISTANCES FROM CENTER OF POOL
			140.88
			180.54
WIND SPEED (M/S)	1.50	31.5	218.16
	5		180.02
	7		227.90
AMBIENT TEMPERATURE (C)	20.00	21.1	255.11
			238.87
			285.79
307.44RELATIVE HUMIDITY (%)	50.00	12.6	307.44
			377.14
			418.73
		5.05	427.87

2.6 탱크지역에서의 사고빈도

일상의 건물이 피해를 입어 파손되는 크기의 복사열과 폭발압으로 건물에 있는 근무자의 경우에 대해서도 피해를 입을 수 있는 피해 범위를 계산하기 위해 복사열의 경우 37.5 kW/m² 그리고 폭발압에 대해서는 10 psi 를 기준으로 보았다.

Table 4. Accident frequency in tank area

Number of Scenario	Scenario	Distance approach Radiation heat(m) -37.5 kw/m'	Distance approach overpressure (m) -10 psi	Release frequency (/yr)
TK-1	하역시 Overfilling으로 인한 LNG누출	401	72	1.20E-05
TK-2	탱크파손-과압발생으로 인한 탱크파손시의 LNG누출	831	251	3.26E-05
TK-3	진공발생으로 인한 탱크파손시의LNG누출	661	182	2.92E-05
TK-4	건전성상실로 인한 탱크파손시의 LNG누출	589	145	8.76E-05

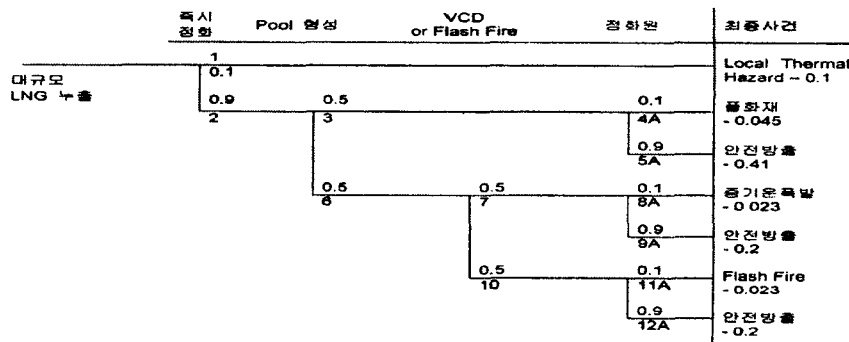


Fig 1. Event-tree for greatest ignition sources of accident scenarios

2.7 탱크지역에서의 개인적위험성(Individual Risk)

개인적위험성이란 위험에 노출된 사람에 대한 위험성으로 여기에는 개인에게 미치는 사건의 정도, 일어난 사건의 가능성 그리고 사건을 일으키는 기간 등이 포함된다. 각 지역별 사고 시나리오가 개인에 미칠 수 있는 사건은 복사열(37.5kW/m²)과 폭발압(10 psi)으로 보았으며, 개인적위험성은 각 지역별 사고 시나리오에 대해 사건거리별 사건 빈도로 계산하였다.

2.8 탱크지역에서의 사회적위험성(Social Risk)

사회적위험성이란 위험에 노출된 대상 지역에 대한 위험성을 나타낸다. 각 지역별 사고 시나리오가 저장시설 전반에 미칠 수 있는 사건은 복사열(37.5kW/m²)과 폭발압(10 psi)으로 보았으며, 사회적위험성은 각 지역별 사고 시나리오에 대해 인명피해수별 사건 빈도로 계산하였다.

Table 5. Results of total individual risk for pool fire & explosion frequency

Damage of radiation heat (pool fire)			Damage of overpressure (explosion pressure)		
Distance(m)	Frequency of occurrence	Total individual risk (1/yr)	Distance(m)	Frequency of occurrence	Total individual risk (1/yr)
297	1.59E-06	1.54E-04	29	8.11E-07	7.87E-05
305	3.34E-06	1.53E-04	46	8.11E-09	7.79E-05
354	1.59E-08	1.49E-04	49	1.70E-06	7.79E-05
355	1.59E-06	1.49E-04	50	8.11E-07	7.62E-05
368	1.43E-08	1.48E-04	51	1.07E-05	7.54E-05
388	2.08E-05	1.48E-04	60	1.46E-08	6.48E-05
400	2.87E-06	1.27E-04	61	7.30E-09	6.47E-05
.....					
477	1.52E-08	5.16E-05	133	1.81E-12	1.37E-05
483	2.47E-05	5.16E-05	145	1.07E-06	1.37E-05
488	1.52E-08	2.69E-05	151	1.26E-05	1.26E-05
490	1.52E-08	2.69E-05	182	3.57E-11	3.99E-08
527	2.47E-05	2.69E-05	250	3.99E-08	3.99E-08
589	2.10E-06	2.18E-06			
660	6.99E-11	7.81E-08			
831	7.80E-08	7.80E-08			

Table 6. Results of individual risk estimation for occurrence of accidents in tank area

Distance from accident area(m)- radiation heat	Frequency of occurrence	Total Accumulation frequency of occurrence	Distance from accident area (m)- explosion pressure	Frequency of occurrence	Total frequency of occurrence
661-831	7.80E-08	7.80E-08	183-250	3.99E-08	3.99E-08
590-660	6.99E-08	7.81E-08	146-182	3.57E-11	3.99E08
401-589	2.10E-06	2.18E-06	73-145	1.07E-06	1.11E-06
0-400	2.87E-06	5.05E-06	0-72	1.47E-06	2.58E-06

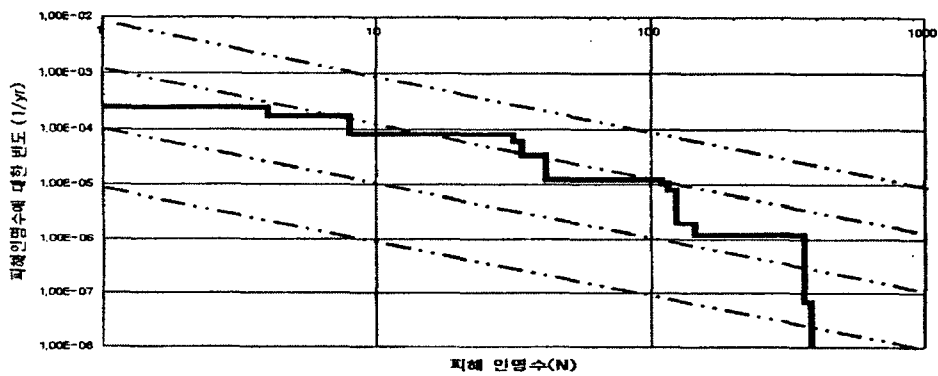


Fig 2. F-N curve for social risk in LNG storage facility

III. 결론

정성분석 및 빈도 분석에서 도출된 사고 시나리오에 대해서 사고 영향 분석을 수행한 결과 LNG 누출 사고 시나리오중 저장탱크 파손으로 인한 LNG 누출사고가 최악의 시나리오로 나타났다. 분석된 사고 시나리오의 결과를 살펴보면, 누출 시간이 짧아 폭발압의 피해보다는 복사열에 의한 피해를 더 큰 것으로 나타났으며, 장기간 소규모의 누출의 경우 복사열의 피해보다는 폭발압의 피해가 더 크게 나타났다.

또한 풍속의 크기에 따라 복사열이 미치는 거리에 영향이 있음을 알 수 있다. 즉 풍속이 클수록 복사열의 피해가 커짐을 알 수 있다.

세부적인 분석결과, 첫째 개인적 위험성으로 탱크지역은 $5.05E-06$ 및 $2.58E-06$ 으로 나타났으며, 전체 빈도를 보면, 화재의 발생 가능성은 $1.54E-04$, 그리고 폭발발생 가능성은 $7.87E-05$ 로 나타났다.

둘째 사회적위험성으로서 그림 2는 위험도 곡선(F-N curve)으로 저장시설지의 위험성의 관리기준(Risk Management Criteria)을 만들 수 있다. 즉 저장설의 위험성 관리 기준을 정하고 이를 기준으로 허용되는 위험성(Acceptable)과 허용되지 않는 위험성(Unacceptable)을 찾아낼 수 있어 허용되지 않는 위험성을 줄이는 작업을 통해 전체 저장시설의 위험성을 낮출 수 있는 중요한 Tool이 될 수 있기 때문이다.

셋째 이러한 누출사고로 인한 화재나 폭발이 발생하는 경우, 인구밀집 지역의 분포와 관련되어 사고의 피해범위가 결정되는데, 탱크지역에서의 누출사고나 LP 지역에서의 누출 사고 등은 가스기공 사무실과 Control Room 과 인접한 이유로 매우 위험한 결과를 가져올 수 있기 때문에 이들 지역에 대한 안전관리체계상 우선 순위선정이 매우 중요하다.

참고문헌

1. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, Workbook of Test Cases for Vapor Cloud Source Dispersion Models, 1989.
2. Daniel A. Crowl/Joseph F. Louvar, Chemical Process: Safety Fundamentals with Application, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990.
3. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, Guidelines for Use of Vapor Cloud Source Dispersion Models-Second Edition, 1996.
4. Loss Prevention in the Process Industries, Frank P. Lees, 2nd ed., 1996.
5. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, Workbook of Test Cases for Vapor Cloud Source Dispersion Models, 1989.
6. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1989.