



소형 LPG 저장탱크 매몰 설치에 대한 피해영향평가

송동우 · 전운영 · †이수경

서울과학기술대학교 안전공학과

(2015년 7월 15일 접수, 2015년 8월 25일 수정, 2015년 8월 26일 채택)

An Estimation of the Consequence Analysis for an Underground Installation of the LPG Storage Tanks

Dong-Woo Song · Woon-Young Jun · †Su-Kyung Lee

Dept. of Safety Engineering, Seoul National Univ. of Science & Technology,
Seoul 139-743, Korea

(Received July 15, 2015; Revised August 25, 2015; Accepted August 26, 2015)

요 약

본 논문에서는 LPG 소형저장탱크의 보급확대에 따른 위험성감소 방안으로 소형저장탱크의 지상 및 지하매몰 설치에 대한 피해영향평가를 수행하였다. 지하에 설치된 소형저장탱크의 피해영향평가를 수행하기 위해 FDS를 활용하여 격납형으로 설치된 소형저장탱크를 모사하였고, FDS로부터 소형저장탱크실의 최대 압력을 도출하여 피해영향평가 프로그램인 Phast의 입력변수로 활용하였다. 지상 및 지하에 설치된 소형저장탱크의 각각의 피해영향평가를 시뮬레이션을 통해 연소하한계(LFL) 및 연소상한계(UFL)의 확산범위, 고압분출화재(Jet fire), 폭발 등 피해영향을 정량적인 수치로 제시하였다.

Abstract - In this paper, the consequence analysis has been evaluated for the damage effects of the LPG storage tanks when they are installed on the ground or underground. They should be performed to identify measures to reduce risks for the LPG storage tanks which are more widely used. In order to conduct a damage effect evaluation of the LPG storage tanks installed underground, FDS was used to simulate the LPG storage tanks installed and housed within a facility. The maximum pressure of the storage facilities for the LPG storage tanks has been calculated from the FDS, and it's results are used as an input variable for Phast which is a commercial software for evaluating the damage effects. Getting results from the consequence analysis and computational simulations(diffusion range of LFL and UFL, jet fire or explosions) were quantitatively presented for the damage effects.

Key words : FDS, Phast, Consequence analysis, LPG Storage Tanks

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 필요성

소형저장탱크는 1990년대 중반부터 우리나라에

보급되기 시작하여, 최근 정부에서도 LPG 유통구조 효율화 및 취약계층 에너지복지 향상을 위해 소형저장탱크 지원사업을 추진 중에 있다. 2013년부터 2017년까지 5년간 총 213억원 규모의 예산을 투입, 도시가스가 공급되지 않는 지역의 사회복지시설 등을 대상으로 소형저장탱크 보급을 지원하고 있으며, 또한 연료비 감소와 편의성 증진을 위한 방안으로

†Corresponding author:lsk@seoultech.ac.kr

Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

Table 1. Status of the installed LPG storage tanks

Division (kg)	below 250	250~ 500	500~ 1,000	1,000~ 2,000	2,000~ 3,000	Total
Amount	7,264	10,787	9,266	4,179	5,756	37,252



Fig. 1. Fire case caused by failed small-sized LPG storage tanks.

도시가스가 공급되지 않는 지역에 마을단위로 LPG 소형저장탱크와 배관망 설치 사업이 추진되고 있는 등 LPG 소형저장탱크의 보급이 빠르게 확대되고 있다. 현재 한국가스안전공사가 집계한 LPG 소형저장탱크 설치현황에 따르면 전국에 모두 37,252기가 설치됐다. 250 kg ~ 500 kg 이하가 10,787개로 가장 많았으며 500 kg ~ 1,000 kg 이하가 9,266개, 250 kg 이하가 7,264개, 2,000 kg ~ 3,000 kg 이하가 5,756개, 1,000 kg 에서 2,000 kg 이하가 4,179개로 뒤를 이었다. 이 같은 수치는 2010년 전국 소형저장탱크 설치 개수가 24,073개인데 비해 54.7% 늘어난 것으로 조사되었다.

LPG 소형저장탱크의 보급 확대에 의한 사고의 위험성도 함께 증가한다. 이에 대한 안전성 검토도 필요할 것이다. 장갑만, 김지선[1] 등은 “LPG 소형저장탱크 지하매몰에 따른 안전성 분석”에서 소형저장탱크가 지하에 매몰 설치 시 예상되는 좁은 공간의 효율적 이용과 안전거리 축소 가능, BLEVE 사고 예방이라는 안전향상 효과가 있다는 장점이 있지만, 상대적으로 장기 사용시 수분의 영향으로 인한 부식 위험성이 동시에 존재하므로 이에 대해 위험성 비교를 통해 매몰에 따른 타당성을 고찰하였다.

이기연, 손상근[2] 등은 “LP가스 소형저장탱크의 사고사례분석 및 대책에 관한 연구”에서 LPG 소형저장탱크 사고사례 중에 전도로 인한 충격으로 가스 누출로 인한 화재가 발생한 사례가 있다고 나타났다. 따라서 LPG 소형저장탱크 매몰 설치 시 Fig. 1와 같은 전도로 인한 사고 발생을 방지할 수 있다.

이처럼 본 연구에서는 LPG 소형저장탱크의 지하 설치에 따른 위험정도를 정량적으로 평가하여 지상

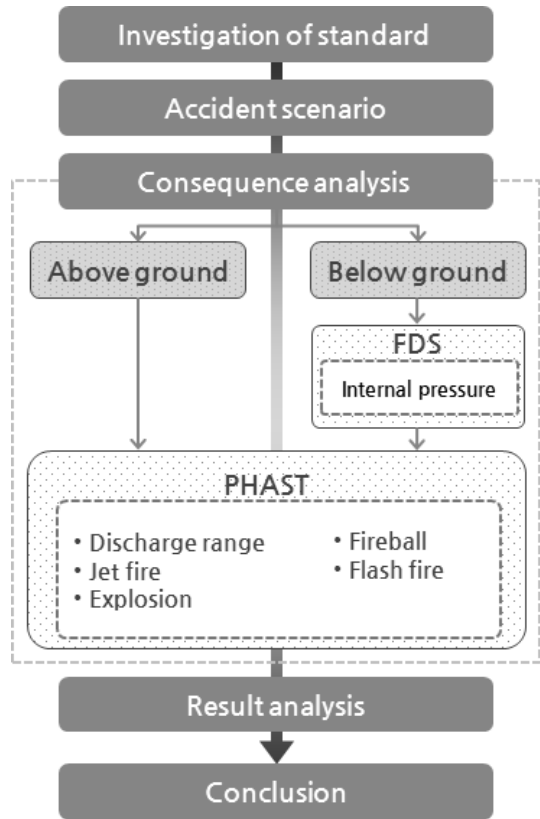


Fig. 2. Study procedure.

에 설치할 경우와 지하에 설치할 경우의 피해영향평가를 비교하고자 한다.

1.2. 연구의 구성 및 방법

본 논문에서는 LPG 소형저장탱크의 지하 설치에 따른 피해영향평가 방법 및 결과를 제시하고 지상 설치와 피해영향을 비교하고자 한다. 본 논문의 피해영향평가는 Fig. 2에 따라 진행하였다.

1.3. 국내의 기준

(1) 국내

LPG 소형저장탱크는 KGS FU 432 소형저장탱크에 의한 액화석유가스 사용시설의 시설·기술·검사 기준[4], 2014 2.3.3.3에 의하면, 지상설치식으로 옥외에 설치하도록 나타내고 있다. 또한, 소형저장탱크는 건축물이나 사람이 통행하는 구조물의 하부에 설치하지 않는 것으로 하고, 습기가 적고, 통풍이 잘되는 장소, 기초의 침하, 산사태, 홍수 등에 의한 피해의 우려가 없는 장소에 설치하는 것으로 한다.

(2) 미국

미국에서는 2000 gal 이하의 저장탱크에 대해 지하 설치를 허용하고 있으며, TANK 설치 시 NFPA 58 NFPA 58: Liquefied Petroleum Gas Code[5] 에 의해서 설치하고 있다. 이격거리에 관한 사항을 나타냈다. 건축물과 3 m이상 이격거리를 제시하고 있으며, 화기로부터 방출관까지의 거리 또한 3 m이상의 이격거리를 제시하고 있다.

(3) 영국

영국 표준 규격 BS EN 14570(LPG equipment and accessories. Equipping of overground and underground LPG vessels)에 따르면 LPG 저장 탱크의 지상 설치와 지하 설치 장비에 대한 기준을 다루고 있고, 지상 및 지하의 설치가 허용하고 있다. 또한, 지하 매설 설치 시 내부 음극 부식방지법(Cathodic protection)에 대한 기준은 BS EN 12499:2003에서 다루고 있다.

(4) 호주

AS/NZS 1596 규격(The storage and handling of LP GAS)은 LP가스 저장탱크 시스템 및 구성요소, 저장탱크와 실린더의 설치방법 및 취급방법, 안전거리, 화재 안전 등의 기준을 포함하고 있으며, 실제 가스공급업자의 거래 안내서 등에 참조되어 시행 중이다.

호주는 AS/NZS 1596:2008 에 의하여 LPG 용기 매립이 허용되어 있고, 가정용 지하 매립 시스템을 공급하는 업체도 다양하다. 호주의 경우, 매립 전용 플라스틱 용기를 묻고 그 내부에 LPG 저장 실린더를 삽입하는 형태로 설치된다. LPG 용기 매립에 사용되는 전용 플라스틱 케이스는 일정한 규격이 존재하며, 플라스틱 재질을 사용하여 습기나 화기 등에 의한 LPG 용기의 부식 혹은 파손을 방지한다. 매립된 LPG 용기는 개인의 불법 충전을 막기 위한 안전 규정에 의해 공급처에서만 재충전이 가능하며, 지하 매립 후 10년이 지나면 회수되어 안전 검사를 실시한다.

(5) 일본

일본에서는 1ton 이하의 저장탱크에 대해 지하 설치를 허용하고 있으며, TANK 설치 시 다음의 내용을 고려하여 설치하도록 하고 있다. 저장탱크실을 만들어 모래와 함께 매몰하는 방식을 사용하고 있다.

II. 시뮬레이션 개요 및 방법

2.1. LPG 소형저장탱크 선정

LPG 소형저장탱크 보급사업의 설치기준에 따르면, 5가지 용량으로 탱크를 200 kg, 500 kg, 1,000 kg, 2,000 kg, 2,900 kg으로 나누고 있다. 그 중 사용량이 가장 많은 3가지 충전용량인 200 kg, 500 kg, 1,000 kg으로 나누어 소형저장탱크의 지상 및 지하 설치 시의 피해영향평가를 분석하고자 한다.

2.2. 시뮬레이션 평가 방법

피해영향평가는 시뮬레이션 툴인 Phast 6.6을 활용하지만 소프트웨어의 특성상 지하 설치된 탱크에 대한 분석이 곤란하여 입력변수 값을 확보하기 위하여 FDS(Fire Dynamics Simulator) 5.5.3를 활용하였다. 입력변수 값을 Phast에 입력하여 지하조건이 되도록 시뮬레이션을 진행하였다.

복사열 및 과압의 기준을 설정하기 위해 KOSHA CODE P-102-2013 사고피해예측기법[6]을 참고하여 누출되는 LPG의 화재 및 폭발로 인하여 사업장내의 근로자 및 주변 시설에 미치는 화재, 폭발의 영향을 계산한다. 복사열은 5 kW/m^2 , 과압은 1 psi 기준으로 하였다.

2.3. 사고 시나리오

LPG저장탱크에서의 대표적인 사고는 Fig. 3와 같은 누출원과 점화원 등에 의하여 여러 가지 형태로 발생하게 된다. 지상에 설치될 경우 용기폭발의 대표적인 사고로서 BLEVE가 발생할 수 있으며 용기 파열시 용기 내 다량의 물질이 폭발적으로 증발하여 과압(Overpressure)을 형성하고 파편이 비산하게 된다. BLEVE 조건 및 가능성을 정량화한 국내 연구결과에서 탱크 plate 온도가 600℃이고, 탱크 내부 온

Initiating event	Immediate ignition	Delayed ignition	Explosion	Failure of Safety valve	Outcome
Continuous	Yes			Yes	BLEVE
				No	JET FIRE
	No		Yes	Yes	EXPLOSION
			No	No	FLASH FIRE
Instantaneous	Yes				GAS LEAK
	No		Yes	Yes	EXPLOSION
			No	No	FLASH FIRE
			No	GAS LEAK	

Fig. 3. Incident scenario of when LPG storage tank is installed on the ground.

Initiating event	Immediate ignition	Delayed ignition	Outcome
Continuous	Yes		JET FIRE
	No	Yes	EXPLOSION
Instantaneous	Yes	No	GAS LEAK
	No	Yes	EXPLOSION
		No	FLASH FIRE
		No	GAS LEAK

Fig. 4. Incident scenario of when LPG storage tank is installed underground.

도가 53℃일 때 액축전량은 43.68% 이상일 경우에 BLEVE의 발생이 가능한 것으로 제시하고 있다[3].

Fig. 4와 같이 지하에 LPG저장탱크가 설치될 경우 외부에 화재나 열원에 노출될 환경에 대해 차단이 가능하다.

지하에 설치되는 저장탱크의 형태에는 크게 지하매몰형과 격납형으로 분류될 수 있다. 지하매몰형의 경우 저장탱크 주변을 모래로 매워 수분이 침투할 경우 부식 등에 의한 위험성과 재검사가 어려운 단점이 있다. 격납형의 경우 저장탱크실 내부 공간에 가스가 체류할 위험성이 있다. 하지만 경제적 관점에서 보면 기존의 지하매몰 저장탱크에 비하여 모래를 부설하지 않아도 되기 때문에 경제적 이익이 발생한다. 또한, 시공성이 향상되어 공사기간이 단축은 물론 안전점검을 수행함에 있어 편리하게 운용할 수 있어, 사전에 안전사고를 예방할 수 있다고 판단된다. 본 연구에서는 지상 설치식 및 지하 격납식 소형저장탱크의 사고피해영향에 대해 시뮬레이션을 통하여 비교 분석할 것이다.

2.4. 공정 입력 조건

(1) 공정조건

LPG 소형저장탱크 지하 격납식에 따른 피해영향평가를 위해 평가대상은 200 kg, 500 kg, 1,000 kg의 소형저장탱크를 설정하였으며 공정조건은 아래의 Table 2와 같다.

지상 및 지하설치에 따른 LPG 소형저장탱크의 위험성 평가를 위하여 누출부의 크기에 대한 시나리오를 설정하였다. 누출부의 크기는 LPG 저장탱크에서 사용하는 안전밸브의 지름 50 mm를 기준으로 하고, 지하에 설치된 저장탱크는 격납식으로 모래가 없는 상태에서 누출된 것으로 설정하였다. 저장탱크에서 누출된 가스가 저장탱크실의 검수구를 통해 외부로 누출되며, KGS FU 331[7] 저장탱크 지하설치에서 제시하는 검수구의 크기를 기준으로 검수구의 면적을 0.005 m²로 설정하였다.

Table 2. Condition for simulation

Classification	Data
Leaked material	LPG
Temperature	24 ℃
Pressure	0.8 MPa
Leaked condition	Gas
Size of leak	50 mm
Direction of leak	Vertical / Horizontal
Volume of leak	200 kg / 500 kg / 1,000 kg
Size of check hole	0.005 m ²

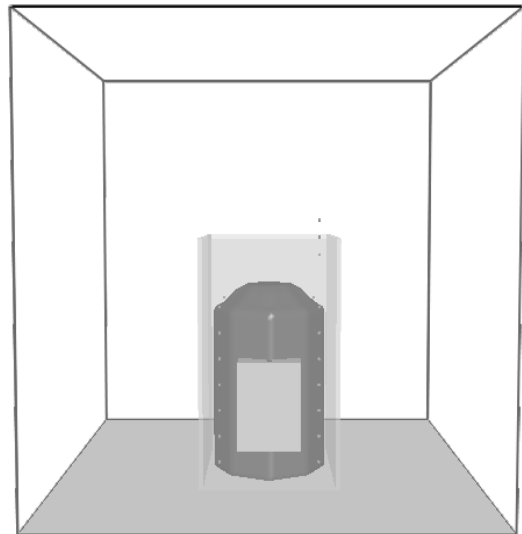


Fig. 5. Leak model design of tank chamber.

(2) FDS를 통한 Phast 입력조건 도출

Phast는 지상에서 화재, 폭발, 확산 등을 가정하여 피해영향평가를 수행하는 프로그램이다. 저장탱크가 지하에 설치되어 있는 상태에서 저장탱크실에 누출될 경우 피해영향평가를 하는 것은 불가능하다. 저장탱크에서 누출된 LPG 가스가 저장탱크실을 통해 지상으로 분출되는 상황을 CFD 프로그램인 FDS를 통해 모사하여 저장탱크실 내부에 발생하는 최고압력을 도출하였다. 이에 따라 도출된 압력값을 Phast에 입력하여 저장탱크실에서 지상으로 LPG 가스가 누출되었을 때의 영향을 평가하여 지상에 설치된 저장탱크와 지하에 설치된 저장탱크의 피해영향평가를 비교하였다.

저장탱크실내의 LPG 소형저장탱크에서 누출된

경우를 가정하여 Fig. 5와 같이 해석영역을 모델링하였다.

(3) 지하 설치식 소형저장탱크 FDS 결과

지하 저장탱크실 내 저장탱크로부터 Leak가 발생하여 가스가 누출될 경우 저장탱크실 내부압력이 상승하게 된다. 이때 저장탱크와 저장탱크실 사이의 거리가 작을 경우 내부 압력에 차이가 발생 할 수 있으므로 시뮬레이션을 통해 200 kg, 500 kg, 1,000 kg의 저장탱크에서 LP 가스가 누출되는 것을 가정하

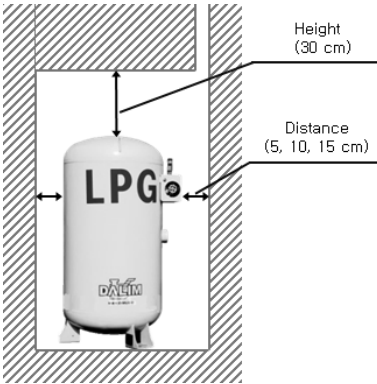


Fig. 6. Scenario for simulation by distance.

Table 3. Maximum internal pressure of the storage tank room in accordance with the distance from the storage tank

Capacity (kg)	Distance from tank to chamber (cm)	Maximum internal pressure (MPa)
200	5	0.19
	10	0.19
	15	0.17
500	5	0.19
	10	0.17
	15	0.17
1,000	5	0.19
	10	0.17
	15	0.17

여 다음 Fig. 6과 같이 거리를 변경하여 시뮬레이션을 구동하였다.

Table 3은 저장탱크의 충전용량 및 저장탱크와 저장탱크실 사이의 거리에 따라 최대 내부압력을 도출한 결과이다. 충전용량은 저장탱크실 내부압력 상승에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며, 저장탱크와 저장탱크실 사이 거리가 멀어질수록 최대 내부압력은 낮은 것으로 나타났다. 그리고 거리가 5cm 이하일 때, 최대 내부의 압력은 0.19 MPa 까지 높아지는 것을 확인하였다. 해당 최대 내부 압력을 소형저장탱크 지하설치식의 Phast 입력값으로 하여 피해영향평가 비교에 활용하였다.

III. 시뮬레이션 결과 비교

LPG 소형저장탱크의 지상 누출과 지하 누출에 대한 결과 값을 표로 정리하였다. 지상의 누출은 최악의 시나리오인 수평누출로 선정하였으며, 지하의 누출은 지하 설치식의 특성상 수직누출로 시나리오를 선정하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과 Table 4와 같이 충전용량이 200 kg, 500 kg, 1,000 kg의 소형저장탱크가 모두 외부에 누출될 때 까지의 시간 및 방출률을 확인하였으며, 저장탱크실에서 외부로 나오는데 시간이 상대적으로 오래 걸리는 것을 확인할 수 있었다.

시나리오에 따라 Phast의 피해영향거리를 Table 5와 같이 평가하였다. 지하의 누출에 경우 충전용량에 상관없이 모든 지표에서 똑같이 나왔으며, 지상의 누출에 경우 충전용량이 크면 클수록 폭발(Explosion)의 피해 거리가 높게 나타났다.

Table 4. Diffusion characteristics for each scenario of gas leak

Scenario		Release Rate(kg/s)	Duration Time(s)	Mass Inventory of material to Disperse(kg)
Capacity (kg)	Above/ Below			
200	Above	4.43	45.11	200
	Below	3.26	60.13	200
500	Above	4.43	112.78	500
	Below	3.26	150.33	500
1000	Above	4.43	225.57	1000
	Below	3.26	300.67	1000

Table 5. Distance or range affected for each scenario

Scenario		Concentration		Jet Fire (5kW/m ²)	Explosion (1 psi)	Flash fire (10,000ppm)
Capacity(kg)	Above/ Below	UFL	LFL			
200	Above/ Vertical	0.03	1.08	23.98	8.67	2.31
	Above/ Horizon	4.05	16.90	35.66	43.69	37.59
	Below	0.02	0.72	24.22	8.58	2.25
500	Above/ Vertical	0.03	1.08	23.98	8.67	2.31
	Above/ Horizon	4.05	16.90	35.66	43.69	37.59
	Below	0.02	0.72	24.22	8.58	2.25
1000	Above/ Vertical	0.03	1.08	23.98	8.67	2.31
	Above/ Horizon	4.05	16.90	35.66	43.69	37.59
	Below	0.02	0.72	24.22	8.58	2.25

IV. 결론

본 논문에서는 LPG 소형저장탱크에 대한 지상 및 지하 설치에 따른 피해영향평가를 수행하였다. 지하에 설치된 소형저장탱크의 피해영향평가를 수행하기 위해 FDS를 활용하여 격납형으로 설치된 소형저장탱크를 모사하였고, FDS로부터 저장탱크실의 최대 압력을 도출하여 피해영향 평가 프로그램인 Phast의 입력변수로 활용하였다. 지상 및 지하 설치된 LPG 소형저장탱크의 피해영향평가 결과를 도출하였다.

지상 및 지하에 설치된 소형저장탱크의 각각의 피해영향평가를 통해 LFL 및 UFL의 확산범위, 고압 분출 화재(Jet fire), 폭발 등 피해영향을 정량적인 수치로 제시하였다. 지상 및 지하에 설치된 소형저장탱크의 각각의 피해영향에 대해 비교해보면 지상 및 지하에 설치된 저장탱크의 경우 Fire ball이 발생하지 않았고, Jet fire에 의한 복사열의 최대 피해영향 거리는 저장탱크 용량에 상관없이 지상에 설치할 경

우 약 36 m, 지하에 설치할 경우 약 24m 로 약 1.5배 차이가 나타났다. 폭발의 과압으로 인한 최대 피해영향거리는 용량에 따라 지상에 설치할 경우 약 44 m, 지하에 설치할 경우 용량에 상관없이 약 9 m 로 약 5배 차이가 나타났다.

본 논문에서 도출된 LPG 소형저장탱크의 피해영향평가 자료는 추후에 위험성평가, 경제성 분석 등을 진행하여 국내 실정에 맞는 소형저장탱크에 관련 기준 개선방안 도출에 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업의 LPG 사용시설 안전기준 현장 실증 연구(20132020500050)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

- [1] Kap-man Jang, Ji-Sun Km and Jin-Han Lee, "The Safety Analysis of the Underground LPG Storage Tank", Spring Conference of the The Korea Society for Energy Engineering , P-35, 2014
- [2] Ki-Yeon Lee, Sang-Geoun Son and Jang-Woo Lee, "A Study on the Analysis and Measure for Accident case of LP Gas Storage Tanks", Korean Institute of Fire Investigation, 2009(1), 101-109, (2009)
- [3] Seung-Lim Lee and Young-Soon Lee, "A Study on the Probability of BLEVE of Aboveground LP Gas Storage Tanks Exposed to External Fire", KIGAS, 7(1), 19-23, (2003)
- [4] KGS FU 432 Facility/Technical/Inspection Code for Facilities Using LP Gas in Small Storage Tanks , KGS(2014)
- [5] NFPA 58: Liquefied Petroleum Gas Code
- [6] KOSHA CODE P-8-2012, KOSHA(2012)
- [7] KGS FU 331 Facility/Technical/Inspection/Safety Diagnosis/Safety Assessment Code for Places Storing LP Gas in Storage Tanks , KGS(2014)