

# 지하격납형 LPG 저장탱크에서의 BLEVE와 UVCE 가능성 해석

임사환\*, 허용정\*\*, 이종락\*

\*한국가스안전공사 교수실

\*\*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

e-mail : gentle@kgs.or.kr

## A Study on the Possibility of BLEVE and UVCE for a LPG Storage Tank of Underground Containment Type

Sa-Hwan Leem\*, Yong-Jeong Huh\*\*, Jong-Rark Lee\*

\*Institute of Gas Technology Training, Korea Gas Safety Corporation

\*\*School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

### 요 약

본 논문에서는 지하격납형 LPG저장탱크에서의 가스누출로 인한 폭발의 가능성을 파악하기 위한 것으로, 국내 LPG저장탱크의 설치는 가스관계법에 의하여 지상형과 지하매몰형이 있으며, 지상형은 화염 등에 의한 위험성이 높으며, 지하매몰형은 부식 등에 의한 경제적 손실이 크다. 따라서 지상형과 지하매몰형의 장점을 취한 지하격납형 LPG저장탱크의 안전성을 통한 법 적용여부를 파악하기 위한 기본연구이다.

### 1. 서론

최근 가스의 수요는 에너지 다변화 정책 등으로 해마다 7.3%씩 증가하는 추세이며, 특히 LPgas는 운수용으로 사용하는 양이 가장 많으며 8.4%씩 증가하고 있다.[1] 또한 가스의 수요증가와 함께 안전 사고도 계속하여 발생하고 있으며, 대단위 저장시설에서의 사고는 사회적 피해가 심각하게 나타나고 있다. 특히 LPG충전시설에서의 사고는 1998년에 발생한 익산충전소(UVCE)와 부천충전소(BLEVE)가 대표적이며, 인명피해와 막대한 재산손실을 초래하였다.[2, 3]

현재 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙 제8조[액화석유가스의 충전사업 등의 시설기준 및 기술기준]제1항의 규정에 의한 저장탱크의 설치 는 지상형 및 지하매몰형으로 규정되어 있다.[4] 하지만 현행 법규정에 의해 설치된 저장탱크는 여전히 지상형은 안전성에 노출되어 있으며, 지하매몰형은 부식 등에 의한 위험성과 경제성이 취약하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 지상형과 지하매몰형의 단

점을 보완하고 장점만을 취할 수 있는 지하격납형 저장탱크에 대한 설치의 타당성을 검토하기 위한 기초 자료로 활용하기 위한 연구이다.

### 2. 이론

LPG저장시설에서의 대표적인 사고는 Fig. 1과 같은 누출원과 점화원 등에 의하여 여러 가지 형태로 발생한다.

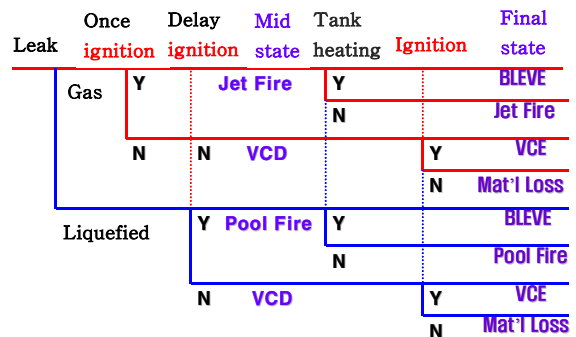


Fig. 1 Event Tree Analysis of LP Gas Filling System.

특히 LPG저장시설에서의 폭발 사고형태는 증기운 폭발(VCE : Vapor Cloud Explosion)과 비등액체팽창증기폭발로 대별되며, 증기운폭발은 가연성 가스가 유출되어 대기중의 공기와 혼합하여 폭발성 증기운(Vapor Cloud)을 형성하고 이때 착화원에 의하여 화구(Fire Ball)형태로 착화 폭발하는 것을 말한다.[5]

BLEVE(Boiling liquid expanding vapor explosion : 沸騰液體膨脹蒸氣爆發)는 용기폭발의 대표적인 사고로서 액체 혹은 가압하에서 액화된 다량의 물질이 순간적으로 방출되면서 2차 피해를 발생시키게 되는데, 용기 파열시 용기내 다량의 물질이 폭발적으로 증발하여 Overpressure를 형성하고 파편이 비산하게 된다.

Reid[6]는 액체 가열 현상에 근거하여 BLEVE 현상에 대해 이론적으로 기술한 바 있으며, BLEVE는 증기운폭발에 비하여 폭발효율이 적으며, 연소에너지의 약 20%만 폭발과로 전환되며, Bisk[7] 등은 모든 BLEVE 시험의 경우에 있어 파손절차는 균열 또는 틈이 용기 벽체에 생성됨으로써 시작되었음을 밝혔다. 또한 Fig. 2에서 보듯이 증기와 공기와의 난류혼합 또는 방출점으로부터 먼 지점에서의 증기운 점화는 폭발의 충격을 가중시킨다.[8]

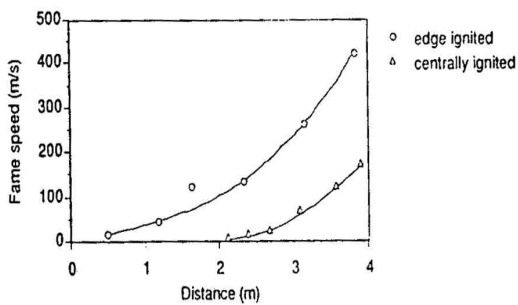


Fig. 2 Flame speed vs. distance for centrally and edge ignited explosions in a double configuration(i.e. solid top plate) with obstacles.

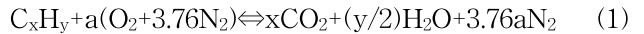
Table 1 Explosion limit of important flammable gases in air\*

Flammable gas	Explosion limit(amount of flammable gas in mixture with air)	
	lower, mol%	upper, mol%
Propane	1.7	10.9
n-Butane	1.4	9.3

\* The values are valid for room temperature and atmospheric pressure

Table 1은 가연성 가스의 폭발범위[9]이며, 대기압 하에서의 조건으로 CHEMSAFE에서 발췌한 것이다.[10]

탄화수소계 연료의 이론 화학 평형식은 다음과 같다.[13]



여기서, a는  $a = x + y/4$ 와 같이 성립된다.

저장탱크가 차지하는 용적은 식(2)로 계산할 수 있다.

$$V = \frac{\pi d^2 l}{4} + \frac{\pi d^3}{12} \quad (2)$$

여기서, V는 용적, d는 탱크지름, l은 탱크동체부 길이이다.

### 3. BLEVE와 UVCE 가능성 해석

국내에 설치되어 있는 LPG저장탱크는 20Ton 규모의 저장탱크가 약 1000여개로써 가장 많이 설치되어 있다. 따라서 저장량 20Ton인 지하격납형 LPG 저장탱크에 대하여 BLEVE와 UVCE의 발생가능성에 대하여 파악코자 하며, 가스폭발로 인한 피해범위를 최대로 하기 위하여 가스농도는 양론조성 [14,15]에 가깝게 선정하였다.

#### 3-1. BLEVE 가능성 해석

LPG 저장탱크의 BLEVE 가능성에 대해 외국의 Pilot 탱크 시험 결과 및 BLEVE 발생을 위한 소요 입열량 계산을 이용한 연역적 계산방법을 통해 BLEVE 조건 및 가능성을 정량화한 이승림 등의 연구[3]에 의하면, 탱크 plate 온도가 600℃이고, 탱크 내부 온도가 53℃일 때 액충전량은 43.68% 이상일 경우에 BLEVE의 발생이 가능하다고 하였다.

하지만 지하격납형 LPG저장탱크는 안전관리를 위한 기본면적만을 갖추는 경우가 대부분으로 가스의 누출로 인하여 화재 발생 가능성은 희박하다.

#### 3-2. UVCE 가능성 해석

가연성물질의 연소 특성들 가운데 폭발한계는 온도, 압력, 산소농도, 불활성가스, 화염전파방향 등에 따라 영향을 받으며, 최소자연발화온도는 발화원의 종류, 온도, 압력, 농도 등에 영향을 받는다.[16] 또

한 가스폭발은 가연성가스나 증기가 공기와 혼합하여 기상부분의 용적이 크고, 누출로부터 형성된 가스운이 폭발범위 안에 존재하지 않거나, 발화원이 부족하다면, 가스운은 희석되거나 대기 중으로 사라질 것이다.[17]

지하격납형 LPG저장탱크에서 가스누출이 발생하여 공기와 혼합되어야 폭발이 일어나므로 저장탱크실의 공간에 폭발이 가능할 가스농도를 계산하면 Table 2와 같다.

Table 2 Gas Leak Amount for Tank Volume

Volume (ton)	Containment volume(m <sup>3</sup> )	Gas Leak Amount(kg)		Coexisting Concentration (kg)
		Lower Explosion limit	Upper Explosion limit	
20ton	92	0.129	0.828	0.319
30ton	136.67	0.192	1.229	0.474

4. 결론

본 연구를 통하여 LPG충전시설 등에 설치되어 있는 저장량 20Ton의 지하격납형에서 BLEVE와 UVCE 발생가능성에 대하여 탄화수소계 완전연소방정식을 이용하여 파악하여 보았으며, 연소가능성은 양존농도를 가정으로 계산하면 다음과 같다.

1. BLEVE 가능성은 누설된 양이 연소하한에서 0.129kg이며, 연소상한은 0.828kg으로 계산되었으며, 이때 연소로 탱크가열온도 600℃에 미치기는 어렵다.

2. UVCE 가능성을 최대로 가정하기 위하여 계산된 양존농도는 0.319kg로 지하공간에서 연소가능성은 희박하다.

참고문헌

[1] Korea Gas Safety Corporation, Technical Inspection & Advisory Service Division, "High-pressure Gas Statistics", 2007.  
 [2] In-Tae Kim, In-Won Kim, Hee-Oeul Song, "A Study on the Overpressure Estimation of BLEVE", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 4, No. 1, March, pp.69~76, 2000.  
 [3] Seung-Lim Lee and Young-Soon Lee, "A Study on the Probability of BLEVE of Above-ground LP Gas Storage Tanks Exposed to External Fire", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 7, No. 1, March, pp.19~-23, 2003.

[4] Korea Gas Safety Corporation, "Liquefied Petroleum Gas Safety Control and Business Law", 2007.  
 [5] CCPS, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fire and BLEVE," *AICHE*, New York, 1994.  
 [6] Reid, R. C., "Some Theories on Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions", *Fire*, March, pp.525~526, 1980.  
 [7] A. M. Bisk and M. H. Cunningham, "The boiling Liquid Expanding Vapor Explosion", *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol.7, No. 6, pp.474~480, 1994.  
 [8] C.J.M. Van Wingerden. J.P. Zeeuwen, "Explosions in Pipe-rack-like Obstacle Array", 10th International Colloquium of Explosion and Reactive Systems. 1985. Berkeley. California. AIAA Progress in Astronautics and Aeronautics. 106, 1986.  
 [9] Hattwig, M., Steen, H., "Handbook of Explosion Prevention and Protection," Wilet-VCH verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 276~282, 2004.  
 [10] CHEMSAFE : Datenbank fur bewertete Sicherheitsechnische Kenngrößen, Erstellt Von BAM, Berlin, DECHMA, Frankfurt und PTB, Braunschweig.  
 [11] Dong-Myeong Ha, "A Study on Fire and Explosion Characteristics of Propane Gas", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 10, No. 2, June, pp.33~39, 2006.  
 [12] Bjorkhaug, M., "Large-scale investigation of turbulent explosion properties for hydrogen-air and some hydrocarbon-air mixtures", CMI Report No. 25110-2. Chr. Michelsen Institute. Bergen. Norway, 1988.  
 [13] Sogo, S. and Hase, K., "Study of Blowoff at a Multiple Slit Burner", Annual technical report digest, Vol. 8, 1998.  
 [14] Sa-Hwan Leem, Yong-Jeong Huh and Jong-Rark Lee, "A Study on Estimation of Human Damage for Shock Wave by Vapor Cloud Explosion using Probit Model", *Transaction of the Korea Society of Mechanical Engineers B*, Vol. 31, No. 11, pp.936~941, 2007.  
 [15] Bjerletvedt, D., J. R. Bakke and K. van Wingerden, "Gas Explosion Handbook", *J. of Hazardous Materials*, 52, pp.1~150, 1997.