

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2010.34.7.897

폭발방지를 고려한 LPG 저장탱크 최적설계

임사환*† · 허용정** · 손석우** · 임재기** · 이종락***

* 한국기술교육대학교 기계공학과, ** 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부, *** 한국가스안전공사 가스안전교육원

Optimization of Explosion Prevention for LPG Storage Tanks

Sa Hwan Leem*†, Yong Jeong Huh**, Seok Woo Son**, Jae Ki Lim** and Jong Rark Lee**

* Dept. of Mechanical Engineering, Korea Univ. of Technology and Education,

** School of Mechatronics Engineering, Korea Univ. of Technology and Education,

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

(Received April 13, 2010 ; Revised June 7, 2010 ; Accepted June 7, 2010)

Key Words: Optimization(최적화), Storage Tank(저장탱크), Gas Explosion(가스폭발)

초록: 자동차 연료로 가스를 사용하는 것은 ‘삶의 질’ 향상을 넘어 ‘생존’의 문제로 환경보존과 경제발전을 조화롭게 추구하는 ‘지속가능한 발전’이란 새로운 패러다임에 부흥하고 있다. 하지만 가스사용이 늘어나면서 폭발과 화재에 의한 인명피해가 해마다 발생하고 있으며, 대규모 저장시설에서의 가스 사고는 사회적으로 심각한 문제를 야기하고 있다. 따라서 본 논문에서는 지하 격납 저장탱크에서의 폭발발생을 최소화하기 위하여 한정된 내용적과 화염에 노출되는 표면적을 최소로 하는 폭발방지를 고려한 최적의 저장탱크를 설계하였다. 본 연구를 통하여 최적조건인 저장탱크를 설계한 결과, 20ton 저장탱크는 직경 3m, 길이 4.83m일 때 지하 격납 공간이 최소가 되었으며, 화염에 노출되는 표면적은 기존의 저장탱크에 비하여 89.4%로 줄어들어 안전성이 향상되었다.

Abstract: Used gas to the vehicle fuel are the problems of the 'survival' beyond the 'quality of life' improvements and revive a new paradigm of 'sustainable development' which pursues economic development in harmony with environmental conservation. However, the fatalities caused by explosions and fires increases every year with the increase in the use of LPG; gas accidents in large-scale storage facilities also cause severe damage to property. In this study, a suitable storage tank is designed in which the surface area of the fuel exposed to flames is minimized in order to prevent explosions; thus, the occurrences of explosions in underground storage tanks can be minimized. According to the optimum design of storage tank obtained in this study, underground containment space was minimized; the minimized diameter and length of a 20-ton storage tank was 3 m and 4.83 m, respectively. Thus, safety was ensured since surface area exposed to flames decreased by 89.4%, which is less than the exposed surface area in the currently used storage tanks.

- 기호설명 -

- A : 저장탱크의 표면적(m²)
- D : 동관의 안지름(m)
- E : 용접 이음 효율
- L : 탄젠트 라인까지의 길이(m)
- P : 저장탱크 내부압력(MPa)
- S : 최대 허용 응력
- V : 저장탱크 내부 부피(m³)
- V_{containment} : 탱크포함 격납공간(m³)
- V_{outside} : 저장탱크 외부 부피(m³)

- V_{space} : 탱크제외 격납공간(m³)
- W_{liquid} : 저장용량(ton)
- W_{tank} : 저장탱크 무게(ton)
- d : 밀도(ton/m³ or kg/ℓ)
- t₁ : 동관의 두께(mm)
- t₂ : 경관의 두께(mm)

1. 서론

녹색성장을 위한 에너지원으로서 LPG(Liquefied Petroleum Gas)는 자동차 연료로 사용하면서 대도시의 대기환경 개선을 위해 적용되고 있으며 대기 오염물질을 저감시키는데 효과적인 것으로 입

† Corresponding Author, leemsahwan@kut.ac.kr

Table 1 The state of LPG Consumption

units : 1000ton

Section	2004	2005	2006	2007	2008	Rate of increase(%)
Business	2,065	2,184	2,081	1,911	1,679	△5.4
City gas	75	96	69	62	178	2.8
Traffic	3,860	3,968	4,069	4,366	4,379	3.9
Industrial	481	509	504	637	650	4.2
Fuel	1,226	1,236	1,445	1,516	2,045	13.6

증되고 있다.

자동차 연료가 가스로의 변화는 ‘삶의 질’ 향상을 넘어 ‘생존’의 문제로 환경보존과 경제발전을 조화롭게 추구하는 ‘지속가능한 발전’이란 새로운 패러다임에 부흥하고 있다.⁽¹⁾

미국, EU(유럽연합), 일본, 중국 등은 2000년도 이후부터 자동차의 이산화탄소 배출 허용기준과 연비기준을 크게 강화하고 있다.^(1,2) 이는 자동차 부문이 국가 에너지소비의 19.3%를 차지하고 있으며, 타 부문보다 감축 여력이 큰 편이기 때문이다.^(1,3)

독일의 경우 2004년 보급된 LPG 차량 수가 3만 여대, LPG 충전소 600여개에 불과했던 것이 2006년에는 각각 7만여대의 LPG 차량 및 1000여개의 충전소로 확장되었다.⁽⁴⁾

Table 1에서 보듯이 운송용으로 사용되는 LPG량이 점진적으로 연평균 3.9%씩 증가하고 있다.^(5,6)

이를 입증하듯, 국내 LPG 충전소는 최근 10년 동안 3배정도 증가하였으며, LPG 충전시설 안전관리자 양성교육 과정의 이수자도 최근에 들어 급격한 증가세를 보이고 있다.⁽⁵⁾ 하지만 가스는 물리적 특성상 무색, 무취로 형태가 없어 검지하기가 어려워 안전관리자가 상주하고 있는 대단위 시설에서도 누출로 인한 화재 및 폭발의 사고가 발생하고 있다.

특히 액화석유가스 자동차는 충전소가 대도시 근교에서 운용되고 있으며, 1998년에 발생한 익산충전소에서 발생한 VCE¹⁾와 부천충전소에서 발생한 BLEVE²⁾가 대표적이며, 인명피해와 막대한

재산손실을 초래하였다.⁽⁷⁻¹⁰⁾ 두 번의 LPG 충전소에서 발생한 사고로 노삼규(1999) 등⁽¹¹⁾은 저장탱크에서 발생하는 BLEVE 현상에 따른 피해에 대하여 연구하였고, 배성진(1999) 등⁽¹²⁾은 화재와 폭발에 관한 정량적 영향 평가에 대한 연구, 이수경(1999) 등⁽¹³⁾은 화재와 폭발에 대한 피해영향분석을 연구하였다.

조영도(1999)⁽¹⁴⁾는 액화석유가스 충전소의 안전거리에 관한 연구를 하였고, 박명섭(1999) 등⁽¹⁵⁾은 저장시설에 대한 위험성 평가에 관한 연구를 하였다.

박명섭(1999) 등⁽¹⁵⁾의 연구에 따르면 지상저장탱크의 경우 VCE와 외부 열원에 의한 BLEVE 그리고 Pool fire에 의한 열 영향이 가장 큰 피해발생요인으로 밝혀졌다. 또한, FTA³⁾ 방법을 이용한 빈도분석 결과 LPG 누출사고가 발생할 빈도(frequency)는 약 $5.42 \times 10^{-2}/\text{yr}$ 정도로 나타났으며, ETA⁴⁾ 결과 LPG 누출사고가 VCE 형태로 폭발사고로 발전될 수 있는 빈도는 약 $2.19 \times 10^{-2}/\text{yr}$ 정도로 나타났다.

이진한(2006) 등⁽¹⁶⁾의 연구에서 LPG 충전소가 법적 최소기준을 만족할 경우 BLEVE 발생빈도는 약 $2.4 \times 10^{-5}/\text{yr}$ 로 예측되었다. 이는 국내 1,000개의 충전소가 있다고 가정할 때 25년에 1회 꼴로 탱크로리 BLEVE 사고가 발생할 수 있음을 나타낸다.

이승림(2002)⁽¹⁷⁾은 지상에 설치되어 있는 저장탱크는 외부화염에 의해 용기표면 온도가 873K 정도에서 BLEVE가 발생한다고 하였다.

기타 지하공간에서의 피해영향을 파악하기 위한 밀폐공간에서의 가스 폭발로 인한 피해경로

1) VCE(증기운폭발) : Vapor Cloud Explosion

2) BLEVE(비등액체팽창증기폭발) : Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion

3) FTA(결합수 분석법) : Fault Tree Analysis

4) ETA(사건수 분석법) : Event Tree Analysis

Table 2 The state of LPG filling system(Locating type)

units : ea

Section	The storage tank(Locating type)			Total
	Above ground	Underground		
		Burial	Containment	
Total	173	1,703	110	1,986
Vessel	29	38	3	70
Vehicle	33	1,219	36	1,288
Vessel and Vehicle	70	420	70	560
Other	41	26	1	68

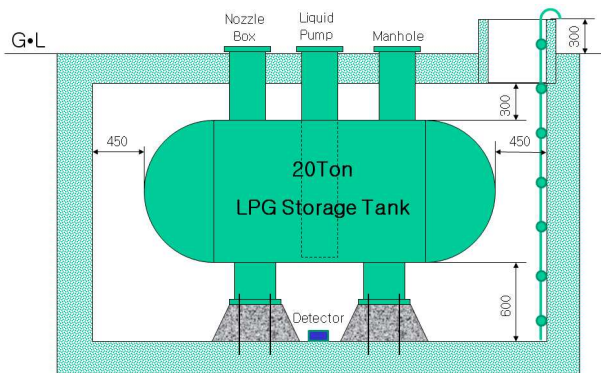


Fig. 1 Underground containment storage tank

에 대한 실험연구⁽¹⁸⁾와 폭발피해 영향범위에 대한 실험연구가 있다.⁽¹⁹⁾

이러한 연구를 바탕으로 안전사고를 예방하기 위하여 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙 제10조[액화석유가스의 충전사업 등의 시설기준 및 기술기준]제1항의 규정에 의한 저장탱크의 설치는 지상형 및 지하형으로 규정하고 있다.⁽²⁰⁾

하지만 진상화(2001) 등⁽²¹⁾의 연구결과를 보면 LPG 충전시설에서 가스누출은 80년에 한번정도 발생하며, 안전사고를 일으키는 가장 중요한 인자는 구조물의 결함과 외부사고로 나타났다. 이를 예방하기 위해서는 정기적인 유지·보수를 통한 정상적인 작동상태 유지가 중요하다고 하였다.

따라서 허용정(2006) 등⁽²²⁾은 가스저장탱크의 안전거리를 쉽게 파악하는 시스템을 개발하여 현장의 안전관리자가 관계법령을 준수하여 안전사고를 예방하도록 하였다.

현재 국내법규정에 의하여 LPG 충전시설에 설치되어 있는 저장탱크 현황은 Table 2와 같으며,

전체의 65%정도가 자동차 충전소에 설치되어 있음을 확인할 수 있다.⁽⁵⁾ 또한 대부분이 지하매몰형으로 설치되어 있어 저장탱크의 구조적 결함을 수시로 점검하기 어려운 실정이다.

법에 의해 설치된 지상형 저장탱크는 가스누출로 인한 VCE와 BLEVE를 유발할 수 있으며, 지하매몰형은 부식 등에 의한 위험성과 경제성이 취약하다.^(9,23,24)

이를 해결하기 위한 방안으로 최근 지상형과 지하매몰형의 위험성과 경제성에 대한 모순문제를 해결하기 위하여 Fig. 1과 같은 지하격납형 저장탱크를 TRIZ 기법을 활용하여 제안하였다.⁽²⁵⁾

따라서 본 연구에서는 지하격납공간에 저장탱크를 최적으로 시공하기 위하여 한정된 내용적과 화염에 노출되는 표면적을 최소화 하는 폭발방지를 고려한 최적의 저장탱크를 설계하여 안전성 향상에 기여하고자 한다.

2. 폭발 이론 및 계산식

LPG충전소에서 발생한 폭발 사고형태는 증기운폭발(VCE)과 비등액체팽창증기폭발(BLEVE)이 대표적이다.

액화석유가스를 대량으로 저장·취급하고 있는 충전·집단·저장시설에서 발생하는 대표적인 사고의 형태는 Fig. 2와 같은 누출원과 점화원 등에 의하여 여러 가지 형태로 발생한다.

2.1 증기운폭발(VCE)

LPG저장시설에서의 폭발 사고형태는 증기운폭발(VCE : Vapor Cloud Explosion)과 비등액체팽창증기폭발로 대별되며, 증기운폭발은 가연성 가스

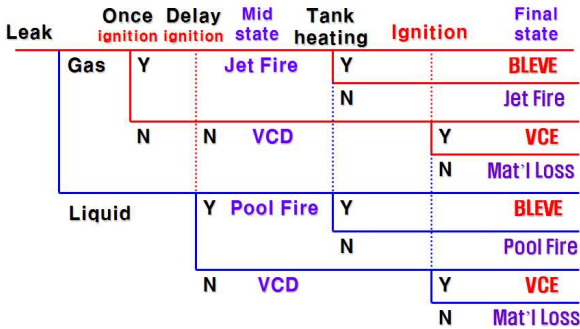


Fig. 2 Event Tree Analysis of LP Gas Filling System

가 유출되어 대기중의 공기와 혼합하여 폭발성 증기운(Vapor Cloud)을 형성하고 이때 착화원에 의하여 폭발하는 것을 말한다.⁽²⁶⁾

2.2 비등액체팽창증기폭발(BLEVE)

BLEVE(Boiling liquid expanding vapor explosion : 沸騰液體膨脹蒸氣爆發)⁽²⁷⁾는 용기폭발의 대표적인 사고로서 액체 혹은 가압하에서 액화된 다량의 물질이 순간적으로 방출되면서 2차 피해를 발생시키게 되는데, 용기 파열시 용기내 다량의 물질이 폭발적으로 증발하여 과압을 형성하고 파편이 비산하게 된다.⁽²⁸⁾

2.3 저장탱크 설계

저장탱크의 동판과 경판에 대한 두께 계산은 ASME Sec. VIII Div. 1의 압력용기 코드에 의하여 다음과 같다.

$$t_1 = \frac{PD}{2(SE - 0.6P)} \tag{1}$$

$$t_2 = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \tag{2}$$

여기서, Shell과 Head의 E값은 1.0으로 한다.

2.4 내용적 및 표면적 계산

저장탱크가 차지하는 용적은 식 (3)으로 계산하고, 저장능력은 식 (4)로 계산할 수 있다. 또한, 저장탱크 표면적은 식 (5)로 계산할 수 있다.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times L + \frac{\pi D^3}{24} \times 2 \tag{3}$$

$$W = 0.9 \times d \times V \tag{4}$$

$$A = (\pi \times D \times L) + (0.69 \times \pi \times D^2) \tag{5}$$

저장탱크를 설치하기 위한 지하격납공간은 Fig. 1에서 보듯이 안전관리를 위하여 작업자가 정상적으로 업무를 수행할 수 있도록 여유거리를 저장탱크 전, 후, 좌, 우는 450mm를 확보하고, 상부는 관계법에 의하여 300mm를 이격하며, 하부는 600mm를 이격하여 시공한다.

지하격납공간은 저장탱크에 여유거리를 합산하여 계산하였으며, 폭발 영향을 최소화하기 위한 작업공간은 지하격납공간에서 저장탱크를 제외한 공간이다.

3. 계산 결과

지하격납공간에서의 폭발을 방지하기 위해서는 격납용적 대비 저장탱크 용량을 최대한 하여 공간을 최소화하는 것이 가장 효과적이다.

LPG 저장탱크에 대한 내용적 계산은 식 (3)을 이용하여 계산할 수 있으며, 식 (4)를 식 (5)에 대입하여 풀면, 저장량을 구할 수 있다. 또한, 외부 화염에 의한 폭발가능성을 줄이기 위한 표면적 계산은 식 (5)를 이용하여 계산할 수 있다.

Table 3은 저장탱크의 요약표이며, 식 (1), (2), (3), (4), (5)에 대하여 실험설계법으로 계산한 값이다. 또한 지하격납실의 공간에 대한 값은 작업자가 정상적인 업무를 볼 수 있는 작업공간을 합산한 것이다.

기존에 설치되어 있는 946기의 20ton 저장탱크는 지름 2.5m이며, 최적조건에 의한 저장탱크는 지름 3.0m에서 안전공간이 가장 적은 것으로 계산되었다.

저장탱크의 재질은 현장에서 가장 많이 사용하고 있는 SPPV 490을 적용하여 계산하였다.

3.1 저장탱크 두께

저장용량 20ton에 대한 최적의 저장탱크 지름 3.0m에 대하여 ASME code에 의하여 경판과 동판을 설계하면 다음과 같다.

$$t_1 = \frac{1.8 \times 3}{2(195 \times 1 - 0.6 \times 1.8)} = 13.92\text{mm}$$

Table 3 Optimal design data for 20ton LPG storage tank

D	L	V	W _{liquid}	P	S	t ₁	t ₂	A	V _{outside}	W _{tank}	V _{containment}	V _{Space}	L/D
2.0	12.44	41.18	20.01	1.8	195	9.28	9.24	87.72	41.96	6.210	122.23	80.26	6.22
2.1	11.19	41.18	20.01	1.8	195	9.75	9.70	84.25	41.97	6.225	119.89	77.92	5.33
2.2	10.1	41.18	20.01	1.8	195	10.21	10.16	81.14	41.97	6.252	117.92	75.94	4.59
2.3	9.14	41.16	20.00	1.8	195	10.67	10.63	78.34	41.96	6.278	116.23	74.27	3.97
2.4	8.3	41.17	20.00	1.8	195	11.14	11.09	75.88	41.97	6.312	114.91	72.94	3.46
2.5	7.55	41.15	20.00	1.8	195	11.60	11.55	73.65	41.96	6.345	113.80	71.85	3.02
2.6	6.89	41.18	20.01	1.8	195	12.07	12.01	71.73	42.00	6.387	113.04	71.05	2.65
2.7	6.29	41.17	20.01	1.8	195	12.53	12.47	69.95	41.98	6.426	112.39	70.41	2.33
2.8	5.75	41.15	20.00	1.8	195	12.99	12.94	68.36	41.97	6.468	111.94	69.96	2.05
2.9	5.27	41.19	20.02	1.8	195	13.46	13.39	67.03	42.02	6.522	111.79	69.77	1.82
3.0	4.83	41.21	20.03	1.8	195	13.92	13.86	65.82	42.05	6.575	111.76	69.71	1.61
3.1	4.42	41.16	20.00	1.8	195	14.39	14.32	64.67	42.00	6.622	111.74	69.74	1.43
3.2	4.05	41.15	20.00	1.8	195	14.85	14.78	63.70	42.00	6.678	111.96	69.96	1.27
3.3	3.72	41.23	20.04	1.8	195	15.32	15.24	62.97	42.08	6.751	112.49	70.41	1.13
3.4	3.4	41.16	20.00	1.8	195	15.78	15.71	62.18	42.02	6.807	112.87	70.85	1.00



Fig. 3 Optimal Designed storage tank

$$t_2 = \frac{1.8 \times 3}{2 \times 195 \times 1 - 0.2 \times 1.8} = 13.86\text{mm}$$

3.2 내용적

충전소에서 운용하는 저장탱크에서 가장 많이 설치되어 있는 20ton에 대하여 설계하면 다음과 같다.

$$V = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} \times 4.83 + \frac{\pi \cdot 3^3}{24} \times 2 = 41.15\text{m}^3$$

$$W = 0.9 \times 0.54 \times 41.15 = 20\text{ton}$$

3.3 표면적

국내 가장 많은 저장탱크 20ton에 대하여 외부

화염에 의한 폭발사고를 효과적으로 줄이기 위한 저장탱크의 표면적 설계는 다음과 같다.

$$A = (\pi \times 3 \times 4.83) + (0.69 \times \pi \times 3^2) = 65.82\text{m}^2$$

폭발 가능성을 최소화하기 위한 작업공간은 지하격납공간에서 저장탱크를 제외한 공간으로 69.71m³로 계산되었다.

본 논문에서는 국내 저장탱크의 약 80% 정도에 해당하는 20ton과 30ton을 대상으로 계산하였다. 이 경우 지하격납공간에 저장탱크를 설치하는 경우 가장 최적의 조건은 길이와 지름의 비가 1.6~1.7로 나타났다.

Fig. 3은 화염에 노출되는 표면적을 최소화 하는 지하격납공간에 시공하는 저장탱크의 형태이다.

4. 결론

본 논문은 LPG충전소에서 발생하는 VCE와 BLEVE에 의한 피해를 최소화하기 위한 방안으로 국내 가장 많이 설치되어 있는 20ton 규모의 저장탱크에 관한 것이다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 20ton 저장탱크의 지름은 3m, 길이는 4.83m 일 때, 표면적이 65.82m²로 계산되었다. 이는 기존에 시공되어 있고 현재 생산되고 있는 지름

2.5m, 길이 7.55m에 비하여 화염이 노출되는 표면적이 89.4%로 줄어들어 안전성이 향상되었다.

(2) 폭발방지를 위하여 지하격납실의 공간에 대하여 계산하면, 본 연구에서 도출한 저장탱크가 기존의 저장탱크에 비하여 97%로 계산되었다. 이때가 한정된 용량에 대한 저장탱크 길이와 지름의 가장 적은 공간을 나타내고 있다.

(3) 저장탱크에서의 가스누출은 표면적과 비례하여 누출 가능성도 경감할 것으로 판단한다.

감사의글

이 논문은 2009년도 한국기술교육대학교 교육연구진흥비 지원에 의하여 연구되었으며 관계자분들께 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) AEGPL, 1999, AEGPL Strategy Paper - LPG Heavy Duty Vehicles, p. 3.
- (2) KEITI, 2009, Trade & Environment Information Network, Vol. 60, pp. 5~7.
- (3) OECD, 1996, Integrating Environment and Economy, Progress in the 1990s.
- (4) So-Young Park, 2009, "German Gas Market Trends - LPG Gas Increasing Popularity of Alternative Fuels," *The Gas Safety Journal*, Vol. 35, March, pp. 77~80.
- (5) Korea Gas Safety Corporation, 2009, Technical Inspection & Advisory Service Division, "High-pressure Gas Statistics," Korea.
- (6) Korea Statistical Information System Consumption data of Energy source <http://kosis.nso.go.kr>
- (7) In-Tae Kim, In-Won Kim, Hee-Oeul Song, 2000, "A Study on the Overpressure Estimation of BLEVE," *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 4, No. 1, March, pp. 69~76.
- (8) Seung-Lim Lee and Young-Soon Lee, 2003, "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.
- (9) Korea Gas Safety Corporation, 2003, Gas Explosion Accident Related General Report : LPG Filling Station of Daesung Energy Company in

BUCHEON, Korea.

- (10) Korea Gas Safety Corporation, 1998, Accident and Countermeasure Report for LPG Filling Station of IKSAN and BUCHEON, Korea.
- (11) Sam-Kew Roh, Tae-Hwan Kim and Eun-Gu Ham, 1999, "A Study on Damage Effect from Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion(BLEVE) of LPG Charging Facility," *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 3, No. 3, December, pp. 45~50.
- (12) Sung-Jin Bae and Byung-Jick Kim, 1999, "The Study on the Quantitative Analysis in LPG Tank's Fire and Explosion," *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 3, No. 1, April, pp. 21~26.
- (13) Su-Kyung Lee and Chang-Wook Lee, 1999, "Consequence Analysis of the Fire & Explosion on the Flammable Liquid Handling Facility and LPG Station," *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 3, No. 2, July, pp. 77~84.
- (14) Young-Do Jo, 1999, "A Study on the Minimum Safe Separation Distance from LPG Filling Station," *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 3, No. 2, July, pp. 24~33.
- (15) Myung-Seop Park, Jae-Min Seo, Jung-Woo Lee, Ky-Soo Kim, Sung-Bin Kim, Jae-Wook Ko and Dong-Il Shin, 1999, "A Study for Risk Assessment of LPG Storage Facilities," *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 3, No. 3, December, pp. 9~16.
- (16) Jin Han Lee, Kwang Soo Yu, Kyo Shik Park, 2006, "Availability Analysis of Safety Devices Installed for Preventing Accidental Events in the LPG Refueling Station," *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 10, No. 1, March, pp. 26~31.
- (17) Seung-Lim Lee, 2001, "A Study on the Probability of BLEVE of Aboveground LP Gas Storage Tanks Exposed to External Fire," Seoul National University of Technology, Thesis for Master's Degree, Seoul Korea.
- (18) Sa-Hwan Leem, Jong-Rark Lee and Yong-Jeong Huh, 2008, "A Study on the Shock Wave Caused by VCE in Enclosure," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 32, No. 1, pp. 1~6.
- (19) Sa-Hwan Leem, Jong-Rark Lee and Yong-Jeong

- Huh, 2008, "A Study on Estimation of Human Damage for Shock Wave by Vapor Cloud Explosion using Probit Model," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 31, No. 11, pp. 936~941.
- (20) Korea Gas Safety Corporation, 2009, "Liquefied Petroleum Gas Safety Control and Business Law," Namo communication, Seoul Korea.
- (21) Sang-Hwa Jin, Tae-Woo Kim, In-Tae Kim, In-Won Kim and Yeong-Koo Yeo, 2001, "A Study on Reliability Analysis and Quantitative Risk Analysis for Liquefied Petroleum Gas Station," *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 5, No. 4, December, pp. 40~48.
- (22) Leem, S. H. and Huh, Y. J., 2006, "A Development of Intelligent Decision System by Safety Distance of Gas Storage Tank," *Journal of the Korea Academic Industrial Society*, Vol. 7, No. 4, pp. 721~726.
- (23) Sa-Hwan Leem, Yong-Jeong Huh and Jong-Rark Lee, 2008, "A Study on the Possibility of BLEVE and UVCE for LPG Storage Tank of Underground Containment Type," *2008 Proceedings of The KASI Spring Conference*, Vol. 9, No. 1, pp. 313~315.
- (24) Sa-Hwan Leem and Yong-Jeong Huh, 2010, "A Study on the Quantitative Analysis and Estimation for Surround Building Caused by Vapor Cloud Explosion(VCE) in LPG Filling Station," *KOSOS*, Vol. 25, No. 1, pp. 44~49.
- (25) Sa-Hwan Leem and Yong-Jeong Huh, 2010, "Improvement for Installation Technology of LPG Storage Tank Using TRIZ," *Proceedings of Global TRIZ Conference 2010*.
- (26) CCPS, 1994, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fire and BLEVE," *AICHE*, New York.
- (27) Reid, R. C., 1980, "Some Theories on Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions," *Fire*, March, pp. 525~526.
- (28) Bisk, A. M. and Cunningham, M. H., 1994, "The Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion," *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 7, No. 6, pp. 474~480.