



부탄 캔(용량 : 34 g) 파열로 인한 과압의 피해예측에 관한 연구

†임사환 · 최익환 · 임동연*

가스안전교육원 교수실, *한국가스공사 응상관리소
(2005년 1월 17일 접수, 2005년 5월 31일 채택)

A Study on Estimation of Overpressure Damage Caused by Rupture of Butane Can (volume : 34 g)

†Sa Hwan Leem · Ic Whoan Choi · Dong Yeon Lim*

*Faculty Division, Institute of Gas Technology Training

**Ung Sang Governor Station, KOGAS

(Received 17 January 2005, Accepted 31 May 2005)

요 약

주40시간제가 도입되면서 피크닉을 즐기는 세대가 늘어나고 있는 실정이다. 또한 가스에 의한 사고는 토요일과 일요일에 가장 많이 발생하고 있다. 2004년 10월 현재 부탄 캔으로 인한 사고는 전년 동기대비 인명피해가 1.5배로 늘어났다. 본 논문에서는 사용하고 버려지는 부탄 캔의 파열로 인한 과압의 영향에 대하여 Hopkinson의 삼승근법을 이용하여 계산하고, 폭발장소 주변의 건축물과 인간에게 미치는 영향을 Probit 모델에 적용하여 피해예측을 평가하였다. Probit 모델에 적용하여 계산하면 50 m 이격된 건물에는 손상여부 가능성이 전혀 없는 0%로 나타났으며, 인간에게 미치는 영향은 10 m 이격되면 피해영향이 전혀 없는 것으로 나타났다. 또한 본 논문에서는 폭발효율을 100% 적용하여 계산하였다. 따라서 부탄 캔 파열로 인한 실제적인 피해영향은 본 연구에서 계산된 수치보다 더욱더 안전할 것으로 판단된다.

Abstract – With the introduction of 40 hour working week system, more households enjoy picnics on weekends. More gas accidents take place on Saturdays and on Sundays than any other days of week. As of October, 2004 casualties resulted from butane can accidents increased 1.5 times compared to the same period of the previous year. In this study, the influence of explosion over-pressure caused by the rupture of butane can thrown away after use was calculated by using the Hopkinson's Scaling Law and the accident damage was estimated by applying the influence on the adjacent structures and people into the Probit model. As a result of the damage estimation conducted by using the Probit model, both the damage possibility of explosion over-pressure to structures 50 meters away and that of over-pressure to people 10 meters away showed nothing. The explosion efficiency used was 100 percent. As a result of this, the actual damage influenced by the rupture of butane can would be lower than the value calculated in this study and expected to be safer.

Key words : Gas, Explosion, Butane-can, Damage

I. 서 론

1.1. 연구목적

산업사회가 발전하면서 인간의 삶에 대한 욕구도 날로 급변하고 있다. 이러한 삶의 변화에 따라 주말이면 피크닉을 하는 세대가 늘어나고 있다. 특히 피크닉 등을 위하여 부탄 캔의 사용이 급증함에 따라, 가스로 인

한 사고발생이 2004년 10월 현재 토요일과 일요일 발생률(39%)이 가장 많이 발생하고 있다. 이는 여가생활로 인하여 안전의식이 느슨해짐으로 일어난 사고의 결과로 추정된다.

최근 5년간 이동식부탄연소기 및 접합용기(납불임용기 : 이하 본 논문에서는 부탄 캔이라 한다.) 사고는 58건이 발생하였으며, 부탄 캔 보관·취급 중 발생한 사고는 20건(34.5%)으로 분석되었다. 또한 부탄 캔 장착 불량으로 가스가 누출되어 폭발·화재가 발생하는 사

†주저자:gentle@kgs.or.kr

고가 10건(26.3%)을 차지하였으며, 부탄 캔 보관·취급으로 인하여 발생한 사고 중 화기 근처에 부탄 캔(이동식부탄연소기에 부탄 캔 보관 포함) 등을 방치하고 잔 가스 사용을 위하여 용기 가열에 따른 내압상승에 의한 파열사고가 16건(80%)으로 나타났다[1].

화기 근처 용기방치로 발생한 사고는 2003년도에는 전년대비 3배로 발생하였다. 10월 현재 부탄 캔 사고는 18건으로 전년대비 11건의 2배에 육박하고 있으며, 이로 인한 인명피해는 사망 1명을 포함해 총 35명이 부상을 입어 전년 동기대비 인명피해가 1.5배에 달하고 있다[2].

부탄 캔의 사용이 빈번해 지므로 인한 사고라 단정하기는 어렵다. 여타 다른 사고를 살펴보면 전체 가스 사고의 발생이 가스의 수요증가[3]와 관계없이 연차적으로 줄어들을 알 수 있다. 이는 안전에 대한 불감증으로 인한 인재라 아니할 수 없을 것이다.

본 연구에서는 이러한 인재로 인한 부탄 캔의 취급에 대한 부적절한 방법으로 인하여 발생할 수 있는 사고에 대비하는 차원으로 가스폭발로 인한 피해거리를 파악하여 안전관리에 만전을 기하고자 하며, 앞으로 부탄 캔의 수거 장소에 대한 경계범위를 설정하는 기본 자료로 활용하고자 한다.

1.2. 연구방법

부탄 캔 파열 사고는 일반적으로 사고피해예측기법을 적용하여 파악하고 있다. 따라서 캔의 파열에 대한 폭발의 종류를 살펴보면, 용기와 같은 물리적 폭발이 가장 근접한 폭발이라 할 것이다. 본 연구에서는 물리적 폭발에 적용되는 피해예측 기법 중 TNT모형을 적용하여 건축물과 인간에 미치는 사고피해를 예측하고자 한다. 건축물과 인간에 미치는 영향평가는 Probit 분석법을 적용하였다[4-6]. 폭발압력이 사망의 직접적인 원인이 될 수 있는 경우에는 폭발지역 부근의 작업자만으로 한정되지만 실질적으로 부상과 충격은 폭발이 발생한 장소에서 폭발 그 자체의 충격파(shock wave)에 의해 부상을 당하거나 또는 건물의 붕괴 등에 의해 보다 많은 피해를 일으킨다[7].

본 연구에서는 오로지 부탄 캔의 잔 가스(34 g)의 폭발에 따른 과압으로 인한 주변의 건축물과 인간에게 미치는 영향에 대해서만 피해를 예측하여 평가하고자 한다.

II. 이론적 배경 및 계산식

2.1. 폭발효과의 종류[8]

폭발의 효과는 무엇이 어떠한 폭발을 일으켰는지에

따라서 각각 현저한 차이가 나타난다.

1) 물리적 폭발(물리적인 공정에 의한 폭발)은 압력용기가 과압 방지 장치의 고장, 부식·마모·화학적 침식 등에 의한 두께의 감소 및 과열·재질의 결함 등에 의한 용기의 강도 감소 등에 의하여 내부압력에 견디지 못하고 폭발하는 현상을 말한다.

물리적 폭발에는 분진폭발, 미스트 폭발, 유막폭발, 가스폭발, 고체폭발, 증기운 폭발 등이다.

물리적인 공정에 의하여 야기되는 폭발의 예로는 : 압력 용기 폭발, 증기 폭발

- 압력과 부피의 곱이라는 형태로 저장된 에너지가 갑자기 방출
- 외부 에너지가 갑자기 고체 또는 액체의 물질에 전달되어 가스로 변형되는 것
- 에너지가 갑자기 가스에 전달되어 그 압력이 증가 되는 것

2) 화학적 폭발(화학 반응에 의한 폭발)은 발열 반응시 물질의 흐름에 에너지를 전달하므로 발생한다. 이러한 폭발은 3가지로 구분한다. 각각의 경우마다 관여하는 물질이 적절한 비율로 있어야 하며 잘 혼합되어야 한다.

가) 열 폭발

반응물은 반응 전반에 걸쳐 같은 온도로 유지된다. 혼합과 동시에 에너지의 방출이 발생하며 예로는 : 제어할 수 없는 급속한 화학 반응

나) 디프레그레이션

에너지의 방출은 낮은 고온층에서 발생하고, 나머지 부분은 주위와 같은 온도를 유지한다. 반응할 다음 층은 혼합을 통한 열전도에 의해서 덮여진다. 디프레그레이션의 속도는 낮다. 고체 및 액체의 경우는 mm/s이고, 가스인 경우는 m/s이다. 디프레그레이션의 속도는 압력(압력 증가에 따라 증가)에 달려 있다. 디프레그레이션은 국부적인 열의 충격(pulse)에 의해서 시작된다.

다) 디토네이션

에너지의 방출은 낮은 고온층에서 발생하고, 나머지 부분은 주위와 같은 온도를 유지한다. 반응할 다음 층은 충격파에 의해서 충격을 받고 가스의 압축열에 의해서 또는 고체의 분해열에 의해서 가열된다. 디토네이션의 속도는 반응물을 통하여 충격파의 움직임에 달려 있으므로 빠르다. 즉 모든 물질의 경우 km/s이다.

디토네이션의 속도는 주위의 압력에 달려있지 않다. 디토네이션은 국부적인 충격에 의해 시작된다. 어떤 경우에는 디프레그레이션은 디토네이션(예를 들면, 양이 많을 때, 다공성 고체 또는 장애물이 와류를 만들 때)으로 전환된다.

외부 에너지(보통은 전기)에 의한 폭발은 고체, 액체 또는 가스에서 발생된다. 만약 충분한 에너지가 공급된다면, 고체가 가스의 형태로 되면서 압력이 굉장히 증가된다. 커다란 기름 또는 가스 - 공냉 변전기에서 단선이 일어나면 위와 같은 형태의 폭발위험이 있다. 압력 파장과 파편에 의해서 손실이 야기된다.

2.2. 폭풍이란

폭풍은 폭발음과 폭풍파(blast wave)에 의해 특성화할 수 있으며[9,10], 폭발로부터 생긴 충격파의 일종이다. 폭풍(blast wave)은 폭발에 의하여 생긴 바람을 말하며, 이 폭발은 고압가스용기의 파열, 과대전류에 의한 전선의 폭발 등을 포함한 넓은 의미의 것으로 큰 에너지가 급격히 발생하는 것을 말한다.

충격파는 불연속적인 압력을 가진 압력파의 일종으로 진행되는 전파속도가 매체중의 음속보다는 높은 속도 즉 초음파로서 진행하며, 음파와는 달리 물질이동을 수반하는 특징이 있다. 폭풍파는 연소를 수반하는 충격파이다.

폭원의 가까이에서는 압력진폭이 크지만 멀어질수록 음파까지 감소한다. 폭원의 상황에 따라서 폭풍의 형태도 변한다[11].

2.3. 폭발효율(Explosion Efficiency : %)

가스폭발에 대하여는 실험이 거의 없기 때문에 사고에 의한 가스폭발의 강도를 TNT폭발과 비교하여 TNT 상당량 또는 TNT효율을 구하는 방법이 행해지고 있다.

에너지 발생량은 같아도 폭약과 가스와는 그 발생속도 및 발생하는 공간의 크기도 현저하게 차이가 나기 때문에 TNT 상당량의 몇 %가 실제의 가스폭발사고에 기여하는지를 TNT효율(η)로서 주어지도록 한다.

즉,

$$\eta = \frac{\text{실제로 방출된 에너지}}{\text{이론적인 폭발 에너지}} \times 100 \quad (1)$$

- 이론적인 폭발에너지 = 총질량*연소열
(여기서 연소열은 완전연소를 가정한다.)

이론적으로는 가스폭발의 경우 폭발효율이 40%를 초과할 수 있다. 그러나, 폭발효율의 경우 실험과 많은 증기운 폭발사고에서 관측된 피해로부터 유도되는데 대부분의 주요 증기운폭발 사고의 경우 폭발효율은 누출된 연료 전량의 연소열에 기초하여 1%~10% 정도로 추정된다[12,13].

Table 1. Explosion efficiency for explosiveness vapor and gas.

η	Material	
$\eta = 0.03$	Acetone Benzene 1,3-Butadiene Butene-1 Carbon Monoxide Dimethyl Ether Ethane Ethanol Ethyl Benzene Furfural Alcohol Hydrogen Iso-Butyl Alcohol Isobutylene Iso-Octane	Methane Methanol 3-Methyl-Butene-1 Methyl Mercaptan Naphthalene N-Butane N-Pentane Petroleum Ether Phthalic Anhydride Propane Propionaldehyde Propylene Toluene Water Gas
$\eta = 0.06$	Acrolein Carbon Disulphide Cyclohexane Ethyl Nitrate	Diethyl Ether Divinyl Ether Ethylene Propylene Oxide
$\eta = 0.19$	Acetylene Ethylene Oxide Ethyl Nitrate Vinyl Acetylene	Hydrazine Isopropyl Nitrate Methyl Acetylene Nitromethane

Table 1은 CCPS 자료로 보통의 사고피해예측의 연구 프로그램을 운용할 때에 물질별 폭발효율로서 사용한다.

- 개방계: 1~10%(프로판의 증기운폭발: 0.03)
- 밀폐계: 25~50%

누설가스의 전부가 폭발하는 것은 있을 수 없다. 폭발한계에 들어가는 분량은 보통 전 누설량의 3~15% 정도인 것으로 추정한다. 이 값도 가스의 종류에 따라 다르며 기상조건, 착화까지의 지체시간, 착화점의 밀폐효과 등에 의존한다. 일반적으로 3~10%의 값이 되지만 본 연구에서는 밀폐계에 해당하는 폭발효율을 적용하였으며, 보다 안전을 고려하여 폭발효율을 밀폐계의 2~4배에 해당하는 100%를 적용하였다. 따라서 실제적인 피해 영향 범위는 본 연구에서 계산된 거리보다 훨씬 적을 것으로 판단하여야 할 것이다.

2.4. 폭발의 영향 범위 산정[14-16]

- 1) Scaling Law : 특정 질량의 TNT가 폭발할 때 어느 거리에 어느 정도의 피해를 줄 수 있는가를 추정할 때 사용하는 대표적인 법칙
- 2) TNT 상당량 : 어떤 가스폭발과 같은 에너지를 방

출하는 TNT중량(kg)

가스의 경우

$$W_{TNT} = \frac{\eta \times H_C \times W_C}{H_{TNT}} \quad (2)$$

W_{TNT} : TNT 상당량(kg)

W_C : 가연성가스의 질량(kg)

H_C : 가연성가스의 연소열(kcal/kg)

H_{TNT} : TNT의 연소열(1000 kcal/kg)

η : 폭발효율

3) 과압에서의 환산거리

$$Z = \frac{R}{W_{TNT}^{1/3}} \quad (3)$$

W_{TNT} : TNT 상당량(kg)

Z : 환산거리(m/kg^{1/3})

R : 폭발중심으로부터의 관심거리(m)

4) 주어진 과압이 영향을 미치는 거리

$$X = 0.3967 \times W_{TNT}^{(1/3)} \exp[3.5031 - 0.7241 \ln(O_p) + 0.0398 (\ln O_p)^2] \quad (4)$$

X : 주어진 과압의 영향이 미치는 거리(m)

W_{TNT} : TNT 상당량(kg)

O_p : 과압(psig)

5) 폭발 과압의 영향

Eisenberg 등은 핵폭발 자료에 근거하여 직접적인 폭풍영향에 대한 Probit 모델을 제시하였다[17]. 건물과 사람에 대한 아이젠버그 계산식은 다음과 같다(단, 개인 목표물의 질량이 150파운드(0.45359237*150 = 68 kg)이고 서있는 자세이다. 그리고 어떤 수직표면의 가까운 근처에 위치하지는 않는다.).

가) 폐출열로 인한 사망

$$Probit = -77.1 + 6.91 \ln(P_s) \quad (5)$$

나) 고막 파열의 경우

$$Probit = -15.6 + 1.93 \ln(P_s) \quad (6)$$

다) 구조물의 손상

$$Probit = -23.8 + 2.92 \ln(P_s) \quad (7)$$

라) 유리의 파손

$$Probit = -18.1 + 2.79 \ln(P_s) \quad (8)$$

P_s : 피크과압(pa)

III. 계산치 및 사고피해예측 결과

폭발의 효과는 무엇이 어떠한 폭발을 일으켰는지에 따라서 각각 현저한 차이가 나타난다. 본 연구에서는 부탄 캔의 파열로 인한 폭발압력에 대하여 알아보기에 2장의 식 (2)를 적용하여 TNT상당량을 계산하였다. 하지만 가스와 폭약과의 차이에 의하여 폭발에 작용하는 가스의 양에 의하여 폭발과압의 차이가 많이 있으므로 미국 등에서는 보편적으로 폭발효율을 적용함에 있어서 기존의 실험에 의해 구하여진 효율을 적용하고 있는 실정이다. 보편적으로 C₃H₈과 C₄H₁₀의 폭발에 적용되는 폭발효율은 식 (1)을 이용하여 구하며, Table 1은 실험에 의한 값으로 C₃H₈ 등에는 0.03을 적용하며 밀폐 계인 경우 0.5까지 적용한다.

하지만 본 연구에서는 여러 가지 안전사항을 복합적으로 판단하여 보기 위하여 폭발효율을 1로 적용하여 계산하였다. 따라서 계산된 수치보다 실제에서는 보다 안전할 것으로 판단된다.

식 (2)에 폭발효율 1을 적용하여 W_{TNT} 당량을 구한 수치를 식 (3)에 적용하여 환산거리 Z 를 구하였다. 이를 이용하여 폭발장소로부터 일정거리에서의 과압을 Fig. 1로부터 산출하였다.

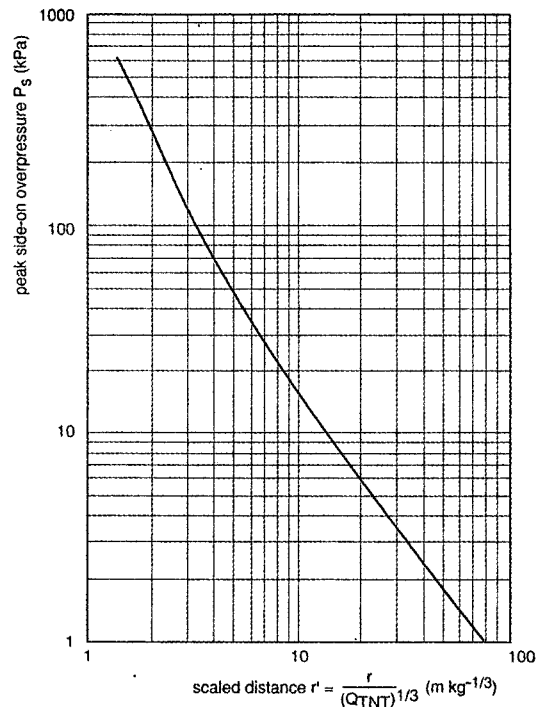


Fig. 1. Peak overpressure by TNT explosion.

Fig. 2은 확률값(Probit값)과 백분율과의 관계를 도식화한 것이다. Fig. 2을 이용하여 Probit 분석 계산식에서 구한 수치를 적용하여 거리별로 건축물 및 인간에게 미치는 사고피해를 예측하고자 한다.

Table 2는 피크과압에 따른 피해형태를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 과압의 영향에 대하여 Hopkinson의 삼승근법을 이용하여 계산하고, 폭발장소 주변의 건축

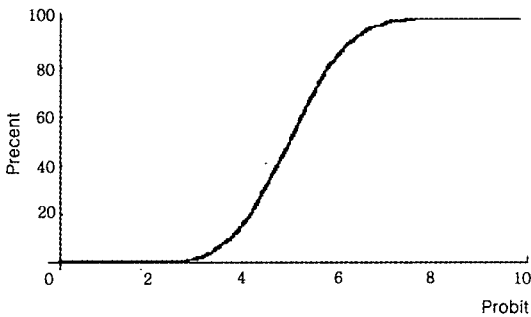


Fig. 2. Relation with probability value(probit) and percent.

Table 2. blast damage by overpressure (op).

op (kPa)	Form of damage
0.14	disagreeable noise by low frequency (10~15 Hz)
0.21	partial damage of window made of glass
0.28	big noise and glass is broken
0.69	small transformed window made of glass is broken
1.03	glass bursting pressure
2.07	10% of glass window is broken
2.76	Small damage limitation of building
3.45	big and small window fracture
4.83	house small breakage
6.89	house portion breakage
8.96	building steel frame flexure
13.79	weak concrete wall fracture
15.86	serious structural damage lowlevel
20.68	steel frame building flexure
27.58	oil storage tank explosion
34.47	wood pillar is crash and explosion of tympanum
41.37	house whole breakage
48.26	overthrow of freight car
62.05	whole destruction of freight car
68.95	whole destruction of building
2068	death probability of 100%

물과 인간에게 미치는 영향을 Probit 모델에 적용하여 피해예측을 평가하였다. 따라서 Table 2는 Probit 분석 계산으로 구한 수치와 과압에 의한 피해정도에 대하여 비교 · 검토하는데 활용하고자 한다.

Table 3은 2장의 식 (2)에서 구한 TNT당량을 이용하여 식 (3)에 적용하여 TNT당량에 해당하는 환산거리를 구한 수치이며, 이 수치를 이용하여 Fig. 1에 적용하여 폭발장소에서의 이격거리별 피크과압을 구한 수치이다. 또한 이러한 수치를 이용하여 식 (4)에 적용하여 주어진 과압이 미치는 영향거리를 구하여 보았다.

폭발장소에서의 이격거리별 피크과압을 구한 수치와 주어진 과압이 미치는 영향거리의 차이는 폭발의 영향이 폭약과 가스의 물성 및 효율의 차이로 볼 수 있겠다.

Table 3. Overpressure about distance of butane can weight 34 g (10% propane and 90% butane ingredient).

Z (m)	R (m)	W _{TNT} (kg)	Op (kPa)	X (m)
1.34	1.00	0.4196	740.00	0.80
2.67	2.00		175.00	1.44
4.01	3.00		69.00	2.30
5.34	4.00		42.50	3.02
6.68	5.00		31.00	3.64
8.01	6.00		22.00	4.49
9.35	7.00		17.50	5.20
10.69	8.00		16.00	5.52
12.02	9.00		13.50	6.18
13.36	10.00		12.00	6.69
20.04	15.00		5.90	11.06
26.71	20.00		4.25	14.14
33.39	25.00		3.20	17.61
40.07	30.00		2.40	22.15
53.43	40.00		1.75	28.70
66.79	50.00		1.35	35.73

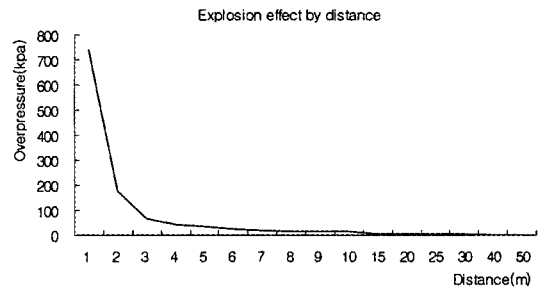


Fig. 3. Explosion effect by distance.

부탄 캔(용량 : 34 g) 파열로 인한 과압의 피해예측에 관한 연구

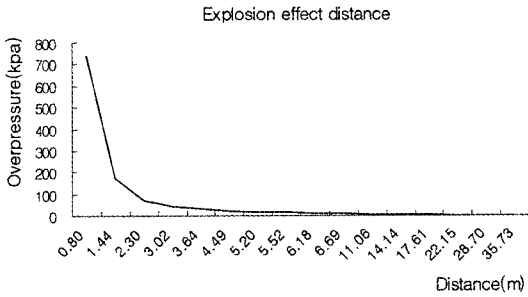


Fig. 4. Distance by the effects of the explosion overpressure.

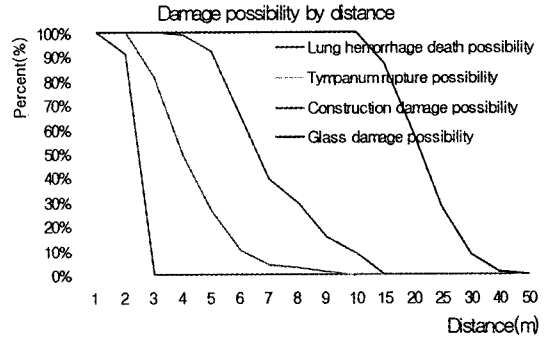


Fig. 5. Damage possibility by distance.

Table 4. damage possibility about distance of butane can weight 34 g (10% propane and 90% butane ingredient).

Z (m)	Lung hemorrhage death	Tympanum rupture	Construction injury	Glass bursting
1	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
2	90.7%	99.8%	100.0%	100.0%
3	0.0%	81.6%	100.0%	100.0%
4	0.0%	48.9%	98.9%	100.0%
5	0.0%	26.0%	91.8%	100.0%
6	0.0%	9.6%	65.3%	100.0%
7	0.0%	4.0%	39.3%	100.0%
8	0.0%	2.8%	29.6%	100.0%
9	0.0%	1.3%	15.2%	100.0%
10	0.0%	0.0%	8.5%	100.0%
15	0.0%	0.0%	0.0%	86.9%
20	0.0%	0.0%	0.0%	58.3%
25	0.0%	0.0%	0.0%	27.9%
30	0.0%	0.0%	0.0%	8.4%
40	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%
50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Fig. 3는 일정거리를 바꾸어 반복 계산하여 폭발지점으로 부터 일정거리별 과압을 산출하여 도식화한 것이며, Fig. 4는 과압이 미치는 영향거리를 과압과의 상관관계로 도식화한 것이다.

Fig. 3와 Fig. 4의 그래프를 살펴보면 과압에 따른 영향거리와 실제 관심거리가 거의 흡사하게 나타나고 있다.

Table 4는 과압이 미치는 거리별로 건축물과 인간에게 미치는 피해영향을 Fig. 2에서 바로 적용하여 백분율로 나타낸 것이며, Fig. 5은 Table 4를 도식화한 것이다.

Table 5. LPG vapor pressure (MPa).

Temp. (°C)	0	10	20	30	40	50	60
C ₃ H ₈	0.39	0.55	0.74	0.99	1.32	1.66	2.84
C ₄ H ₁₀	0.01	0.07	0.14	0.23	0.33	0.46	0.62

부탄 캔 폭발에 의한 사고피해예측은 국내에서는 전무한 상태이다.

1997년 한탄강에서의 부탄 캔 폭발에 대한 실험자료[18] 내용에 의하면 파편의 비산거리는 최고 48m까지 비산되었으나 대부분의 용기는 2~20m 사이에 비산되었다.

폭발시 화염은 최고 높이 6m 너비 약 4m에 달하였으며 풍향방향으로 5m 스틸로폴 타켓 및 창호지 타켓이 화염에 의하여 소손되었으며 10m 높이의 고무풍선이 파열되었다.

국내에서 생산되는 부탄 캔은 두께(0.20~0.23 mm)가 얇고 내용적 또한 적기 때문에 외부 온도에 의하여 Table 5에서 보듯이 쉽게 용기 내부의 압력이 높아져 부탄 캔 파열압력 2.1 MPa(21 kg/cm²)를 넘어서게 되어 아주 짧은 시간(단 몇초)에 폭발이 일어난다.

폭발에 따른 소음 및 과압은 외부 화염에 의해 극히 짧은 순간(일반 스톱워치에 의해 측정시 0.15~0.21초)에 소음을 유발시키지만 발생과 함께 극히 짧은 순간에 소멸하여 버리며 먼 거리에는 영향을 미치지 못한다[19]. 하지만 과압은 공기를 매질로 하여 폭발장소에서 멀리까지 영향을 미칠 수 있다. 본 연구의 계산결과에서 보듯이 사용하고 폐기하는 잔 가스(34g)의 폭발로 인하여 50m에 이르기까지 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 폭발효율을 100% 적용하여 이론에

의한 계산결과로 피해영향을 예측하였다. 따라서 실제 적으로 미치는 영향은 연구결과와 동일한 피해가 일어난다고는 보기 어려우며 피해영향은 매우 미미할 것으로 판단된다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 관심거리 3 m까지는 Probit 모델에 의한 계산값은 69 kPa의 과압이 발생하는 것으로 나타났으며 이는 모든 건물이 파괴되는 과압에 해당된다. 50 m 떨어진 곳부터의 건물에 대하여는 피해가 전혀 없는 것으로 나타났다.

2. 관심거리 5 m까지는 Probit 모델에 의한 계산값은 31 kPa의 과압이 발생하는 것으로 나타났으며 이는 인간의 고막이 파열되는 과압에 해당한다. 10 m 떨어진 곳부터의 인간에게는 피해가 전혀 없는 것으로 나타났다.

3. 부탄 캔 파열에 의하여 인간이 폐출혈로 인하여 사망할 수 있는 한계 거리는 3 m 이내인 것으로 나타났으며, 고막이 파열되는 한계거리는 10 m로 나타났다. 하지만 폭발효율을 고려한다면 사망 및 고막 파열에 이르는 한계거리는 훨씬 줄어들 것이다. 실제적으로 부탄 캔 파열로 인한 사망 및 고막파열 보고는 단 한 건도 없다.

4. 구조물에 손상을 입히는 한계거리는 15 m로 나타났으며, 유리 파손의 한계거리는 50 m로 나타났다. 이 또한 실제적인 부탄 캔 파열에 의한 구조물 손상 및 유리파손의 피해 한계거리는 줄어들 것으로 판단한다.

하지만 이러한 모든 결과는 이론에 근거하였다. 물론 연구에 인용된 계산식은 실험식을 근간으로 하였기에 피해예측에 충분하다고 할 것이다. 피해한계 거리보다 이격된 곳에서의 사고피해는 발생하지 않을 것으로 판단한다.

후 기

향후 부탄 캔 각각의 양에 따른 파열로 인한 과압 피해영향평가와 기타 자료를 조사연구하여 그에 따른 주변 환경에 미치는 영향을 관찰함이 필요할 것이며, 폭발에 의한 피해 영향 거리를 산정하여 인간에게 미치는 영향을 최소화 하는 방안에 대해 후속 연구를 진행할 것이다. 또한 부탄 캔을 사용후 폐기시 소각장에서 파열로 인한 영향 범위 등에 대한 관련 규정 제정시 참고할 수 있도록 다각도로 체계적인 연구가 필요할 것이다.

또한 본 연구는 가스안전교육원에서 법정교육시 가스 폭발의 위험성에 대한 교육을 위하여 실시하는 폭

발실험에 의한 피해를 최소화하기 위하여 피해예측을 실시하였음을 밝히며, 이 자리를 통하여 자료수집에 도움을 주신 가스안전교육원 교수실에 근무하는 교수님들께 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] 한국가스안전공사, 2003가스사고연감, 선진상사, 89-91, (2004)
- [2] 한국가스안전공사, 10월 사고통계 현황 보고서. (2004)
- [3] 에너지경제연구원 홈페이지 참조 (www.keei.re.kr), 통계정보시스템.
- [4] W.E. Baker, P.A. Cox, P.S. Westine, J.J. Kulesz and R.A. Strehlow, Explosion Hazards Evaluation Elsevier Science, (1983)
- [5] W.K. Crowl, Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, Technical Manual TM 5-1300, U. S. Army, Navy, and Air Force, U. S. Government Printing Office, Washington D.C. (1969)
- [6] 한국산업인력공단, 사고피해영향평가기법, KOSHA CODE P-09-1999, (1999)
- [7] F.T. Bodurtha, International Explosion Prevention and Protection, McGraw-Hill, New York, (1980)
- [8] Center for Chemical Process Safety (CCPS), Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis : Chapter 2. Consequence Analysis, AIChE, New York, 59-184, (1989)
- [9] W.E. Baker, Explosion Hazards and Evaluation, Fundamental Studies in Engineering, Oxford, New York, (1983)
- [10] D.A. Crowl and J.F. Louvar, Chemical Process Safety : Fundamental with Applications, Prantice-Hall Inc., New York, (1990)
- [11] P.S. Westine, The Shock and Vibration Bulletin, 42, part5, 173-185, (1972)
- [12] Truax, Barry (ed), A Handbook for Acoustic Ecology, Vancouver, A.R.C. Publication, p1261, (1978)
- [13] W.C. Brasie and D.W. Simpson, Symp. Loss Prev. 63rd Meeting AIChE St. Louis, (1968)
- [14] 正田 強, "고압가스", 일본고압가스보안협회발행, 15(10), 550-558, (1978)
- [15] CCPS, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fire and BLEVE", AIChE, New York, (1994)
- [16] R.J. Harris. M.R. Marshall and D.J. Moppett, The Response of Glass Windows to Explosion Pressure. Symp. Series No. 49. ICJemE. (1977)

부탄 캔(용량 : 34 g) 파열로 인한 과압의 피해예측에 관한 연구

- [17] Frank P, and Lees, M.I. Ang, "Safety Cases", Butterworth & Co. Ltd., (1989)
- [18] 한국가스안전공사, 가스방출실험보고서, 동신인쇄사, p. 132, pp. 135-138, (1997)
- [19] 임사환, "부탄 캔 폭발장소 주변의 소음에 관한 연구", 한국소음진동학회지논문집, **14**(11), 1166-1175, (2004)