한국산학기술학회논문지
Vol. 8, No. 2, pp. 362-366, 2007

가스 폭발 Booth의 방출구 설계

임사환[1*], 허용정[2], 마성준[3], 정필영[4]

A Design on the Discharge Vent for Gas Experimental Booth

Sa-Hwan Leem[1*], Yong-Jeong Huh[2], Sung-Jun Ma[3] and Pil-Young Jeong[4]

요 약 21C 산업의 발전과 더불어 급증하고 있는 가스 산업은 사용의 편리성과 위험성을 공존하고 있다. 따라서 현장의 안전관리자에게 가스폭발의 위험성을 교육하기 위한 실험용 폭발부스를 설치하기 위하여 폭발압력에 의하여 부스의 붕괴를 방지하기 위한 일환으로 방출구를 설계하는데, NFPA 68의 배기모델을 이용하여 방출구를 설계하였다. 가연성가스가 LPG인 경우 2.8297㎡, NG인 경우 3.0518㎡로 계산되었다.

Abstract As the industry of 21C has been developed, the gas industry has been grown and its convenience but it accompany risk for using gas. Therefore, we designed a vent area to prevent the collapse of the booth by the explosion pressure during test. The explosion booth was installed for training safety supervisors to aware the risk of gas explosion. The vent area was designed based on the exhaust model of NFPA 68. It was calculated at 2.8297㎡ for LPG and at 3.0518㎡ for NG.

Key Words : Design for Discharge Port, Gas Explosion, Experimental Booth

1. 서론

가스는 친환경적인 에너지원으로서 산업체와 일반 가정에서 사용이 급속도로 증가하여 국내 에너지 산업의 중추적인 역할로 대두되고 있음을 [표 1]에서 알 수 있다.[1] 또한 산업이 발전함과 동시에 인간의 안전에 대한 욕구도 날로 급증하고 있는 실정이다.

하지만 가스 사고는 다양한 원인과 형태에 의해 발생하고 있고 산업체와 가정 등에서 잠재적인 위험요소는 항상 내재하고 있으며, 반복적으로 동일유형의 사고가 발생하고 있는 실정이다.[2]

특히 가스폭발사고는 사회적으로 막대한 손실을 초래하고 있으며, 최근 5년간 발생한 가스시설에서의 사고현황은 [표 2]에 나타내었고, 형태는 [표 3]과 같다.

표 1. 에너지 소비 현황 (Units : 1000ton)

year / fuel	2005	2004	2003	2002	2001
Energy Consumption	229,333	220,238	215,066	208,636	198,409
LNG	29,989	28,351	24,194	23,099	20,787
Oil	101,553	100,638	102,380	102,414	100,385
(LPG)	(12,240)	(11,937)	(11,912)	(12,272)	(11,390)
Hydraulic	1,297	1,465	1,722	1,327	1,038
Nuclear	36,695	32,679	32,415	29,776	28,033
Coal	54,791	53,127	51,116	49,096	45,711
Other	5,007	3,977	3,241	2,925	2,456

[1]한국기술교육대학교 기계공학과
[2]한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부
[3]한국가스안전공사 경남지역본부
[4]대한건설기계안전관리원 광주검사소
*교신저자: 임사환(leemsahwan@kut.ac.kr)

표 2. 시설별 사고현황 (Units : EA)

facility \ year	2005	2004	2003	2002	2001
House	(23)[10]	(23)[7]	(23)[12]	(26)[11]	(24)[14]
Restaurant	21	19	16	18	21
1'st protection facility	3	2	6	2	3
Factory	3	1	5	6	3
Total	60	52	62	63	65

( ) : Single House, [ ] : Cooperation House

표 3. 사고형태별 현황 (Units : EA)

year \ type	leak	explosion	fire	toxication	lack	burst	total
2001	12	49	37	9	2	18	127
2002	19	57	21	11	-	11	119
2003	15	48	36	5	2	13	119
2004	14	45	20	8	2	21	110
2005	9	40	22	12	1	25	109
total	69	239	136	45	7	88	584

따라서 가스 사고를 미연에 예방하기 위하여 대규모 사업장에는 안전관리자를 선임하여 배치함으로써 가스 사고를 감소시키는데 기여하고 있다.[3~5] 이러한 안전관리자에게 가스폭발의 위험성에 대한 교육을 실시하기 위한 가스폭발실험용 부스를 설치코자 한다.

이러한 실험부스의 안전을 위하여 가스폭발시에 발생하는 압력의 위험성을 빠르게 제거하기 위해서는 방출구의 역할이 매우 중요하고, 건물에서의 폭압방출을 위한 연구들이 수행되어져 왔으며 밖으로 방출되는 폭풍압에 의한 피해에 대한 연구도 수행[6~8]되었으며, 그 내용의 중심은 보호대상물의 강도와 압력방출장치의 개방압력을 결정해준 상태에서의 폭압방출면적을 계산하기 위한 것들이었다. 또한, 가스폭발로 인한 피해영향 범위 및 안전거리에 대한 연구도 수행[9~11]되었으며, 향후 실험용부스의 안전에 대한 연구와 피해영향에 대해서도 연구를 진행할 예정이다.

본 연구에서는 교육용으로 활용되는 가스폭발실험용 부스의 붕괴를 방지하기 위한 방출구를 배기모델을 이용하여 설계하였다.

2. 폭발이론

폭발의 정의는 순간적으로 에너지를 방출하여 주위 공기의 밀도, 압력, 속도가 불연속적인 변화가 있는 상태를 말한다. 폭발에는 물리적 폭발과 화학적 폭발로 나눌 수 있는데, 가스폭발은 산화제와 혼합된 가연성 가스운의 연소과정으로 정의 할 수 있다. 이러한 가스폭발은 밀폐된 공간에서의 폭발과 개방된 공간에서의 폭발로 나눌 수 있으며, 가스폭발에 의하여 형성된 압력은 사람 및 구조물에 피해를 주고, 폭발은 화재 또는 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)와 같은 사고로 발전할 수 있다.[12~14]

가연성 물질을 취급하고 있는 건물은 폭발시 폭발압력을 방출할 수 있는 충분한 배기구를 가지도록 설계하는 것이 가연성 물질의 누출에 의한 심각한 폭발피해를 방지할 수 있는 방법이다.

건물에서 가스 폭발이 일어날 때 배기모델은 주로 Rasbash 방법과 Runes 방법이 사용되고 있다. 이 두 가지 방법은 건물에서 순간적으로 가스가 방출되는 현상에 대한 것이다.

본 논문에서는 NFPA 68에서 규정한 방법을 사용하여 계산하였다.[15]

2.1 Rasbash Method

실내 가스폭발에 의하여 최대 도달압력 계산으로 가장 많이 사용되고 있는 식으로 다음과 같다.

$$P_{red} = \frac{1.5P_v + fS_u(P_I + 2.5K)}{0.45} \quad (1)$$

$$P_I = \frac{0.2K\omega + 1.17}{V^{\frac{1}{3}}} \quad (2)$$

$$K = \frac{A_c}{A_v} \quad (3)$$

여기서, A_c는 실내공간에서 가장 작은 단면적(㎡), A_v는 총 배출구의 면적(㎡), f는 난류 보정 상수이며, K는 배출구 비, P는 배출가스에 의한 배압(㎪), P_{red}는 폭발에 의하여 도달하는 최대압(㎪), P_v는 건물에 약한 부분이 파열되는 압력(㎪)이고, S_u는 가스의 최대 연소속도(㎧), V는 실내공간 부피(㎥), ω는 배출구의 관성(㎏/㎥)을 나타낸다.

2.2 Runes Method

Rasbash방법과 마찬가지로 많이 사용되고 있는 식으로 다음과 같다.

$$A_v = \frac{CL_1L_2}{\Delta P^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

$$C = \frac{\pi V_f(E-1)}{200} \quad (5)$$

여기서, 총 배출구의 면적(㎡)은 A_v, 팽창비는 E, 건물의 가장 짧은 두 개의 길이(ft)은 L_1과 L_2, 폭발에 의하여 도달하는 최대 압력(lbf/in²)은 ΔP, 화염의 전파속도(ft/s)은 V_f, 상수((lbf/in²)$^{1/2}$)는 C를 의미한다.

위 식은 일반적으로 길이와 폭의 비(L/D)가 3이하인 경우에 적용된다. 화염전파속도는 프로판과 공기의 혼합가스에서는 3.35㎧를 적용한다.

앞에 나타낸 식들은 실내에 장애물이 없는 경우에 적용되는 것으로 장애물에 의하여 화염전파속도가 가속되어 폭발압력이 증가하는 현상 등의 경우에는 주의하여 적용하여야 한다.

NFPA 68에 의하면 1974년에는 Rasbath 방법과 Runes 방법을 사용하여 개구부 면적이 큰 것으로 건물을 설계토록 하였고, 1978년 개정판에는 Runes 방법만 사용하도록 하였다. 그러나 1994년에 개정된 식은 아래와 같다.[16]

$$A_v = C\frac{A_s}{P_{red}^{\frac{1}{2}}}, \ P_{red} \le 0.1 \quad (6)$$

$$A_v = a(V)^b e^{c(P_{stat})}(P_{red})^d, \ P_{red} \ge 0.1 \quad (7)$$

위 식에서 A_s는 실내 벽의 총면적(㎡), A_v는 배출구의 면적(㎡), P_{red}는 최대 폭발 압력(bar), P_{stat}는 밴트부 개방 압력(bar)이며, C는 배기 상수(bar^{½}), V는 밀폐공간 체적(㎥)이며, a, b, c, d는 상수이다.

위 식에서 배기 상수는 프로판의 경우 0.045, 메탄의 경우 0.037bar$^{1/2}$를 적용한다. 최대 폭발압력이 0.1기압보다 큰 영역에 적용되는 변수들은 [표 4]와 같다.

표 4. 폭발압력의 관계상수

kind \ constant	a	b	c	d
CH_4	0.105	0.770	1.230	-0.823
C_3H_8	0.148	0.703	0.942	-0.671
H_2	0.279	0.680	0.755	-0.393

3. 계산결과

가스폭발실험용 부스의 크기는 가로3m, 세로2m, 높이 2.5m로 부스공간의 부피는 15㎥이며, 이러한 공간에 대한 방출구를 설계코자 한다.

표 5. 과압에 의한 폭발피해

Pressure (kpa)	Damage
0.2068	glass window part damage
0.2758	big noise
1.0342	glass explosion pressure
2.0684	serious damage occurrence probability 95%
3.4474	big and small window fracture
4.8263	house small breakage
6.8948	house portion breakage
8.9632	building steel frame flexure
13.7895	weak concrete wall fracture
15.8579	serious structural damage low-level
20.6843	steel frame building flexure
27.5790	oil storage tank explosion
34.4738	wood pillar is crash and explosion of tympanum
41.3685	house whole breakage
48.2633	overthrow of carry burden freight car
62.0528	whole destruction of carry burden freight car
68.9476	whole destruction of building

계산에 적용한 가스의 종류는 폭발과 화재사고의 대부분을 차지하고 있는 일반가정과 요식업소에서 많이 사용되고 있는 LPG와 도시가스를 예로 사용하였다.

구조물 및 건물의 피해에 영향을 미치는 폭풍압력은 [표 5]와 같다.

NFPA 68의 1994년에 개정된 배기모델의 방법으로 폭발압력 방출구 크기를 계산하면 다음과 같다.

3.1 프로판인 경우

가연성 가스가 프로판인 경우 배기모델을 적용하여 계산하면 다음과 같다.

$$A_v = 0.148(15)^{0.703} \times (2.718)^{0.942 \times 0.002855} \times (0.210921)^{-0.671} = 2.8297\text{m}^2$$

3.2 도시가스인 경우

가연성 가스가 도시가스인 경우 배기모델을 적용하여 계산하면 다음과 같다.

$$A_v = 0.105(15)^{0.77} \times (2.718)^{1.23 \times 0.002855} \times (0.210921)^{-0.823} = 3.0518\text{m}^2$$

4. 결 론

본 논문에서는 가스안전교육원에서 가스폭발실험용으로 사용할 Booth의 안전에 관하여 NFPA 68에 의한 배기모델을 적용하여 개구부 크기를 파악해 보았다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) LPG인 경우 최대 통풍구 총면적이 2.8297㎡로 나왔다.
2) NG인 경우 최대 통풍구 총면적이 3.0518㎡로 나왔다.

이를 토대로 가스폭발실험용 부스의 방출구를 설계하여 건축하는 것이 타당할 것이다.

추후 가스폭발실험용 부스에서 많은 가스폭발실험을 통하여 방출구의 안전성에 대하여 심도 깊은 연구를 진전코자 한다. 또한, 가스농도 및 누출위치 등에 따른 화염 및 폭발파편에 의한 안전사고의 피해영향 범위에 대해서는 실험을 통하여 파악코자 한다.

참고문헌

[1] http://kosis.nso.go.kr

[2] Korea Gas Safety Corporation, "2005 Gas Accident Yearbook", Sun Jin company, pp87~172, 2006.

[3] Korea Gas Safety Corporation, "High Pressure Gas Safety Control Law", NamJin Painting House, p49, p75~76, 2006.

[4] Korea Gas Safety Corporation, "Liquid Petroleum Gas Safety Control Law", NamJin Painting House, p41~44, p66~67, 2006.

[5] Korea Gas Safety Corporation, "City Gas Business Law", Bansuk Munhwa Painting House, p65~67, p68, 2006.

[6] Kees van Wingerden, "Prediction of Blast Over Pressure Generated by Vapour Cloud effects in Direct Surroundings of Installations Protected by Dust Explosion Venting" J. Loss Prevention in Process Industries. Vol. 6, No.4, pp.241~249, 1993.

[7] Kees Van Wingerden, O R Hansen, R Teigland, "Prediction of the Strength of Blast Waves in the Surroundings of Vented Offshore Modules", unpublished paper.

[8] D. Crowhurst, S. Colwell, D. P. Hoare, M Bensilum, "The Characteristics of Explosion Pressure Measured Around Complex Structure Near Vented Dust Explosion", preprint for 7th Int. Symp. on Hazards, 1996.

[9] Sa-Hwan Leem and Yong-Jeong Huh, "A Development of Intelligent Decision System by Safety Distance of Gas Storage Tank", pp.721~726, Journal of the Korea Academic Industrial Society, Vol. 7, No. 4, 2006.

[10] Sa-Hwan Leem, "A Study on the Noise Near the Butane-can Explosion Location", pp.1166~1175, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 14, No. 11, 2006.

[11] Sa Hwan Leem, Ic Whoan Choi and Dong Yeon Lim, "A Study on Estimation of Overpressure Damage Caused by Rupture of Butane Can(volume : 34g)", pp.8~15, Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 9, No. 2, 2005.

[12] Dag Bjerketvedt, Kees Van Wingerden, Jan Roar Bakke, "Gas Explosion Handbook", pp.40~65, Elsevier Science, 1997.

[13] CCPS, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fire, and BLEVEs", Center for Chemical Process Safety, AIChE, New York, USA, 1994.

[14] Baker, Q. A., Tang, M. J., Scheier, E. A., and Silva, G. J., "Vapour Cloud Explosion Analysis", 28th Loss Prev. Symp., AIChE, April, 1994.

[15] NFPA 68, "Guide for Venting of Deflagrations", 1984.
[16] Crowl D A. and J. F. Louvar, "Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications", Prentice Hall, New Jersey. pp.82~151, 1990.

허 용 정(Yong-Jeong Huh) [종신회원]

- 1980년 2월 : 부산대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

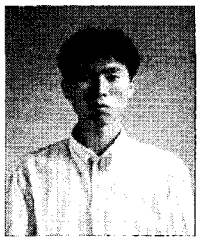
<관심분야>
지능형 설계, 사출성형의 CAD/CAE, 기계설계, 반도체 패키징,.....

임 사 환(Sa-Hwan Leem) [정회원]

- 1999년 8월 : 부경대학교 기계설계학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 부경대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학과 (공학박사수료)
- 2003년 2월 ~ 현재 : 한국가스안전공사 가스안전교육원 교수

<관심분야>
압력용기의 CAD/CAE, 안전관리, 기계설계, 지능형 설계, 최적화설계, ...

마 성 준(Sung-Jun Ma) [정회원]



- 1998년 2월 : 부경대학교 화학공학과 (공학사)
- 2000년 8월 : 부경대학교 안전공학과 (공학석사)
- 1995년 10월 ~ 현재 : 한국가스안전공사 부산지역본부

<관심분야>
안전성평가, 화공안전, 진단기술. 산업안전(작업환경),.....

정 필 영(Pil-Young Jeong) [정회원]

- 2004년 2월 : 한경대학교 조경공학과 (공학사)
- 2006년 8월 : 단국대학교 생산기술학과 (공학석사)
- 1991년 ~ 현재 : 대한건설기계안전관리원 검사원

<관심분야>
건설기계, 기계설계, 건설안전, 건설플랜트설계,.....