

밀폐공간에서의 VCE에 의한 건물피해예측에 관한 연구

임사환*, 허용정**, 이종락*

*가스안전교육원 교수실

**한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

e-mail:gentle@kgs.or.kr

A Study on Estimation of Structure Damage caused by VCE in Enclosure

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

*Faculty Division, Institute of Gas Technology Training

**School of Mechatronics Engineering, KUT

요 약

This paper is estimation of structure damage caused by VCE(Vapor Cloud Explosion) in enclosure. As we estimate the influence of damage which occur at gas facility in factory. We can utilize it the elementary data of safety distance. In this study, the influence of explosion over-pressure caused by VCE in enclosure was calculated by using the Hopkinson's scaling law and the accident damage was estimated by applying the influence on the adjacent structure into the probit model. As a result of the damage estimation conducted by using the probit model, both the damage possibility of explosion overpressure to structures 20 meters away and that of overpressure to glass bursting 80m meters away showed nothing.

1. 서론

산업사회가 발전하면서 점진적으로 변하는 에너지 산업에서 가스의 수요는 날로 급증하고 있다. 최근 5년 동안의 가스시설에서 발생한 사고의 현황은 Table 1과 같으며, 가스사고의 형태별 현황은 Table 2와 같다. 이를 살펴보면 가정집에서 가스폭발로 인한 사고가 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.^[1]

Table 1 Accident by facility (Units : case)

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

() : Single House, [] : Cooperation House

Table 2 Type by LPgas accident (Units : case)

Section	2001	2002	2003	2004	2005
Explosion	40(3)[6]	55(2)[-]	49(-)[1]	37(3)[5]	39(1)[-]
Fire	33(-)[4]	17(1)[3]	28(6)[2]	15(4)[1]	18(2)[2]
Leakage	3(7)[2]	2(15)[2]	6(4)[5]	5(8)[1]	2(7)[-]
CO Toxicosis	1(8)	2(9)	1(5)	2(6)	6(6)
Oxygen Deficiency	-[2]	-	-[1]	2	1

() : City Gas, [] : High-Pressure Gas

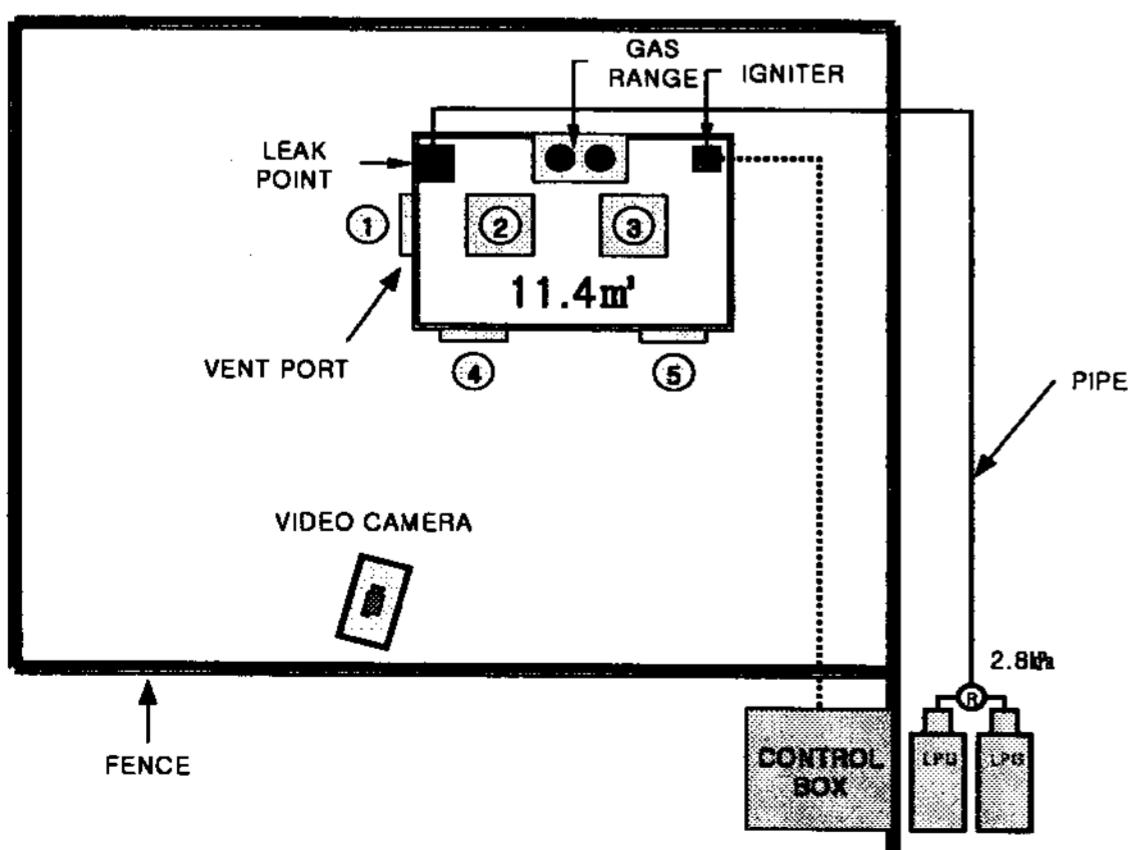


Fig. 1 Experimental apparatus

따라서 가스안전교육원에서는 이러한 공간에서의 누출에 의한 폭발의 위험성을 교육하기 위하여 Fig.

1과 같은 실험용 Booth를 만들어서 피해예측을 고찰하고자 한다. 기존의 연구에서는 과압에 의한 안전거리 및 안전성 등에 대한 연구를 진행하였다.^[2~6] 본 연구에서는 폭발에 의한 영향범위 산정은 Scaling 법칙을 사용^[7,8]하고, 과압의 영향은 Probit 모델을 적용하였다.^[9~12]

2. 이론적 배경 및 계산식

가스폭발로 인한 피해를 최대화 하기 위하여 농도는 양론조성^[13]에 가깝게 하였으며, 점화원과 누출원고의 거리도 최대한 멀리하였다.^[14] 또한 이를 위하여 가스폭발의 강도를 TNT폭발과 비교하여 TNT 상당량을 구하는 방법을 채택하였다.

$$W_{TNT} = \frac{\eta \times H_C \times W_C}{H_{TNT}} \quad (1)$$

- W_{TNT} : TNT 상당량(kg)
- W_C : 가연성가스의 질량(kg)
- H_C : 가연성가스의 연소열(kcal/kg)
- H_{TNT} : TNT의 연소열(1000kcal/kg)
- η : 폭발효율(개방계에서는 1~10%)

$$Z = \frac{R}{W_{TNT}^{1/3}} \quad (2)$$

- Z : 환산거리(m/kg^{1/3})
- R : 폭발중심으로부터의 관심거리(m)

구조물에 미치는 영향은 아래 식을 이용하였다.

가) 구조물의 손상

$$Probit = -23.8 + 2.92 \ln(P_s) \quad (3)$$

나) 유리의 파손

$$Probit = -18.1 + 2.79 \ln(P_s) \quad (4)$$

P_s : 피크과압(Pa)

3. 계산결과

최대압력이 발생하는 농도는 체적이 11.4m³이므로, CH₄의 경우는 1083ℓ, C₃H₈의 경우는 456ℓ이다. 따라서 본 연구에서는 LPG을 누출하여 실험을 실시하였다.

밀폐공간에서의 VCE에 의한 과압의 피해예측을 위하여 식(1)을 적용하여 TNT상당량을 계산하였다. 보편적으로 가정에서 사용되는 CH₄와 C₃H₈의 폭발에 적용되는 폭발효율은 개방계에서는 0.03을 적용한다.^[15,16] 하지만 본 연구에서는 여러 가지 안전사항을 복합적으로 판단하기 위하여 폭발효율을 1로 적용하였다.

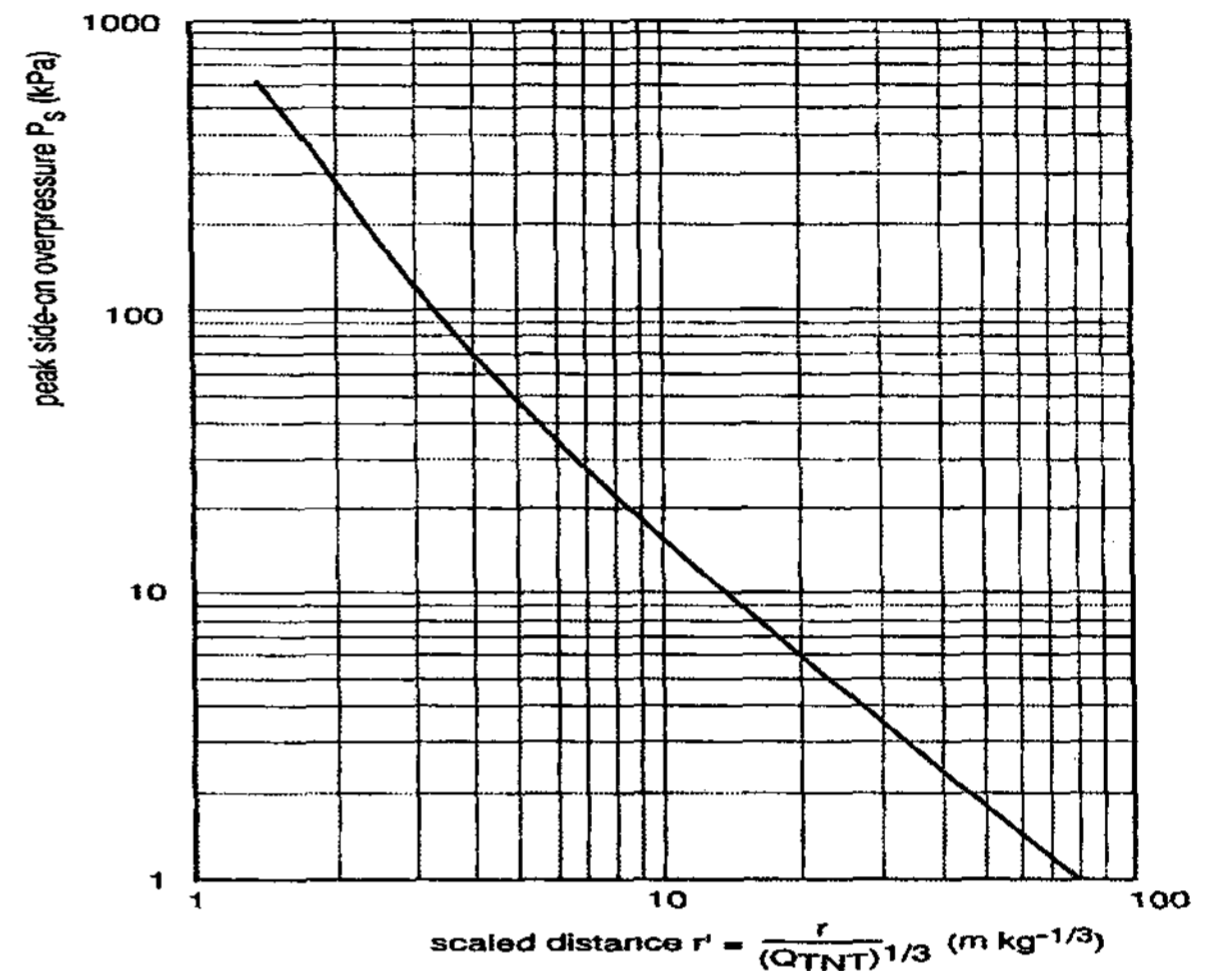


Fig. 2 Peak overpressure by TNT explosion

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

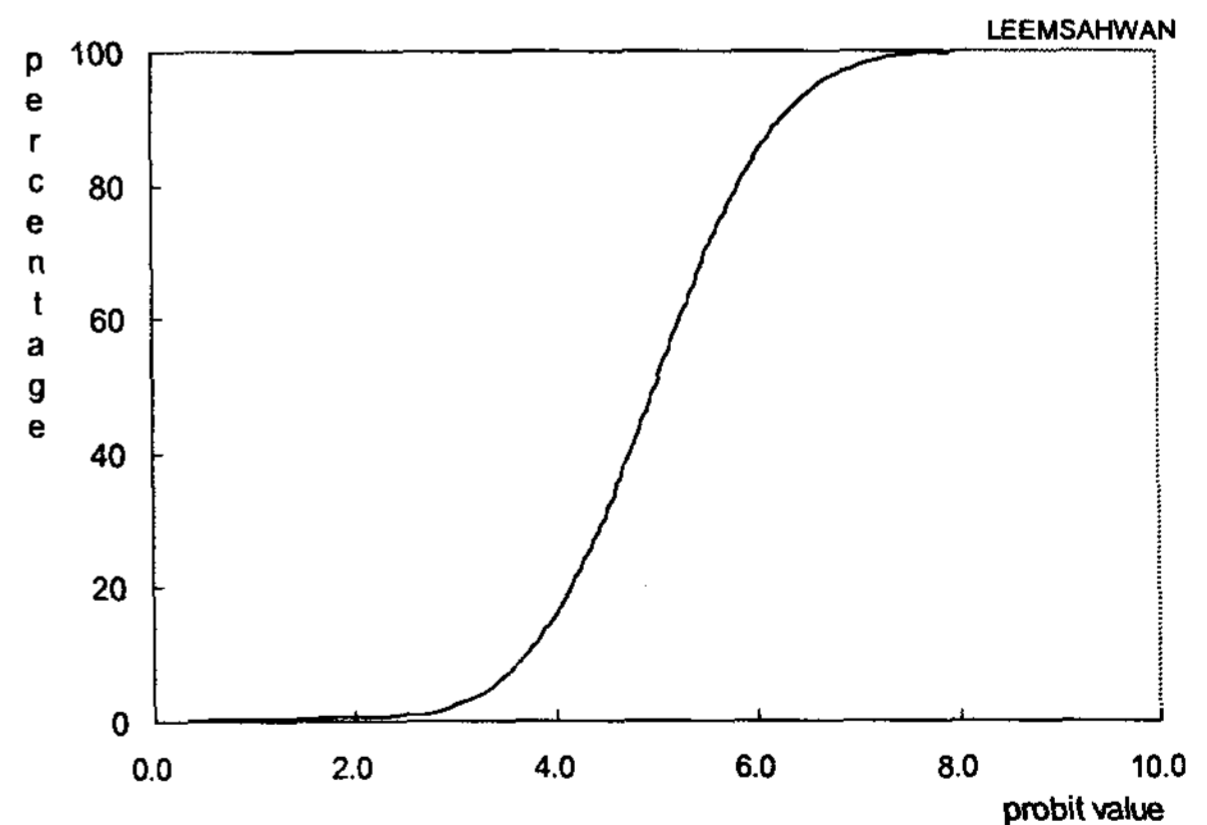


Fig. 3 Relation with probability value

Fig. 3은 확률값(Probit값)과 백분율과의 관계를 도식화한 것이다. Fig. 3을 이용하여 Probit 분석 계산식에서 구한 수치를 적용하여 거리별로 건축물에 미치는 사고피해를 예측하고자 한다.

본 연구에서는 과압의 영향에 대하여 Hopkinson의 삼승근법을 이용하여 계산하고, 폭발장소 주변의 건축물에 미치는 영향을 Probit 모델에 적용하여 피해 예측을 평가하였으며, LPG의 이론연소열 12564kcal/kg을 적용하여 계산하였다.

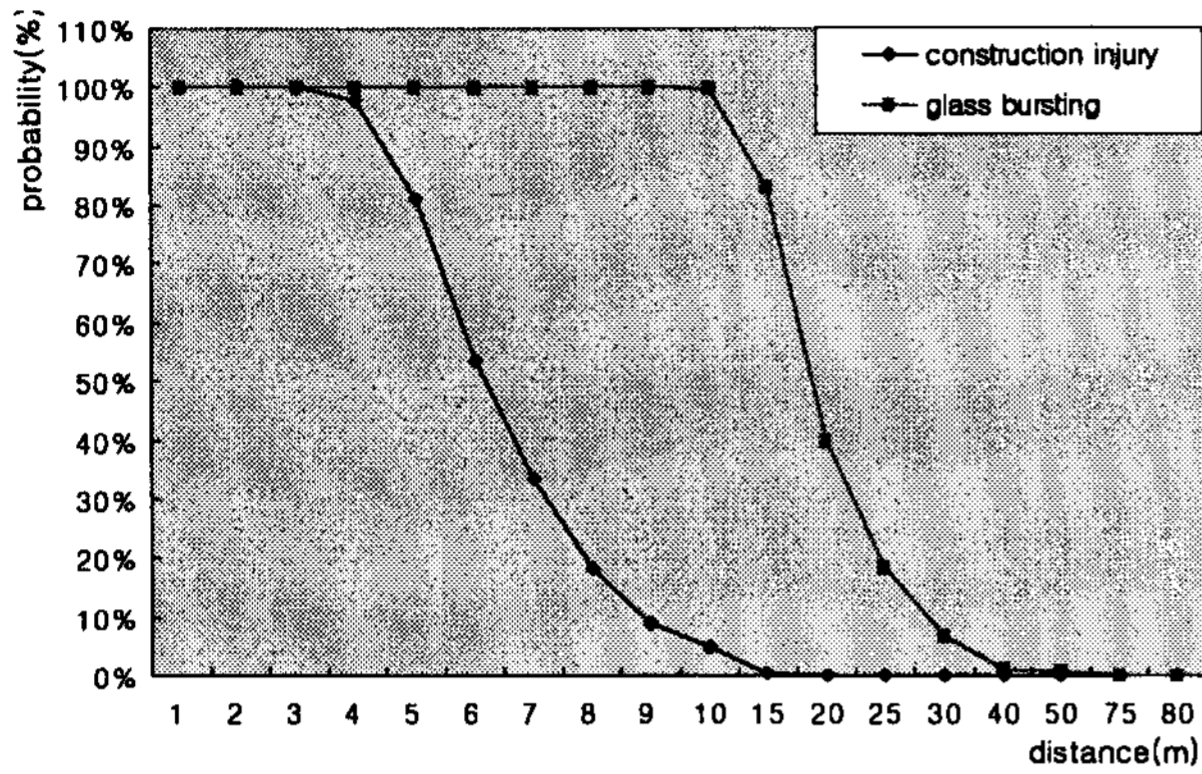


Fig. 4 The distance for damage effect at factor 0.03

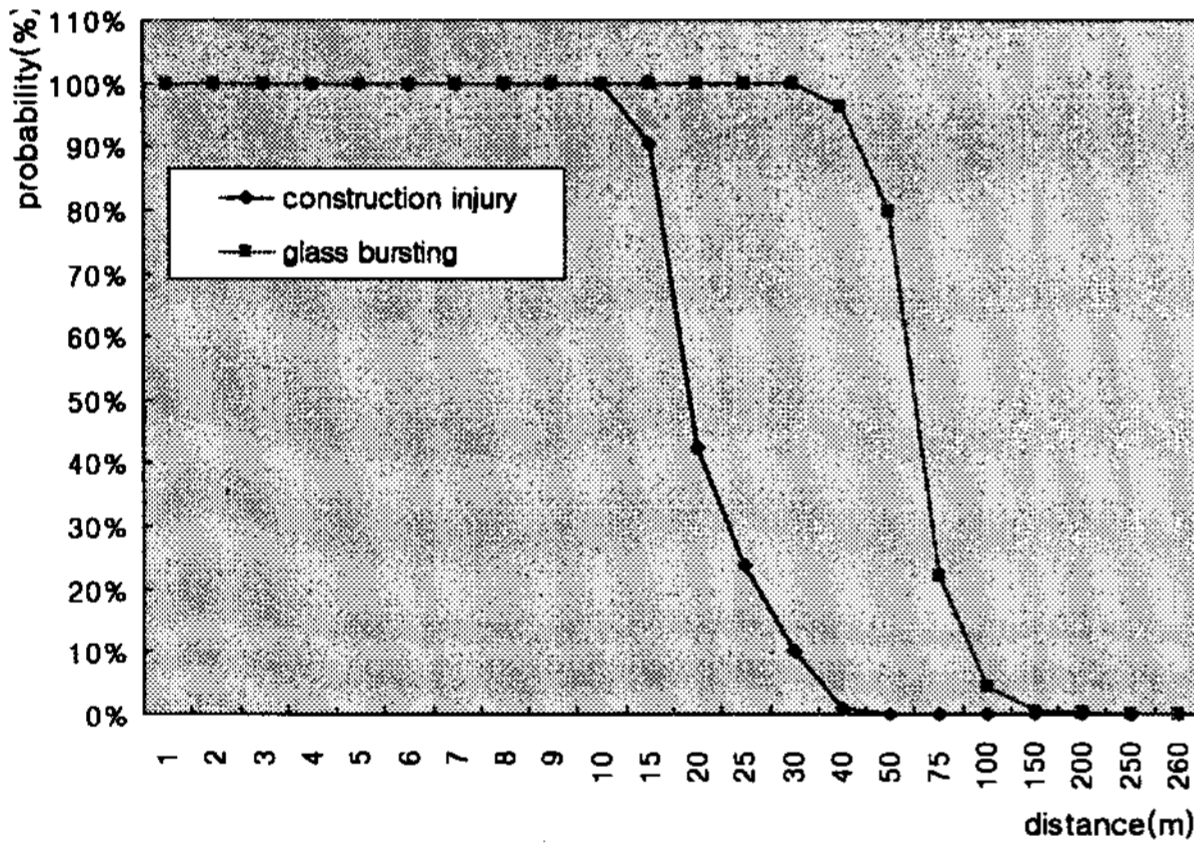


Fig. 5 The distance for damage effect at factor 1.0

Fig. 4는 폭발효율 0.03을 적용하였을 경우 거리에 따른 손상확률이며, Fig. 5는 폭발효율 1.0을 적용한 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 폭발효율을 100% 적용하여 이론에 의한 계산결과로 피해영향을 예측하였다. 따라서 실제적으로 미치는 영향은 연구결과와 동일한 피해가 일어난다고 보기 어려우며 피해영향은 매우 미미할 것으로 판단된다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폭발효율을 0.03으로 적용하였을 경우, 관심거

리 20m부터는 구조물에 대한 손상확률은 0%로 나타났다으며, 폭발효율을 1.0으로 적용하면 구조물에 대한 관심거리가 50m부터 손상확률이 0%로 나타났다.

2. 폭발효율을 0.03으로 적용하였을 경우, 관심거리 80m부터는 유리에 대한 손상확률은 0%로 나타났다으며, 폭발효율을 1.0으로 적용하면 구조물에 대한 관심거리가 260m부터 손상확률이 0%로 나타났다.

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.

추후 화염의 거동에 따른 건축물 등에 미치는 피해영향분석과 과압 및 화염에 의한 인체에 미치는 피해영향을 계속 연구코자 한다.

참고문헌

- [1] Korea Gas Safety Corporation, "2005 Gas Accident Yearbook", O-Sung Printing, pp.25-287, 2006.
- [2] S.H. Leem and Y.J. Huh, "A Development of Intelligent Decision System by Safety Distance of GAS Storage Tank", *Journal of Korean Academic Industrial Society*, Vol.7, No.4, pp.721~726, 2006.
- [3] K.H. Oh, Y.O. Kang and S.E. Lee, "A Study on the Flame Behavior of Whirl Fire and Pool Fire", *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 19, No. 3, pp. 45~50, 2004.
- [4] S.H. Leem, I.W. Choi and D.Y. Lim, "A Study on Estimation of Overpressure Damage Caused by Rupture of Butane Can(volume : 34g)", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 9, No. 2, pp.8~15, 2005.
- [5] B.J. Lee and J.H. Kim, "Characteristics of Methane Non-Premixed Multiple Jet Flames", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, Vol.29, No.2, pp.349~355, 2005.
- [6] J.O. Chae, S.S. Kim, Y.D. Jo and G.H. Jang, "A study on the characteristics of gas explosion with vent area", *Journal of the Korea Institute of Gas*, Vol.7, No.4, pp.53~60, 2003.

- [7] W.E. Baker, P.A. Cox, P.S. Wetine, J.J. Kulesz and R.A. Strehlow, "Explosion Hazards Evaluation", *Elsevier Science*, 1983.
- [8] 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.
- [9] CCPS, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fire and BLEVE", *AICHE*, New York, 1994.
- [10] R.J. Harris, M.R. Marshall and D.J. Moppett, "The Response of Glass Windows to Explosion Pressure" Symp. Series No. 49. *ICJemE*, 1977.
- [11] Frank P and Lees, M.I. Ang, "Safety Cases", *Butterworth & Co. Ltd.*, 1989.
- [12] Korea Industrial Safety Corporation, "Effecting Method of Accident Damage", KOSHA CODE P-09-1999, 1999.
- [13] M. Bjorkhaug, "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.
- [14] HC.J.M. van Wingerden. J.P. Zeeuwen, "Explosion in pipe-rack-like obstacle array", 10th International Colloquium of Explosion and Reactive Systems. 1985. Berkeley. California. AIAA Progress and in astronautics and aeronautics. 106, 1986.
- [15] Truax, Barry(ed), "A Handbook for Acoustic Ecology", Vancouver, *A.R.C. Publication*, p.1261, 1978.
- [16] CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", *CCPS of the AIChE*, 1989.