

가스용기 운반 중 누출된 LPG의 정량적 위험 분석

박기창, 배성진, 김성훈, 김병직, 이주엽^{**}, 이근원^{**}
 숭실대학교 환경·화학공학과
 한국산업안전공단^{**}

A Quantitative Risk Analysis of LPG Leaked During Carrying Gas Bomb

Ki-Chang Park, Sung-Jin Bae, Sung-Hun Kim, Byung-Jick Kim
 Joo-Yeub, Lee^{**}, Kuen-Won Lee^{**}

Dept. of Chemical Environmental Engineering, Soongsil University, Korea
 Korea Occupational Safety & Health Agency^{**}

1. 서론

LPG는 열량이 높고 깨끗하고, 취급이 간편하며 공해가 적은 가스 연료로서 사용량이 향후에도 지속적으로 증가될 것으로 보인다. 이러한 가스는 발전용을 비롯해서 공장용, 가정용 등으로 광범위하게 사용되며 이에 따른 유통과정 중에 필요한 각종 운반설비, 공급설비, 사용설비 등의 설치가 증가되고 있다. 이와 같은 가스의 사용확대에 따라 증가되고 있는 가스사고 또한 결코 경시할 수 없다. 특히 LPG(Liquified Petroleum Gas)는 공기보다 무거워 누설되면 지면에 깔리고 바람의 속도에 따라 먼 거리까지 이동할 수 있다. 그리고 오목한 곳에 체류하여 폭발성 혼합가스를 형성하는 경향이 높으며 또한 폭발 한 값이 낮아 소량이 누출되더라도 점화될 잠재위험(Hazard)이 매우 크다. 이같은 잠재위험들은 LPG를 생산, 저장 그리고 사용하는 곳뿐만 아니라 수송 중에도 간과할 수 없다. 최근 들어 사고의 적절한 피해산정 및 합리적 대책 마련의 필요성이 인식되어 공정에 잠재하고 있는 위험성을 정량화하는 작업에 관심이 증가하고 있다. 이러한 위험의 정량화가 필요한 이유는 정량 분석을 통해 얻은 결과를 근거로 발생 가능한 손실을 예측할 수 있고 이를 통해 사고가 발생했을 경우를 대비한 적절한 대비책을 세워 그 손실규모를 최소화할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 LPG 누출에 의한 위험분석을 용이하게 하기 위한 위험분석 프로그램을 개발하여 ETA(Event Tree Analysis)법으로 LPG 운반도중 발생할 수 있는 사고의 빈도수를 구한 뒤, 이를 바탕으로 폭발로 인한 피해 범위 및 피해정도를 예측할 수 있는 프로그램을 실행하여 그 결과를 분석·고찰하였다.

2. 위험성 평가 방법

본 연구에서는 LPG 가스용기를 적재한 트럭이 특정지역을 통과할 때 발생할 수 있는 누출 가능한 잠재위험과 사고 전개과정에 대하여 확인하였다. 그리고 피해정도를 정량적으로 평가하여 누출·폭발 시에 인명피해 및 주변 환경에 미치는 영향의 심각성을 다루었다.

개략적인 개요를 살펴보면 LPG 가스용기 이송 중 누출 가능한 잠재위험을 찾아내고 발생할 수 있는 가능성을 정량적으로 분석한다. 기존의 HAZOP 연구를 이용하여 LPG 이송 중 아무 이상 없이 목적지까지 도달할 수 있는지 아니면 내부 또는 외부의 영향에 의해 어떻게 일탈현상이 발생하는지에 대한 잠재위험을 찾아내어 기록하고 그의 원인을 파

약하였다. 그리고 확인된 잠재위험 중 높은 사상(events)과 기존의 FTA(Fault Tree Analysis)자료를 이용하여 LPG 누출발생 빈도를 ETA의 초기사건으로 놓고서 연속적인 시간에 따른 사건진행의 구조적 범위를 제시, 이에 따라 발생 가능한 사고빈도를 순차적으로 산정하였다. 또한 사고빈도 산정결과 가장 높은 발생빈도를 갖는 결과를 초점으로 가스용기 누출 실험자료와 프로그램을 이용하여 결과를 산정하고, LPG 가스용기 이송 중에 발생할 수 있는 위험으로 가정하여 영향범위 및 피해거리를 계산하여 이송 중에 특정 지역을 경유할 때의 위험정도를 비교·분석하였다.

3. 잠재위험 확인

잠재위험확인 은 LPG 가스용기 이송 중 위험성 평가에 있어서 정량적 분석의 기본이 된다. 그래서 Table. 1와 같이 HAZOP 연구를 통해 LPG 가스용기의 이송 중 잠재위험을 확인하였다.

LPG 가스용기 이송 중 교통사고로 인한 누출 가능성을 정상사상으로 선정하여 발생빈도를 평가하였다. 과거의 FTA 데이터를 적용하여 ETA 초기사건으로 놓고서 이에 따라 발생하는 사건들의 순서들을 확인하였다. ETA로 확인된 사건들은 UVCE, BLEVE, Local Thermal Hazard, Flash Fire 등이며 FTA의 누출빈도값을 적용하여 정량적으로 빈도를 산정한 결과 UVCE가 $45.6 \times 10^{-6}/yr$ 로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 Flash Fire, BLEVE 순으로 나타났다. 그래서 본 사례연구에서는 가장 발생빈도가 높은 UVCE를 토대로 LPG 가스용기 누출 시 사고강도를 평가했으며 위험성 산정에 적용시켰다.

Deviation	Causes	Consequences
교통사고	1. 운전자 실수 2. 자동차 충돌 3. 자동차 고장 4. 자연재해	1. Release of valve leaked & rupture 2. Release of bomb leaked & rupture

Table. 1 LPG 가스용기 이송 중 HAZOP 연구를 이용한 잠재위험확인

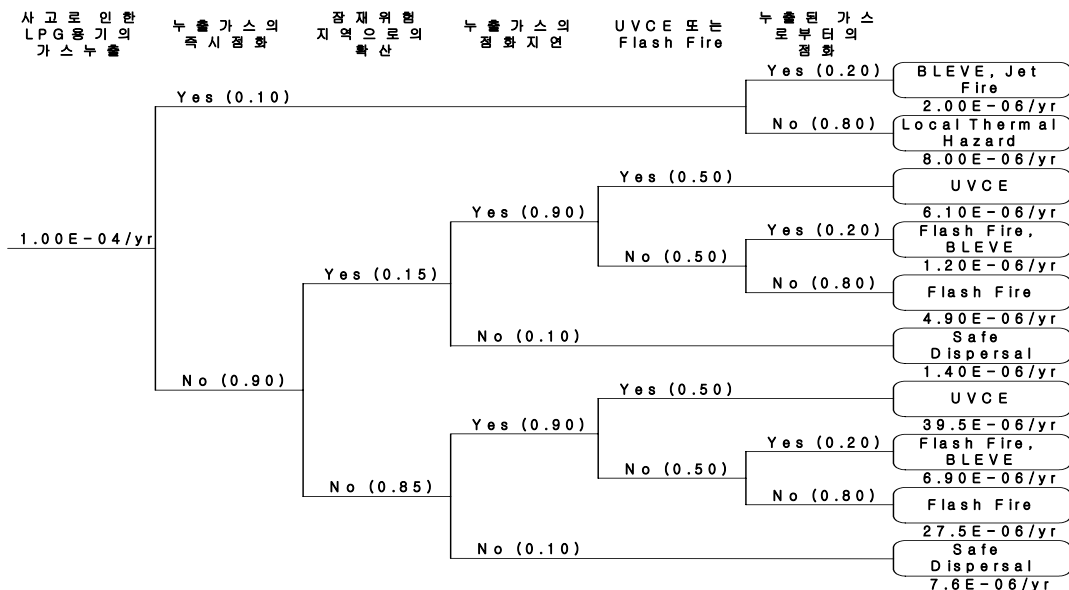


Figure 1. LPG 누출사고에 대한 ETA

4. 정량적 위험성 분석

LPG 가스용기 이송 중 교통사고로 가스용기가 rupture되며, LPG(propane)가 누출되어 UVCE가 발생된 상황을 가정하여 프로그램을 실행하였다. UVCE의 가장 일반적인 TNT 모델을 이용하여 LPG 가스용기에서 누출된 LPG의 양을 TNT 당량으로 환산하여 그 값을 과압력에 따른 환산거리에 적용하여 실제 거리를 계산하였다. 그리고 과압으로 인한 영향을 적용하여 실제 영향 거리를 계산하였다. 그 결과 LPG 가스용기 이송 중의 누출된 LPG의 양을 시간에 따라 피해거리를 모사한 결과는 Table 2.와 같으며, Figure 2.는 시간의 증가에 따른 거리와 과압과의 관계를 나타낸 그래프이다. 과압은 거리에 따라 TNT의 폭발량과 유사하게 감소하며 시간에 따라 증기 발생량이 증가하며 유동범위의 확산으로 과압이 증가함을 알 수 있고 누출 현장 부근의 철골구조물의 변형이 발생할 수 있으며 용기나 구조물을 파열시킬 수 있고, 그 결과 넓은 지역에 작은 파편들을 발산시키며 이러한 파편이나 비산물은 사람에게 큰 상해를 주고 구조물이나 공정장치에 손상을 준다는 것을 추정할 수 있다.

영향	Overpressure (psig)	피해거리 (m)		
		10분	20분	30분
A	0.3	27.8	38.1	43.3
B	0.5	19.1	25.0	27.5
C	0.7	16.2	19.1	21.3
D	1.0	11.9	15.5	17.8

Table 2. LPG 가스용기 Rupture시 누출시간에 따른 UVCE에 의한 피해거리

A : 심각한 손상이 발생할 확률 95%

B : 크고 작은 창 부서짐

C : 가옥 소파

D : 가옥부분 파괴

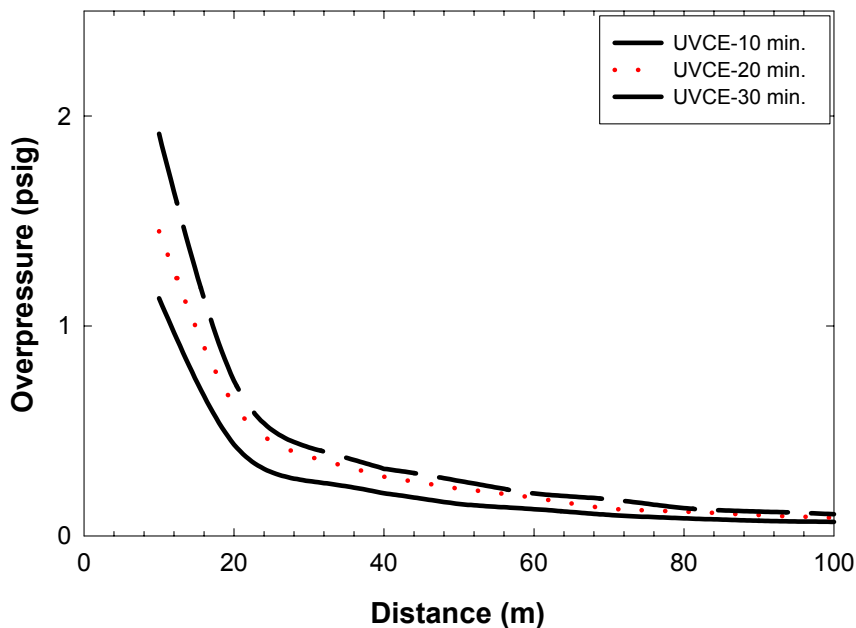


Figure 2. Distance vs. overpressure with time released

5. 결론

UVCE의 경우, 가스용기에서 누출되어 증발된 LPG에 대하여 사고현장주변에서 11m이내에서는 심각한 구조적 손상을 보이며, 150m 이상에서는 창유리가 일부 파손되는 경미한 피해가 추정된다. LPG 가스용기를 이송하는 차량의 사업자는 이러한 위험성을 인식하여 운전자들이 사고위험성이 높은지역에서 안전운전을 지향하게 하고, 안전성이 높은 지역을 이용하도록 교육을 시키는 등 필요한 조치를 취하여야 하며, 또한 가스용기에 대한 안전규정을 지킬 수 있도록 해야만 한다.

참고문헌

1. Crowl, D.A., Louvar, J.F., *Chemical Process Safety Fundamentals with Application*, Prentice-Hall, New-Jersey, 1990.
2. Center For Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models*, AIChE-CCPS, New York, 1996.
3. 유철진, 주종대, 조지훈, "화학공정 위험성 평가Ⅲ", 한국산업안전공단, (1998).
4. 임지환, "LP가스방출에 따른 피해영향 비교평가에 관한 연구(폭발을 중심으로)", 석사학위논문, 한양대학교, 1998.
5. 배성진, "화학공장의 화재·폭발의 정량적 영향 평가에 관한 연구", 석사학위논문, 숭실대학교, 1998.
6. Keun-won, Lee, "A Methodology for Assessing Risk from Released Hydrocarbon in an Enclosed Area", *J. of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(1), pp.11-17, 2002.
7. Cussler, E.L., *Diffusion Mass Transfer in Fluid Systems*, 2nd ed., Cambridge University Press, London, 1997.
8. McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. *Unit Operation of Chemical Engineering*, 5th ed., McGraw-Hill, 1993.
9. Himmelblau, D.M., *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 6th ed., Prentice-Hall, New-Jersey, 1996.
10. Perry, R.H., Green, D., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 6th ed., McGraw-Hill, 1984.
11. 백종배, "LPG Tanklorry 운송시 정량적 위험성 평가", 충주대학교