

부천 LPG 충전소 사고에 대한 고찰

윤재건, 고신영

한성대학교 기계시스템공학과

1. 머리말

아현동 벨브기지 폭발사고(94. 12. 7), 대구 지하철공사장 폭발사고(95. 4. 28), 부천의 LPG충전소 폭발사고(98. 9. 11)는 세계적으로도 그 유래를 찾아보기 힘든 사고들이다. 가스의 소비가 늘어나면서 크고 작은 가스사고 특히 대형사고의 위험성은 항상 주변에 상존하고 있다. 대형사고사례는 사고조사와 분석을 통하여 많은 것을 교훈으로 얻을 수 있다. 그러나 부천사고의 직접적인 원인이 아직도 규명되지 못하고 있다. 사고 조사기 법뿐 아니라 사고조사의 체계와 전문성이 구비되어 있지 못하여 이와 같은 일이 발생하고 있다고 생각한다. 안전관리를 위해서는 우선 사고조사의 선진화가 선행되어야 한다.

부천 LPG 충전소 사고의 원인이 미궁에 빠지게 된 것은 부탄의 최초누출지점에 대하여 어느 누구도 설득력 있는 설명을 하지 못하기 때문이다. 많은 가스관련 전문가들이 한국가스안전공사의 사고 시나리오에 동의하였다. 이 시나리오는 로리호스 체결부가 최초 누출 지점이라는 것이다. 이 시나리오의 주요한 가정 중에 하나가 Pool화염의 높이가 20 m이상이었다는 것이다. 본 원고에서는 이 가정에 대한 고찰을 통하여 부천 충전소 사고 원인을 재조명해 보고자 한다.

2. 사고개요

- 일시 : 98. 9. 11(금) 14:20경
- 장소 : 경기도 부천시 오정구 내동 70번지 대성에너지 충전소
- 피해현황
 - 인명피해 : 사망 1명, 중상 5명, 경상 78명 (계 84명)
 - 재산피해 : 약 120억원 (부천시 확인 피해액)
- 시설현황
 - 시설명 : 용기 및 자동차 충전시설
 - 지상3층, 지하1층 양식블럭조(3개동 165평)
 - 펌 프 : 언로딩펌프 : 7.5 HP*1개
 - : 액중펌프 : 11 Kw 500 l/min * 2개
 - : 콤프레샤 : 15 Hp 759 l/min * 1개
 - 저장탱크 : 부 탄 39.9톤(70,606 l), 프로판 29.9톤(82,257 l)
 - 충전기
 - 프로판용기 충전기 : 16연식 * 1세트
 - 부탄용기 충전기 : 8연식 * 1세트
 - 자동차 충전기 : 복식 4세트
 - 탱크로리

구분	용량	차량번호	제조일	번호	내용적	재검사	운전자
프로판	15톤	경기83가8485	'96.10	DYC-L-96-310	35,250 ℓ	-	임경운
부탄	12톤	경기 9러1291	'93. 4	YMC-12-008EX	28,200 ℓ	'98. 4	임경운

■ 사고내용 (한국가스안전공사 발표)

○ 안전관리책임자가 작업 현장을 이석한 사이 탱크로리 운전자가 부탄탱크로리 (12톤)에서 지하 매몰형 부탄저장탱크(39.9톤)의 액인입배관의 주밸브가 잠긴 것을 인지하지 못한 상태에서 이충전작업을하기 위하여 액체라인과 기체라인의 로리호스 카플링을 체결한 후 이충전작업을 실시하고 사무실 입구에 설치된 전기 배전판의 압축기 가동스위치를 작동시킨 후 휴게실에서 휴식을 취하던 중 탱크로리내의 압력이 상승하여 체결이 불량한 카플링이 이탈되면서 가스가 누출되어 미상의 점화원에 인화 화재가 발생하였고, 화염이 탱크로리를 집중 가열하여 BLEVE(Boiling Liquid Evaporating Vapor Explosion)현상으로 탱크로리가 파열된 것으로 추정되어진다. BLEVE는 액체가연물질을 저장하는 탱크외부의 화재로 인하여 탱크내부의 증기압력이 상승하여 탱크의 인장강도(가열되어 약해진)보다 커질 경우에 순간적으로 탱크가 파열하면서 큰 화구(FireBall)를 형성하는 폭발이다.

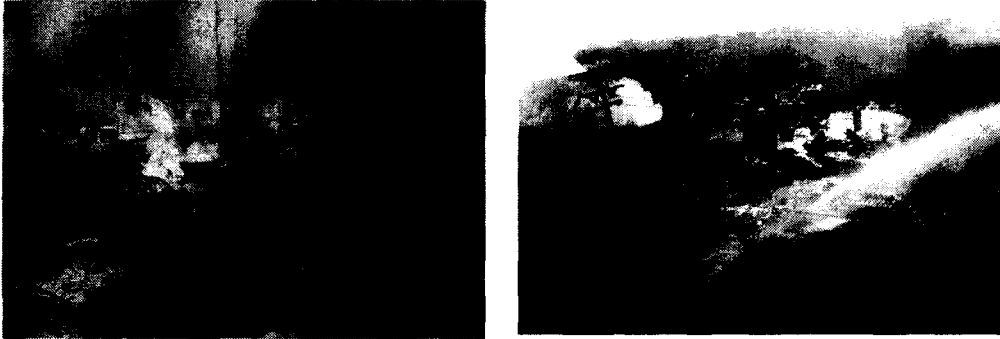
3. 사고원인에 대한 고찰

검찰측 공소내용을 살펴보면 한국가스안전공사직원은 충전소의 기계실에서 전기방식, 접지저항측정, 경보기작동, 안전밸브작동시험, 긴급차단작동시험, 로리호스, 배관기밀시험(액체라인배관)등 정기검사를 함에 있어 검사준비, 검사과정 및 검사 완료 시까지 충전소 직원은 입회만 시키고 직접 완전하게 하여야 함에도 안전검사 전문가로서 업무상 주의의무에 반하여, 충전소 안전관리자에게 밴트밸브를 통하여 질소가스를 배출하라는 지시만 하고 검사가 완료되지 아니한 상태에서 현장을 이탈한 업무상 과실이 있다는 것과 최초누출지점은 부탄하역라인 밴트밸브라는 것이다.

한국가스안전공사측의 견해는 이와 다른데, 만약 부탄탱크측 밴트밸브가 열렸다면 부탄탱크 로리호스 연결장치에 연결하여 탱크로리 액체밸브를 여는 즉시 밴트밸브에서 가스누출과 동시 하얀 연무가 하늘방향으로 4~5 m 치솟고 누출소음이 100 dB이상 되므로 그 즉시 탱크로리 밸브를 차단하면 누출이 중단될 수 있으므로 일시적인 누출은 있을 수 있으나 지속적일 수는 없다는 것이다. 또한 당시 폭발 장면으로 보아 대형화재가 발생하려면 이론적으로 10분 동안 3톤 이상의 LPG가 연소되어야 하나 내경 12.7 mm의 밴트밸브에서 누출되는 최대량은 972 kg이므로 대형화재가 일어날수 없다는 것이다.

따라서 사고 당시 여러 가지 상황을 고려하여 한국가스안전공사측은 탱크로리호스의 연결부위의 완전한 체결 및 이탈 등에 의한 누출 가능성에 중점을 두고 있다. 로리호스 커플러가 이탈되어 누출되는 이론적인 부탄양은 2,880 kg으로 대형화재의 발생이 가능하다. 커플러의 상부 및 잠금 고리가 파손된 상태로 발견되었으며 이는 불완전하게 체결된 상태에서 고압을 견디지 못한 커플링이 어긋나 이탈될 때 깨어진 현상과 유사하

다. 또한 기계실내의 누출 가능성으로 본다면 배관의 플랜지 연결부 또는 밸브 등의 손으로 인하여 지하저장탱크로부터 가스가 누출 될 경우에는 지하저장탱크 인입배관 탱크입구에 역류방지밸브가 부착되어 있고 긴급차단장치작동 및 전원공급차단으로 누출량은 배관내에 잔류하는 극소량이 되므로 대형사고가 발생할 수 없다는 것이다.



<Fig. 1>부천충전소 폭발사고현장사진1 <Fig. 2> 부천충전소 폭발사고현장사진2

사고시 촬영된 영상에 20 m 높이의 대형화재가 일어나고 있었고, 이 높이의 화재는 LPG의 화재 바닥 직경이 7~8 m 정도 되어야한다는 것의 근거는 다음과 같다.

$$\frac{H}{D} = 42 \left[\frac{b_r}{\rho_a} \sqrt{gD} \right]^{0.61}$$

- H : 화재의 가시적 높이(m) D : 화염의 바닥 직경(m)
 b_r : LPG의 연소속도 ($kg/m^2 \cdot sec$) ρ_a : 대기의 밀도 (kg/m^3)
 g : 중력가속도 (m/sec^2)

시간에 따른 연소 부탄량 : $W = \frac{\pi D^2}{4} b_r \times s$

W : 연소량 (kg) D : 화염의 바닥 직경 (m) s : 연소 시간 (sec)

높이 20 m이상 직경 7~8 m의 대형화재를 10분 동안 유지하기 위해서는 연소에 필요한 부탄량은 약 3톤이 필요하다. 여기서 사용된 부탄의 연소속도 $b_r=0.1040 kg/m^2s$ 이다. 만약 Pool화염의 높이가 15 m와 10 m로 가정하고 윗 식을 사용할 경우의 결과는 다음과 같다.

Table.1 화염높이, 직경의 변화와 연소시간에 따른 부탄의 연소량

화염의 높이	화재의 직경	연소시간	연소량 (kg)
20 m	8.00 m	5분 (300초)	1,570
		10분 (600초)	3,140
15 m	5.29 m	5분 (300초)	690
		10분 (600초)	1,370
10 m	2.95 m	5분 (300초)	210
		10분 (600초)	430

육안으로 관측되는 화염의 높이를 15 m로 가정할 경우 초당 연소되는 양은 약 2 kg이 조금 넘는다. 화염의 높이가 10 m라면 1 kg도 되지 않는다.

Table. 2는 LPG의 질량누출속도를 계산한 것이다. 누출의 직경을 달리함에 따라 누출되는 양은 달라지는데 액상인 경우와 기상인 경우 큰 차이가 있다.

Table. 2 LPG의 질량누출속도 계산결과 [3]

누출경	누출속도(kg/s)					
	프로판			부탄		
	액상	2상	기상	액상	2상	기상
S(12.5mm)	2.31	0.91	0.21	1.37	0.99	0.09
M(25mm)	9.23	3.63	0.86	5.50	3.96	0.35
L(50mm)	36.93	14.53	3.43	21.98	15.86	1.42

4. 맺음말

일반적으로 LPG누출화재사고는 Pool화재의 형태로 발전하지 않는다고 알려져 있다. 그것은 LPG가 대기중에 누출할 경우 급속한 증발로 인하여 액상의 유지시간이 짧다고 보기 때문이다. 그러나 부탄의 경우 부천 LPG 충전소 사고와 같은 Pool화염이 발생한다. 이는 부탄의 잠열이 커서 일반의 추측과 달리 급격한 기화가 일어나지 않기 때문이다. 사고 순간에 촬영된 동영상을 통하여 Pool화염의 높이를 20 m로 간주하였는데, 이 높이를 보다 낮게 간주할 경우 급격한 누출량의 감소가 확인된다. 또한 부탄액체의 연소속도 변화와 Pool의 실제 크기의 영향에 대한 고찰이 요구된다.

후기

본 연구를 위한 한성대학교 안전과학기술연구소의 지원에 감사합니다.

참고 문헌

1. 윤재건, 장우정, "LPG탱크로리 위험분석", '98추계학술논문발표회 논문집, 한국산업안전학회, pp. 53~58, 1998.
2. 노삼규 "Study for the Survey of Major accident at Buchenon LPG refueling Station", Proceedings of the 1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, pp. 249~251, 1999.
3. 박교식, "가스안전공학", 청문각, pp. 586~590, 1999.
4. 한국가스안전공사 "가스시설의 정량적 위험평가", Fire-Consequence pp. 12, 1998.