

LPG용기충전소와 자동차충전소의 위험성 비교

부제: 삼표에너지(주) LPG충전소의 위험성평가

윤재건 · 이승국* · 윤석정*

한성대학교 산업 및 기계시스템공학부 · *한국가스안전공사

1. 서론

LPG충전소는 프로판을 가정용 용기에 충전하는 용기충전소와 LPG자동차에 부탄을 충전하는 자동차 충전소로 구분할 수 있다. 현재 LPG 충전사업은 도시가스공급망 확대에 따른 프로판사업부문의 물량감소 등으로 용기충전소의 위상은 반감된 반면 부탄을 중심으로 한 LPG자동차충전소는 LPG자동차가 140만대에 육박하는 등 규모의 확대에 위상이 제고되고 있다. 즉 용기충전소의 사업적 이익 및 투자환경이 퇴색된 반면 자동차충전소의 경우 충전소수 및 운영비(종사자수, 운영비) 등에서 적은 비용과 인원으로 더 큰 효과를 얻을 수 있다는 점에서 LPG 충전업계의 큰 관심을 끌고 있다.

표 1은 연도별 LPG충전소의 변화 추이를 보이고 있다. 용기충전소의 사업장 수는 변화가 없는데 비하여 1997년 175개 이던 겸업충전소가 172개로 줄고 1997년 367개 이던 자동차충전소가 2000년에는 519개소로 대폭 증가하였다. 따라서 2000년의 총 729개소의 충전소중 자동차 충전소가 차지하는 비율이 94.3%가 되었다.

삼표에너지(주)의 충전소는 30톤의 지상 저장탱크를 3기 갖고 있는 용기충전소이다. (그림1 참조) 사업소부지의 일부가 지하철환승역부지로 편입되어 저장탱크가 환승역과 불과 3m의 이격거리에 위치하고 있다. 이에 따른 위험성이 수차 지적되어 충전사업주는 용기충전소에서 자동차충전소로의 전환을 추진하였으나 가스시설의 위험성에 대한 일반의 인식과 관련 법적용의 문제로 무산되었다. 일반에 노출된 모든 위험시설은 위험을 감소하는 방향으로 끊임없이 개선되어야 한다. 본 평가는 이러한 취지에서 기존 시설의 위험성과 전환코자 하였던 자동차충전소 시설의 위험성을 비교하는데 그 목적이 있다.

표 1. LPG충전소의 연도별 현황

	1997	1998	1999	2000
용기충전소(프로판)	41	38	39	41
자동차충전소(부탄)	367	389	427	519
겸업충전소	175	172	172	169
총계	583	599	638	729

2. 사고사례분석을 통한 충전소 위험성 비교

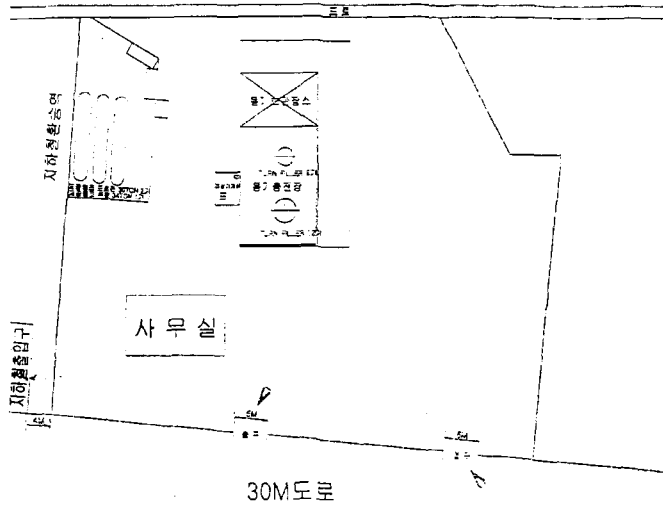


그림1. 삼표에너지(주) 용기충전소

표2는 국내에서 발생한 주요 LPG충전소사고를 보이고 있다. 부천의 대성에너지충전소는 용기와 자동차충전을 겸하는 충전소로 사고의 피해를 볼 때 세계적으로도 그 유래가 없는 중대사고였다.

표2. 국내 주요 LPG충전소 사고사례

일시 및 장소	형태 및 피해정도	사 고 개 요
91.10.28. 15:38 경기도 성남시 상평동 용기충전 소	폭발 화상6명, 설비 전소, 차량 7대 전소	용기충전기를 8연식에서 신규 12연식 충전기로 교체작업 중 기존 설치된 인접충전기에서 충전시 누설된 가스가 체류되어 있다가 신규충전기의 턴테이블 지지대 고정구멍을 뚫기 위해 드릴 작업도중 누설된 가스가 폭발, 화재가 발생한 사고임
95.7.17. 15:30 경기 여주군 북내면 자동차충 전소	화재 B급 경상 2명, 부동산 14,250만원	탱크로리에서 소형저장 탱크로 가스를 충전하던 중 충전호스의 파손으로 가스가 누출되어 화재의 발생과 동시에 탱크로리 및 소형 저장 탱크가 파열된 사고로 추정됨
96.10.2. 11:00 대구수성구 범 어동 자동차충 전소	화재 사망1명, 시설파손, 차량3대 파손	LPG차량 운전자(남58세)가 LPG를 충전하기 위해 충전대쪽으로 후진하던 중 브레이크를 밟는다는 것이 액셀레이터를 밟아 차량이 충전대로 돌진·충돌하면서 충전대가 파손되어 가스가 누출, 차량 엔진에서 발생하는 스파크에 의해 인화·화재가 발생한 사고임
98. 9.11.14:20 경기 부천시 오 정구 내동	폭발 사망1명, 중상6명, 경상77명 부동산 957000만원	안전관리 책임자가 이충전 작업현장을 이식한 사이 탱크로리 운전자 가 임의로 부탄탱크로리(12톤)에서 지하 매물형 부탄 저장탱크(39.9톤)로 이충전작업을 하기 위하여 액체라인과 기체라인의 로리호스 커플링을 체결한후 가스압축기 전원스위치를 작동시키고 사무실에서 안전관리자와 함께 있던중 얼마후 다량의 액체가스가 누출되고, 화재가 발생하여 탱크로리가 폭발하는 등 인명 및 재산피해가 발생한 사고임.
98.10.6. 2:07. 전북 익산시 인화1가충전소	폭발 사망1명 중상6명 동산 1490만원 부동산 20647만원	충전원이 택시에 가스를 충전하기 위해 가스주입기를 택시에 연결한 후 그 가스주입기의 전자밸브 동작스위치를 눌러야 하나 가스주입기의 카플링 연결 나사 부분이 파손된 충전기의 전자밸브 동작스위치를 잘못 눌러 방치된 충전호스로 누출된 가스가 미상의 점화원에 인화되어 폭발한 사고임.

충전소의 장치별 사고 원인을 표3.에 보이고 있다.

표3. 충전소의 장치별 사고원인

구 분	'96	'97	'98	'99	2000	합계	비율(%)	주 요 원 인
충전호스	-	1	1			2	9	- 불량호스 사용 - 로리호스 오체결(인적오류)
충전기 (Dispenser)	3	1	1	1	2	8	36	- 수리중 잔가스 누출 - 차량과 충돌, 충전중 차량 출발
저장탱크	2	1	-		1	4	18	- 인적오류에 의한 게이지 손상 - 동파 누출, 과충전
배관(밸브등)	3	1	1			5	23	- 밸브에 이물질 닫히지 않음 - 배관부식, 안전밸브 고장
기 타	-	3	-			3	14	- 잔가스 누출
충전소 사고 (회/년)	8	7	3	1	3	22	100	

충전소의 사고원인은 80% 이상이 시설적인 결함이 아니라 주로 인적오류에 의해서 발생한다.[4]

표4.는 용기충전소와 자동차충전소의 사고사례를 보이고 있다. 자동차충전소와 용기충전소의 사업장수를 고려하면 사고율의 큰 차이가 없고 오히려 자동차충전소의 사고

빈도가 작은 것으로 나타난다.

표4. LPG충전소 사고건수 조회

구분	90년	91년	92년	93년	94년	95년	96년	97년	98년	99년	00년	계
자동차충전소	1	2	2	1	1	3	4	4	3	1	3	25
용기충전소	2	2	1	1	2	-	2	2	-	-	-	12
계	3	4	3	2	3	3	6	6	3	1	3	37

3. 정량적 위험성 평가를 통한 위험성 비교

용기 충전소 및 자동차 충전소에서 발생할 수 있는 사고 중 가장 최악의 사고 시나리오는 저장탱크나 탱크로리의 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) 폭발이다. 이는 인근의 제트 화재(Jet Fire) 및 풀 화재(Pool Fire)의 화염이 Tank Lorry 또는 저장탱크를 가열할 경우 탱크 속의 LPG는 가열되고 높은 증기압으로 인하여 탱크의 가장 약한 부분이 찢어져 폭발하고, 연이어 탱크속에 있던 LPG는 가열되어 이미 끓는점보다 높은 온도에 있으므로 일시에 탱크를 빠져 나오면서 화구(Fire Ball)를 형성하며 상승하게 된다. 단순한 화재의 경우, 시설로부터 안전거리를 확보하고 있으므로 피해범위가 충전소내에 국한되나, 폭발의 경우에는 부천충전소폭발사고와 같이 충전소 외부로까지 큰 피해를 주게 된다. 그러므로 자동차 충전소 및 용기 충전소의 저장탱크나 탱크로리의 폭발 사례를 중심으로 위험성평가를 실시하였다. 대상이 되는 충전소의 현황은 표 5와 같다. 여기서 용기충전소는 삼표에너지(주)의 경우이고, 자동차 충전소는 전형적인 모델이다.

표5. 위험성평가 대상 충전소

구분	용기충전소	자동차충전소	비고
	규격	규격	
저장탱크 현황	프로판 : 30 ton 1기(지상) 부탄 : 34 ton 1기(지상) 프로판 : 30 ton 1기(지상)	부탄 : 20톤 1기(지하)	
예상 판매량	70 ton/day	25 ton/day	
탱크로리의 용량	15 ton	15 ton	

용기충전소의 경우 BLEVE폭발을 야기할 수 있는 탱크는 지상설치된 3기의 저장탱크와 탱크로리이다. 자동차충전소의 경우 탱크로리만이 BLEVE폭발을 야기할 수 있다. 그러나 용기충전소의 경우에도 3기의 저장탱크가 병렬로 설치되어 있는 경우라도 동시에 폭발이 일어날 가능성은 없고, 설혹 폭발이 발생해도 어느 정도의 시간차이를 두고 발생할 것이다. 따라서 폭발의 피해예측은 가장 위력이 큰 34톤의 부탄탱크 1기에 대해서만 고려하면 충분하다. 대상이 된 자동차충전소의 경우의 폭발가능성은 탱크로리뿐이다. 지하저장탱크는 폭발하지 않는다는 것이 부천충전소 사고 이후 증명되었다.[1]

BLEVE의 폭발의 크기는 다음의 식으로 계산가능하다.

$$\text{Fire Ball의 최대직경 } D_{\max}(\text{m}) = 6.48 M^{0.325} \quad (1)$$

$$\text{Fire Ball의 지속시간 } t_{\text{BLEVE}}(\text{s}) = 0.825 M^{0.26} \quad (2)$$

$$\text{Fire Ball의 증양높이 } H_{\text{BLEVE}}(\text{m}) = 0.75 D_{\text{max}} \quad (3)$$

M : 액화 저장된 가연성 물질의 양(kg)

위의 식을 평가 대상인 용기충전소와 자동차충전소에 적용할 경우 결과는 표 6.과 같다.

표6. BLEVE 크기 비교

	용기충전소에서 부탄 30ton이 남아있는 저장탱크폭발	자동차충전소에서 부탄11ton이 남아있는탱크로리폭발
FireBall의 최대직경	184 m	133 m
FireBall의 지속시간	12초	9초
FireBall의 증양높이	138 m	100 m

34톤의 부탄이 6%의 폭발효율을 갖는 BLEVE를 일으킬 경우의 사고는 TNT 20톤이 폭발한 것과 유사한 위력을 갖는다. 또한 중요한 것은 지상에 위치한 저장탱크와 탱크로리의 BLEVE발생 확률을 같게 볼 경우 이러한 폭발의 발생확률이 구조적으로 용기충전소의 현재상황이 자동차충전소보다 4배 정도 높다는 것이다.

저장탱크나 탱크로리의 BLEVE ← 화재가 탱크의 기상부 가열 ← 저장탱크나 탱크로리 주변에 화재 발생 ← 로리암 커플러 주변 또는 저장탱크 지역에서 화재 발생 ← 로리암 커플러 주변 또는 저장탱크 지역에서 가스누출 후 점화

위와 같은 사고 시나리오를 갖고 사고 발생빈도에 대한 정량적 위험성평가를 수행하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.[1]

탱크(로리)의 BLEVE 폭발의 빈도는 용기 충전소에서는 1만년에 43.2회, 자동차 충전소에서는 1만년에 17.2회로, 자동차 충전소가 용기 충전소에 비해 약 40% 수준으로 감소되는 것으로 평가된다. 상기 결과의 주요 이유는 용기 충전소의 지상탱크는 BLEVE 폭발 가능성이 있으나, 자동차 충전소의 지하 매몰 탱크는 폭발의 가능성이 없기 때문이다.

4. 결 론

위험은 사고의 크기와 발생빈도의 곱으로 정의된다. 아무리 사고의 피해가 크더라도 발생빈도가 아주 작다면 수용할 만한 위험으로 간주할 수 있다. 그러나 일반의 인식은 발생빈도에 대한 고려 없이 피해의 크기에만 집중되는 경향이 있다.

다중이용시설인 환승역과 겨우 3m 이격되어 있는 삼표에너지(주)충전소의 저장탱크는 현 충전소관련법의 규제가 야기한 최악의 상황으로 어떠한 형태로든 개선되어야 한다. 현재의 용기충전소에서 발생 가능한 최악의 사고인 BLEVE의 위력은 TNT 20톤의 폭발위력과 유사하다. 현 용기충전소는 특히 지상설치된 저장탱크들이 환승역과 충분한 이격거리를 유지하지 않고 있음으로 인하여 피해를 크게 증폭시킬 수 있다. 저장탱크를 지하 매설한 일반적인 자동차 충전소에서 발생가능한 BLEVE의 3배 정도의 폭발의 크

기가 예상된다. 또한 이러한 BLEVE 폭발사고의 빈도는 용기 충전소에서는 1만년에 43.2회, 자동차 충전소에서는 1만년에 17.2회로, 자동차 충전소가 용기 충전소에 비해 약 40% 수준으로 감소되는 것으로 평가된다. 상기 결과의 주요 이유는 용기 충전소의 지상탱크는 BLEVE 폭발 가능성이 있으나, 자동차 충전소의 지하 매물 탱크는 폭발의 가능성이 없기 때문이다.

참고문헌

1. LPG 충전소 위험평가 결과보고서, 2000 (주)삼표에너지.
2. 부천LPG충전소 사고 원인에 대한 연구, 2001, 한국산업안전학회지 제16권 제3호.
3. 고압가스통계, 2000 한국가스안전공사
4. 가스사고연감, 1996, 1997, 1998. 2000 한국가스안전공사
5. 정량적 위험평가 절차서, 1998 한국가스안전공사
6. Methods for the determination of possible damages, 1996 TNO
7. Methods for the calculation of physical effects part 1 & 2, 1996 TNO
8. BLEVE probability of an LPG road tanker during unloading, 1995
AEA/CS/HSE R1043
9. Consequence Modeling을 이용한 화재안전거리, 1997, 한국화재보험협회
10. LPG 탱크로리 수송 중 위험성평가에 관한 연구, 1997 충주산업대학교