

탱크로리 위험요인 고찰

윤재건, 장우정, 손상근*, 이창수*
한성대학교, 한국가스안전공사*

Discussions on the Hazards of the Tank Lorry

Jae-Kun Yoon, Woo Jung Jang, Sang Geoun Son*, Chang Soo Lee*
Hansung University, Korea Gas Safety Corporation*

1. 머리말

LPG는 가정용, 공업용 연료로 많이 사용될 뿐만 아니라 자동차 연료로도 사용된다. LPG자동차의 보급이 활발해짐에 따라 LPG는 우리생활에 보다 가까워지고 있다. LPG의 육상운송은 거의 모두 tank lorry에 의존하고 있다. 따라서 가스의 사용량이 증대됨에 따라 tank lorry의 운행도 점점 빈번해지고 있다. 고압가스를 운반하는 tank lorry가 과연 다른 자동차의 운행보다 위험한 것인지를 알아보기위해 tank lorry의 위험요인의 고찰을 시도해 보았다.

탱크로리관련 사고사례를 분석하여 사고유형을 찾아내고, 탱크로리의 운행실태를 직접 조사하여 탱크로리관련 사고발생빈도의 예측을 시도하고자 하였다. 탱크로리의 운행상황속에 많은 위험요인이 내재하고 있으나, 실제 사고 발생빈도를 살펴보면 다른 위험활동보다 위험도가 크다고 판단되지 않는다. 그러나 이번 부천의 폭발사고와 같이 발생가능성이 거의 없다고 판단되는 탱크의 BLEVE현상이 실제로 일어나는 것을 보면, 보다 근원적인 탱크로리의 안전관리 활동이 요구된다.

2. 탱크로리 사고분석

탱크로리의 사고통계 자료에 의하면 전도에 의한 사고와 충전중 호스파열에 의한 사고 등이 자주 일어나고 있다. 부천의 대성에너지 충전소 폭발사고를 보면 막대한 피해를 주는 대형사고의 가능성이 있음을 알 수 있다. 탱크로리와 관련된 사고를 살펴보면 다음과 같다. 92년에 일어난 해양도시가스 폭발사고는 탱크로리 운전자가 하차시 보조브레이크를 채우지 않아 LPG저장탱크와 충돌해 폭발한 사고이고, 93년 충남 천안시에서 탱크로리에 호스를 불완전 체결로 가스가 누출된 사고가 있다. 주요한 사고사례를 Table 1에 보였다.

Table 1. The accident examples of LPG tank lorry¹⁾

일시	피해현황	형태별 등급	사고개요
93.12.27	LPG 화상 3명 재산 : 택시4대 및 사무실 파손	화재 C급	탱크로리에서 충전소 저장탱크로 LPG 충전중 탱크로리 운전자가 음주후 충전호스를 분리하지 않은채 운전하여 균압호스의 파열로 누설된 가스가 인화 화재가 발생한 사고임.
94.11.26	LPG 부상 : 1명 재산 : 8000만원	누설 C급	파속으로 탱크트레일러를 운전하던중 장애물을 피하기 위해 핸들을 꺾는 순간 진북대와 충돌하여 차량이 전복되어 탱크가 손상, 가스가 누설된 사고
95.02.05	LPG 사망 : 1명 중상 : 1명	기타 B급	탱크로리가 순천에서 구례방면으로 운행중 급커브길에서 핸들조작을 잘못하여 가드블럭을 약 150m떨면서 10m아래는 바닥으로 추락함.

일시	피해현황	형태별등급	사고개요
95.03.29	LPG	누설 B급	○○화학에서 프로판가스를 충전하고 점심을 먹기 위해 주유소에서 정차후 차량을 점검하던중 탱크로리 상단 액면계 후렌지 위에서 가스가 누설됨.
95.06.24	LPG	누설 D급	95.6.23 탱크 개방검사 완료후 가스를 탱크로리에서 저장탱크에 이충전 작업중 탱크노즐박스에 부착된 15A드레인 밸브의 노즐 용접부(탱크본체 부착부)에서 균열과 기밀시험 중 액체질소의 초저온 기체가 드레인 노즐로 주입되어 취성이 발생하여 균열이 발생한 사고임.
95.08.14	LPG 경상 : 3명	기타 C급	탱크로리 운전자가 졸음운전 도중 베스타승합차와 충돌하면서 탱크로리가 전복된 사고
95.11.30	LPG 부동산 : 500만원	화재 C급	고속도로 갓길에서 차량수리를 하고있는 탱크로리를 추력(트레일러)이 충돌하여 탱크가 1m정도 찢어지면서 누설된 가스에 인화되어 차량화재가 일어난 사고임.
95.10.08	LPG	누설 D급	95.10.7 19:00경 대구도시가스에서 사고탱크로리가 LPG 하역작업을 하던중 기체라인의 용접부에서 가스가 누설되는 것을 발견하고 액체가스를 이송한 후 잔가스가 없는 것으로 운전자가 잘못 판단한 상태에서 사고장소로 운행후 주차시켜놓고 퇴근, 탱크로리내에 남아있던 잔가스가 계속해서 누설된 사고.
95.05.23	LPG	기타 D급	인천에서 가스를 충전하고 남양주군으로 운행중 88도로에서 구리방향 진입, 인터체인지 입구에서 LPG탱크로리가 과속으로 운행하다가 길옆 7m아래로 추락하여 늪지대 속으로 전복된 사고임.
96.01.14	LPG 사망 : 1명	누설 C급	LPG탱크로리가 운행하는 도중 빗길 커브길에서 미끄러지면서 하천으로 추락, 전복되어 액면계가 파손되어 가스가 누설된 사고임.
96.02.01	부탄 부동산 : 450만원	누설 C급	가스온반용 탱크로리 차량이 눈길에 미끄러지면서 중앙선을 침범한 차량을 피하려다 차체와 추레일러가 분리되어 약 20m아래 하천으로 추락한 사고임.
96.03.30	LPG 경상 : 1명 동산 : 600만원	기타 C급	LPG탱크로리가 빗길 과속으로 운행중 눈으로 전복된 사고임.
96.02.08	LPG 동산 : 250만원	기타 C급	삼거리에서 직진하던 빈 LPG탱크로리와 우회전하던 황산탱크로리(황산96%)가 충돌하여 공단쪽으로 LPG탱크로리는 전복되고 황산탱크로리는 옆에 주차된 유조차와 충돌하여 황산이 유출된 사고임.
96.04.22	LPG	누설 C급	탱크로리 하부 이충전시 사용하는 기체 배관의 보강판에서 액체가스가 누출되고 기체배관의 이충전밸브를 열면 액체가 나오는 점으로 보아 탱크로리 본체와 기체배관과의 노즐용접부가 균열 또는 파손되어 보강판으로 액이 누출된 것으로 추정되는 사고임.
96.05.29	LPG 중상 : 1명 동산 : 900만원	기타 C급	LPG탱크로리 운전기사의 과속운전으로 인해 탱크로리가 전복된 사고임.
96.07.04	LPG 동산 : 1430만원	기타 C급	사고 장소에서 탱크로리와 승용차가 충돌하면서 탱크로리가 전복된 사고임.

일시	피해현황	형태별 등급	사고개요
96.12.16	LPG 동산 : 230만원	누설 C급	사고장소에서 차량에 고정된 탱크의 후단을 덤프트럭이 추돌하여 탱크로리가 전복되면서 액면계에서 가스가 누설된 사고임.
97.05.01	LPG 부동산 : 10만원	누설 C급	탱크로리 운행중 운전자의 운전부주의로 차량이 전복되어 탱크가 일부 파손되고 가스가 누출된 사고임
97.07.17	LPG 동산 : 110만원	파열 C급	LPG 10톤을 충전한 탱크로리에서 저장탱크로 이충전 작업중 충전로리호스의 노후로 인해 Y형밸브 연결부위 로리호스가 파열되어 가스가 누출된 사고임.
97.11.17	부탄	기타 C급	부탄가스 탱크로리가 운행도중 급정지하는 버스를 피하기 위해 핸들을 급격히 조작하다 미끄러지면서 도로상에 전복된 사고임.
97.12.02	LPG 동산 : 200만원	기타 C급	LPG를 충전하여 운행중이던 탱크로리 운전자의 운전부주의로 차량이 전복된 사고임.
97.12.10	LPG 경상 : 1명 동산 : 150만원	누설 C급	덤프트럭이 빙판길에 미끄러지며 LPG탱크로리 액면계 부위가 파손되어 가스가 누출된 사고임.
98.09.11	LPG 부상 : 56명 재산 피해 : 22억 9천	폭발 A급	부천의 LPG 충전소에서 가스의 누출로 화재가 일어난 사고로 탱크로리를 가열시켜 BLEVE 폭발을 야기시킨 사고임.

Table 2 는 교통사고와 사고형태별로 구분한 것이다. 탱크로리에 의한 사고는 3년동안 총 29건으로 그중 교통사고에 의한 사고는 21건으로 탱크로리 사고중 72%를 차지하고 있을만치 교통사고에 의한 사고가 상당히 높다는 것을 알 수 있다. 사고 통계에 의하면 교통사고 21건중 전도에 의한 사고는 13건으로 44.8%, 충돌에 의한 사고는 8건으로 27.2%를 차지하고 있다. 사고 유형별로 교통사고는 전도와 충돌에 의한 사고로 분류할 수 있다.

Table 2. The tank lorry accident¹⁾

연도	사고건수	교통사고				사고형태		
		전도	충돌	소계	기타	누설	화재·폭발	기타
95	11	4	3	7	4	4	2	5
96	11	4	4	8	3	4	1	6
97	7	5	1	6	1	2	2	5
계	29	13	8	21	8	10	5	16
구성(%)	100	44.8	27.2	72	28	34	13	55

전도에 의한 사고는 탱크로리 운전자가 과속으로 운행도중 빗길이나 눈길에 미끄러 지면서 전복되는 사고와 급회전시 전복되는 사고이다. 탱크로리는 일반적으로 다른 차량에 비해 전도되기 쉽다. 트럭이나 승용차는 빈차 상태에서 안전각은 45° 이상이고 탱크로리는 36° 정도로 다른 차량에 비해 10° 정도의 차이가 난다.²⁾ 만재된 상태에서 탱크로리가 70km로 운행시 급회전하면 안전각은 30° 정도로 줄어들어 전도되기 쉽다.

충돌에 의한 사고는 탱크로리측의 난폭운전에 의한 사고와 반대로 상대방의 난폭운전에 의한 사고 그리고 쌍방에 의한 사고로 나눌수 있다. 일본의 탱크로리 사고 통계(85~ 96년) 보면 로리측에 의한 사고는 39건(60.9%) 상대측에 의한 사고는 16건(25%) 쌍방에 의한 사고는 16건(14.1%)로 로리측에 의한 경우가 많다.²⁾ 이 것은 과속운전, 난폭운전, 졸음운전에 의한 것으로 탱크로리측의 주의 및 인식의 전환을 필요로 한다.

Table 2 에서 탱크로리 누설에 의한 사고는 95~97년 사이에 총 10건으로 34%를 누설에 의한 화재·폭발 사고는 3건으로 13%를 차지하고 있다. 최근 12년간(1985~1996년) 일본에서의 탱크로리로 부터의 고압가스 누설사고가 총 35건이 발생하였다.²⁾ 일본의 '96년 3월말 현재 LP가스 탱크로리의 운행대수로 4603대로 집계되고 있다. 우리나라의 LP가스 탱크로리의 수가 약 830여대가 운행되고 있으며, 최근 3년간(1995~1997년) 총 11건의 누설사고가 있었다. 일본의 탱크로리수가 우리나라보다 5.5배 정도가 많은데도 불구하고 누출에 의한 사고는 년당 3건에 불과하다. 우리나라는 년당 4건의 사고가 발생하고 있다. 누설 사고유형별로 살펴보면 다음과 같다.

- 1) LPG 탱크로리가 운행 도중 빗길이나 눈길에 미끄러 지면서 Slip Tube 액면계의 파손으로 가스가 누설되는 사고.
- 2) 충전 작업후 과충전으로 안전 밸브가 작동하여 가스가 누설되는 사고.
- 3) 충전호스의 노후로 인해 Y형 밸브의 연결부위에 있는 로리호스가 파열되어 가스가 누설되는 사고.

국내의 가스사고의 피해와 사고등급은 Table 3 과 같다. 사고등급은 한국가스안전공사의 사고등급판별기준에 따른 것으로 그 기준은 Table 4 와 같다.

Table 3. The Damage and Accident rank¹⁾

연도	사망	중상·경상	사 고 등 급			
			1급	2급	3급	4급
95	1	6	0	2	4	5
96	1	3	0	0	9	2
97	0	2	0	0	6	1
계	2	11	0	2	19	8

Table 4. The gas accident grade¹⁾

등 급	피 해 등 급
A급	사망자 5명 이상, 사망 및 중상 10명 이상, 부상 30명 이상 또는 물질피해액이 3억원 이상인 사고.
B급	사망자 1명 이상, 중상 2명 이상 9명 이하, 부상 6명 이상 29명 이하 또는 물질피해액이 5천만원 이상 3억원 미만인 사고.
C급	A급, B급을 제외한 인적·물질피해가 있는 사고.
D급	인적·물질피해가 없는 가스누설사고.

3. 탱크로리의 사고빈도

LPG탱크로리의 사고 빈도를 살펴보기 위해서 서울의 주요 LPG 충전소, 인천의 LPG저장 및 탱크로리 충전기지, LPG 탱크로리 용역업체를 방문하여 탱크로리의 운행실태(총운행거리, 왕복횟수, 충전능력등)를 조사하여 정리 하였다. 총 40대의 탱크로리의 운행실태을 조사한 바는 Table 5 와 같은 결과를 얻었다.

Table 5. The average running condition of LPG tank lorry.

1년간 평균 운행거리	1일 운행시간	1일 왕복횟수	1달 왕복 횟수	평균 속도	충전능력
88,000km	7.66	1.95	53.60	65km/h	12.16ton

LPG탱크로리의 최근 3년간 평균등록대수는 832대이다. 1년 평균운행거리가 88,600km이므로 3년동안의 총운행거리는 2.21×10^8 km 이다. 3년동안 LPG탱크로리의 사고건수가 총 23건이므로 사고발생빈도는 $23 / 2.21 \times 10^8 = 1.04 \times 10^{-7}$ 회/km이다.

즉 탱크로리의 사고를 재해통계에 많이 이용되는 FAR(Fatal Accident Rate) 값을 구해보았다.

$$FAR = (2 \times 10^8) / (832 \times \frac{7.66 \text{ 시간}}{1 \text{ 일}} \times \frac{300 \text{ 일}}{1 \text{ 년}} \times 3 \text{ 년}) = 35$$

Table 6. Fatality statistics for common nonindustrial activities³⁾

Activity	FAR (Deaths/10 ⁸ hours)	Fatality Rate (Deaths per person per year)
Voluntary activity		
Staying at Home	3	
Travelling by		17×10 ⁻³
car	57	
bicycle	96	
air	240	
motorcycle	660	
Canoeing	1000	
Rock Climbing	4000	4×10 ⁻³
Smoking(20 cigarettes/day)		500×10 ⁻³
LPG Tank lorry	35	0.8×10⁻³

Table 6 에 다른 활동과의 FAR값을 비교하여 보았다. 여기서의 2명의 사망사고는 교통사고에 의한 탱크로리 운전자 이다. 그러므로 탱크로리운전에 의한 사망 가능성은 다른 활동에 비해 낮은 편이다.

4. 문제점 및 고찰

탱크로리에 설치되는 안전장치에는 화재나 과충전 등에 의해 탱크 내압이 규정이상으로 상승 되었을 경우 작동하여 탱크내압의 상승을 방지하는 안전밸브와 액화가스 이입 또는 이송작업중에 배관 또는 호스등이 파손되거나 화재 등 긴급사태가 발생시 액가스의 유출을 차단하는 긴급 차단장치, 탱크로리에 이충전호스가 연결되어 있는 상태에서 엔진의 시동을 막는 리미트스위치 가 있다.

Table 7 에 서울지역 충전소의 저장탱크용량을 보이고 있다. 저장탱크에 가스를 충전하는 경우 가스의 양이 저장탱크 내용적의 90%를 넘지 아니하도록 되어 있다. 그러므로 서울의 1일 저장능력은 약 680톤 이다. 한편 1일 부탄 사용량은 1420톤⁵⁾ 정도 이다. 따라서 사용량이 저장능력의 배가 넘는다. 저장탱크의 용량이 부족한 상태에서 충전소의 LPG가스 판매량은 날로 증가되어 결국 1일 판매량이 저장탱크 용량보다 더 커지게 되었다. 심한 경우 10톤의 저장탱크를 갖고 있는 충전소의 하루 판매량이 30톤이 넘는다. 이런 경우 탱크로리가 저장탱크로 사용될 수밖에 없다. 따라서 탱크로리와 저장탱크가 많은시간 연결호스로 계속되어 있는 상황에서 용기 및 자동차 충전을 실시하고 있다. 결국 이러한 위험요인이 충전소화재시의 탱크로리폭발과 같은 사고를 발생시킨다.

Table 7. The storage tank capacity for LPG station⁴⁾

톤	10톤	15톤	20톤	50톤
주거	27	7	2	0
준주거	1	0	0	0
상업	10	1	0	0
준공업	4	2	0	0
자연녹지	2	1	1	0
녹지	1	0	0	0
자연	0	0	0	2
합계	450톤	165톤	60톤	100
총저장능력	775톤			

Table 8. Safety distance of the LPG storage facility⁶⁾

저장능력	제1종 보호시설	제2종 보호시설
10톤 이하	17m	12m
10톤 초과 20톤 이하	21m	14m
20톤 초과 30톤 이하	24m	16m
30톤 초과 40톤 이하	27m	18m
40톤 초과	30m	20m

Table 8 은 저장설비 및 충전설비의 안전거리 기준이다. 안전거리 산정기준에는 1종 보호 시설과 2종 보호시설 사이에는 12m에서 최대 30m까지 안전거리를 유지하도록 되어 있다. 다만 지하 저장탱크인 경우에는 1/2을 유지할수 있도록 되어 있다. 탱크로리를 저장탱크처럼 사용하는 경우에는 탱크로리도 지상저장탱크로 간주하여 안전거리를 확보하여야 한다. 또한 지상저장탱크와 같이 탱크로리 주정차지역에 살수장치와 긴급차단장치를 설치하는 것이 바람직하다고 생각된다.

Table 9. LPG Tank lorry⁷⁾

연도	95				96				97			
	10톤이하	10~20톤이하	20톤초과	계	10톤이하	10~20톤이하	20톤초과	계	10톤이하	10~20톤이하	20톤초과	계
서울	90	34	0	124	81	27	0	108	75	33	0	109
서울외 지역	496	225	0	721	477	255	0	732	357	345	1	702
계	586	259	0	845	558	282	0	840	432	378	1	811
구성(%)	69.3	30.7	0	100	66.4	33.6	0	100	53.27	46.61	0.12	100

Table 9 를 보면 LPG탱크로리의 수는 점점 줄어들고 10~20톤 사이의 탱크로리가 차지하고 있는 비중은 점점 증가하고 있다. 즉 탱크로리의 용량이 점점 대형화되는 추세이다.

후기

본 연구에 많은 도움과 조언을 주신 한국가스안전공사 김길창 부장님과 LG가스인천기지 윤병록 소장님께 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. “가스사고연감”, 한국가스안전공사, 1995, 1996, 1997
2. “일본의 최근 12년간 탱크로리 관련사고분석”, ‘97년 가스안전 9월호, 1997
3. Daniel A. Crowl / Joseph F. Louvar. “Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications”, Prentice-Hall, 1990년.
4. “고압가스업소통계집”, 한국가스안전공사, 1996
5. “에너지 통계 시스템”, 에너지 경제 연구원, 1997
6. “고압가스 안전관리법”, 구민사, 1996
7. “고압가스통계집”, 한국가스안전공사, 1995, 1996, 1997
8. “’96년도 검사업무 지도확인 결과 및 대책”, 한국가스안전공사, 1997
9. “사고예방논문집”, 삼성화재 위험관리연구소, 1998
10. “가스사고편람집”, 한국가스안전공사, 1997