

사고사례 분석을 통한 LPG자동차 충전소의 위험요인 도출

김대수 · 김홍영 · 윤재건
한성대학교 산업시스템공학부

1. 서 론

지난 30년간의 LPG(Liquidified Petroleum Gas)자동차의 사용으로 현재 전국에는 500여 곳의 LPG자동차 충전소가 운영되고 있다. LPG자동차의 운행대수에 비하면 충전소의 수가 절대적으로 부족하고, 또한 LPG자동차의 보급확대를 위해서는 충전소 확충이 필수적이다. 그러나 최근의 아현동 도시가스 밸브기지 폭발사고나 대구 지하철 공사장 도시가스 폭발사고와 같은 대형 가스 폭발사고의 여파로 충전소 설치 부지의 확보에 큰 어려움을 겪고 있다. 특히, 대도시 지역 내에서의 충전소 설치에 인근 지역주민의 강력한 반대로 거의 불가능한 실정이다. 참고로 CNG(Compressed Natural Gas)자동차 충전설비의 경우 부지확보의 어려움을 예상하여 기존의 주유소에 병설하는 방안이 적극적으로 검토되고 있다.

기존의 LPG자동차 충전소의 시설 및 기술기준을 검토하고, 충전소 관련 사고 사례를 종합하여, 발생가능 사고유형을 분석함으로써 LPG자동차 충전소의 위험요인을 도출하는 데 본 논문의 목적이 있다.

2. LPG자동차 충전소의 시설기준

2-1. LPG의 특성

LPG는 석유 중에 포함되어 있는 비교적 액화하기 쉬운 프로판, 부탄이 주성분으로 되어 있고 메탄, 에탄 등이 소량 포함되어 있는 저급 탄화수소의 혼합물을 말한다. 특징으로는 무색, 무취이며 상온상압에서 기체이고, 가연성이며 독성·부식성은 없다. 가압하면 상온에서 쉽게 액화되고, 프로판은 공기의 약 1.5배, 부탄은 공기의 약 2배정도 무거워 누출시 확산되지 않고 지면에 체류한다. 그리고 폭발범위는 프로판은 2.1-9.5%, 부탄은 1.8-8.4%로 적은 양으로 폭발을 일으키며, 연소하면 많은 양의 열을 발생한다. 액상의 가스가 대기중에 기체로 되면 220-250배의 부피를 가진다.^[3]

2-2. LPG자동차 충전소의 시설기준

액화석유가스의 안전 및 사업관리법에 의한 LPG충전소의 시설기준은 다음과 같다.^[4]

(1) 안전거리

액화석유가스 충전시설 중 저장설비 및 충전설비는 그 외면으로부터 사업장 경계까지 거리는 탱크의 저장능력이 10톤 이하인 경우 제1종 보호시설은 17m, 제2종 보호시설은 12m이고, 10톤이상 20톤이하인 경우는 제1종 보호시설은 21m, 제2종 보호시설은 14m이다. 다만, 지하에 설치하는 저장 설비의 경우에는 위 기준에 의한 사업소 경계와의 거리의 2분의 1이상을 유지할 수 있으며, 시·도지사가 필요하다고 인정하는 지역에 대하여는 위 기준에서 정한 거리에 일정거리를 더하여 정할 수 있다.

(2) 화기와 의 거리

저장설비 및 가스설비는 그 외면으로부터 화기를 취급하는 장소까지 8m이상 의 유회거리를 두어야 하며, 가스설비와 화기를 취급하는 장소와의 사 이에 그 가스설비로부터 누출된 가스가 유동되는 것을 방지하기 위한 시설 을 설치할 것.

(3) 저장탱크

지상에 설치하는 저장탱크 및 그 지주는 내열성의 구조로 하고, 저장탱크 및 그 지주에는 외면으로부터 5m이상 떨어진 위치에서 조작할 수 있는 냉각살수 장치 그 밖에 유효한 냉각장치를 설치할 것. 다만, 소형저장탱크의 경우에는 그러하지 아니하다.

(6) 충전기

충전기 상부에는 단집모양의 차양을 설치하여야 하며, 그 면적은 공지면적 의 2분의 1 이하로 할 고, 배관이 단집모양의 차양내부를 통과하는 경우에는 1개이상의 점검구를 설치할 것. 그리고 단집모양의 차양내부의 배관으로서 점 검이 곤란한 장소에 설치하는 배관은 용접이음으로 하고, 충전기 주위에는 가 스누출경보기를 설치할 것

(7) 충전호스

충전기의 충전호스의 길이는 5m이내로 하고, 그 끝에 축적되는 정전기를 유효하게 제거할 수 있는 정전기 제거장치를 설치할 것. 그리고 충전호스에 과도한 인장력이 가해졌을 때 충전기와 가스주입기가 분리될 수 있는 안전장 치를 설치하고, 충전호스에 부착하는 가스주입기는 원터치형으로 할 것

(8) 가스전용운반차량

충전능력에 적합한 수량의 용기전용 운반차량을 확보해야 하며, 소형저장탱 크에 액화석유가스를 공급하는 경우에는 펌프 또는 압축기가 부착된 액화석 유가스 전용차량을 보유할 것

(9) 기타 안전장치 등

기타안전장치 등에는 압력계, 안전밸브, 긴급차단장치 등이 있다.

3. LPG자동차 충전소의 사고사례

사고사례의 조사는 발생한 재해에 대해 그 발생원인을 분명하게 규명함으로써

가장 적절한 예방대책을 찾아내어 동충사고나 유사사고를 미연에 방지하는데 있다. 표.1과 2에 국내 및 국외의 LPG충전소와 관련된 사고사례를 정리하였다.^[5] 만약 14t 용량의 LPG 탱크로리가 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) 폭발한다면, 직경이 약 140m인 구형화염(fire ball)이 형성되며 이 화염은 약 10초동안 지속된다. 이것이 충전소에서 발생할 수 있는 최악의 경우라 판단된다.

4. 사고유형 및 위험요인 분석

LPG충전소의 누출 및 화재·폭발의 위험성은 탱크로리에서 저장탱크로의 충전과정과 충전기에서 용기나 자동차로의 충전과정, 그리고 설비의 결함이나 점검에 따른 수리 및 신설과정 등에 대부분의 사고의 위험성이 잠재되어 있다.

LPG충전소에서 발생될 수 있는 사고유형은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째의 경우는 탱크로리에서 저장탱크로의 충전과정 중 탱크, 배관, 호스 또는 밸브계통의 시설결함이나 오조작에 의한 누출 및 충전 중 외부화재에 의한 탱크로리의 BLEVE 폭발현상이다. 후자의 경우 발생빈도는 매우 적으나, 발생시의 피해 규모는 매우 크다. 탱크로리로부터 충전작업을 할 때에는 안전관리자의 입회 하에 최대한 신속히 충전을 완료하여 탱크로리차량의 충전소내 대기시간을 최소화하고 LPG수송을 위해 운행중인 탱크로리에 대해서도 보다 철저한 안전의식이 요구된다. 뿐만 아니라 설비의 노후 및 기능의 결함에 의한 위험성이 상존하므로 보다 철저한 설비의 안전점검 및 기능의 유지로 사고발생의 여지를 최소화하여야 한다.

두 번째의 경우는 자동차 충전소에서 LPG차량으로 충전작업 중 차량의 오발진으로 부착된 충전호스가 파손되거나 안전커플링이 분리되지 않아 가스가 누출된 사고이다. 이 경우의 피해는 누출로 그치는 경우가 많으나, 국내, 외 사고사례에서 보듯이 발생빈도가 매우 높은 사고형태로 철저한 안전대책이 요구된다. 미국이나 일본의 경우는 자동차가 충전시설에 진입하면 충전이 끝나야 출발할 수 있도록 창고형 충전실이 있거나, 충전시 차체를 들어올려 가스주입이 끝나야만 차가 출발할 수 있는 시설을 설치 의무화하고 있다. 이에 우리나라도 충전 중 차량의 오발진에 대한 방지를 위해 차량 내에 제어장치 부착 등으로 fool proof system의 구축이 요구된다. 아울러 안전교육을 통한 충전작업자와 차량운전자의 보다 성숙한 안전의식이 필요하다.

세 번째의 경우는 저장탱크의 결함이나 충전기의 노후에 의한 교체나 보수작업을 하는 과정에서 발생할 수 있는 사고로 저장탱크 내 잔류가스 퍼지(purge)작업을 환기설비를 갖추지 않은 채 안전밸브(safety valve)방출구를 통하여 방출시킴으로 배출된 가스가 저장탱크 주위에 가라앉아 있다가 점화되어 폭발되는 경우와 저장탱크에 충전작업 중 설비의 보수점검이 이루어지는 과정에서 가공기의 스파크나 기타 점화원에 의해서 점화·폭발이 발생한 사고이다. 이 사고의 경우도 사고사례에서 보듯이 발생빈도가 높다. 시설의 증설이나 보수작업 중 발생하

는 사고이므로, 예방하기 위해서는 보수작업 시 가스의 충전작업을 모두 중단하고, 저장탱크의 가스 유무 및 주위의 잔류가스를 완전히 제거한 후 작업을 실시해야 한다.

5. 결 론

LPG자동차 충전소의 위험성을 확인하기 위하여 충전소의 시설기준을 검토하고 충전소관련 사고사례를 조사한 후 사고유형을 분석하였다. LPG충전소의 최대위험요소는 LPG수송용 탱크로리라고 생각된다. 그리고 LPG자동차 충전소의 사고위험은 탱크로리에서 저장탱크로의 충전과정과 충전기에서 용기나 자동차로의 충전과정, 그리고 설비의 결함이나 점검에 따른 수리 및 신설과정 등에 사고의 위험성이 잠재되어 있다.

후 기

본 논문작성에 많은 자료와 조언을 주신 가스안전공사 사고조사처 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 김대수, 김홍영, "LPG자동차의 위험분석 및 평가", 제1회 삼성화재 사고예방논문집, 1997.
2. 윤재건, 이창수, 한태식, "LPG자동차 연료공급장치의 위험요인 분석", 한국산업안전학회 "96 추계학술 연구 발표회 초록집", pp. 49~55, 1996.
3. 유석기, "LPG 및 도시가스 실무 핸드북", 구민사, 1996.
4. 김시현 외, "고압가스 안전관리법", 구민사, 1996.
5. 한국가스안전공사, "가스사고연감", 1995.

표. 1 LPG충전소 관련 국내 사고사례

일시 및 장소	형태 및 피해정도	사 고 개 요
91.10.28. 15:38 경기도 성남시 상평동 용기충 전소	폭발 화상6명, 설 비전소, 차 량 7대 전소	용기충전기를 8연식에서 신규 12연식 충전기로 교체작업 중 기존 설치된 인접충전기에서 충전시 누설된 가스가 체류되어 있다가 신규충전기 용기의 턴테이블 지지대 고정구멍을 풀기 위해 드릴 작업도중 누설된 가스가 폭발, 화재가 발생한 사고임
91.11.1. 12:30 경기도 용인군 유방리 용기충 전소	폭발 화상4명, 차 량 4대 전소	고정시 용기충전기 신설작업중 기존 충전기로 공급되는 배관에 설치되어 있는 압력계 연결부분에서 누설된 가스가 체류되어 있다가 신규충전기 설치 작업을 위한 드릴이나 나사 가공기로 작업 도중 가스에 인화·폭발된 사고임

표. 1 LPG충전소 관련 국내 사고사례(계속)

일시 및 장소	형태 및 피해정도	사 고 개 요
92.1.3. 15:40 대구 광역시 중구 용두 2동 자동차충전소	폭발 화상 2명, 사무실 유리 창 파손	액중 펌프 고장으로 수리작업을 하던 중 저장탱크내에 12t 가량의 가스가 있어 탱크내 가스를 탱크로리로 3.3t을 빼내 다른 충전소에 이충전 시키고, 전량을 탱크로리에 회수 후 저장탱크내 잔량이 없는 것을 용량계이기로 확인한 후, 질소 7t 주입 후 저장탱크 방출구(높이5M)로부터 가스 방출 작업 시작 10분 후에 건물 주위 및 충전소 기계실에 채류된 가스가 원인 미상의 불씨에 의하여 폭발·화재가 발생한 사고임
92.4.29. 16:40 광주광역시 서구 송하동 가스공급기지	화재 화재발생	탱크로리(7.5t)에 프로판을 싣고와 저장탱크에 이입한 후 자동차 충전소로 이송을 위해 부탄 저장탱크로부터 탱크로리로 충전작업을 하던 중 작업자들이 자리를 비운사이 탱크로리에 과충전 되면서 베이퍼폼프레스에 액화가스가 이입·압축되어 폼프레스 안전밸브가 열려, 가스가 환기구로 누설·확산되어 기계실 아래쪽 도로에 정차해 있던 차량의 배기가스의 불씨에 인화·폭발되어 화재가 발생되고 계속된 화재는 폐쇄기능이 상실된 안전밸브로 가스가 계속 방출되어 재해가 확대된 사고임
95.2.15. 20:50 경남 울산시 자동차충전소	누설 D급 없음	개인택시가 가스주입 후 커플링을 탈착하지 않은 상태에서 출발하여 안전커플링이 분리되지 않아 호스가 파열되어 가스가 누설됨
95.7.17. 15:30 경기 여주군 북내면 자동차 충전소	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
95.5.14. 01:38 인천 부평시자 동차충전소	누설 D급 없음	사고장소에 주차되어 있던 LPG 운반차량을 승용차가 추돌하여 용기 밸브가 파손되어 가스가 누설됨
95.6.24. 00:58 경남 진주시 진성면 자동차 충전소	누설 D급 없음	가스를 탱크로리에서 저장탱크에 이충전 작업 중 탱크노즐 박스에 부착된 드레인밸브의 노즐 용접부에서 균열과 기밀시험 중에 액체 질소의 초저온 기체가 드레인 노즐로 주입되어 취성에 의해 균열이 발생하여 누설됨
95.10.13. 3:40 서울 구로구 자동차충전소	화재 화상2명, 차 량2대 파손	영업용 택시에 LPG를 충전하기 위해 충전호스를 택시에 연결·충전중 이던 택시가 충전이 종료된 줄 알고 출발하여, 충전호스가 몸체에서 이탈·절단되면서 LP가스가 누출, 집화원에 의해 화재가 발생한 사고임
96.2.12. 14:30 경기도 성남 시 상대원 한 국 파이롯트 만년필	누설 없음	공장 증설을 위한 토목공사를 위하여 지하에 설치된 저장탱크를 철거후 지상으로 이동하여 보관 중 온도계 연결용 플랜지 용접 부위 부식된곳으로 빗물등이 온도 검지 배관으로 유입, 탱크내의 배관을 지지하기 위하여 설치한 앵글 용접부가 동파되어 액화 가스가 외부로 누출됨
96.4.24. 13:40 충북 청주시 자동차충전소	폭발 경상2명, 동 산450만원	LPG자동차 충전시설 보수공사중 충전소 안전관리자가 차량충전용 호스의 커플링 분리하여 배관내 가스를 방출시키는 순간 인근에서 용접 작업중이던 용접 불꽃에 인화되어 폭발한 사고임
96.6.10. 15:23 경기도 성남 유기충전소	누설 없음	충전소에서 디펜서 1대가 고장나서 제조업체에 A/S를 의뢰, 수리를 하기 위해 전단액밸브를 잠그고 배관을 분리하던 중 밸브에 이물질이 끼어 완전히 차단되지 않아 가스가 누설됨
96.8.8. 09:20 경남 거창군 거창읍 용기 충전소	누설 없음	충전소 직원이 지하 기계실에 가스용량 확인차 지하기계실에 내려갔다가 배관위에서 확인중 몸의 균형을 잃어 50A 액라인에 수직설치된 20A안전밸브 라인용 잠어 15A 스톱밸브와 연결된 니플이 파손되면서 가스가 누출됨

표. 1 LPG충전소 관련 국내 사고사례(계속)

일시 및 장소	형태 및 피해정도	사 고 개 요
96.9.12. 12:50 충북 충주시 금릉동 용기충전소	화재 중상1명, 경 상 1명, 시 설파손	용기 충전작업을 하던 중 12:30분경 회전식 충전기의 회전모터와 액뎀프 전기스위치만 끄고 충전기에 용기가 연결되어있는 상태에서 사무실에서 점심식사를 한 후 직원들이 담배를 피우고 있던 중 화재가 발생하여 안전관리자가 긴급차단장치를 동작시키고 기계실로 가서 모든 밸브를 잠그었으나, 용기 충전장이 전소된 사고임
96.10.2. 11:00 대구 수성구 범어동 자동차충전소	화재 사망1명, 시 설파손, 차 량3대 파손	LPG차량 운전자(남58세)가 LPG를 충전하기 위해 충전대쪽으로 후진하던 중 브레이크를 밟는다는 것이 액셀레이터를 밟아 차량이 충전대로 돌진·충돌하면서 충전대가 파손되어 가스가 누출, 차량엔진에서 발생하는 스파크에 의해 인화·화재가 발생한 사고임
96.10.31. 18:34 경기도 포천용기충전소	누설 없음	용기충전소의 기계실내 chamber의 크랭카식 액면계 양쪽 차단밸브 후단의 drain v/v 작동불량으로 소량의 가스가 누출됨

표. 2 LPG충전소 관련 국외 사고사례

일시 및 장소	형태 및 피해정도	사 고 개 요
78. 7. 15. 멕시코	누설/화재 사망 12명, 중상자 50명	멕시코시티의 중앙분리대에서 탱크로리가 전복되어 파손되었고 이로 인해 LP가스가 대량누설, 흰 증기화하여 남쪽지방 저지대로 흘러 체류 중 북상하는 3대의 버스와 트럭을 누설된 가스가 에워싸게 되어 발화하여 150yard 이내에 있는 집들의 지붕이 날아가 버린 사고임
70. 2. 21. 일본	누설 없음	7ton 탱크로리로부터 스탠드저장소에 LP가스 주입을 완료한 후 작업원이 주입펌프의 원동기를 조이기 위해 설비의 일부를 밟고 올라섰는데 그후 안전밸브의 방출관으로 부터 LP가스가 약 30분간 누설됨
71. 5. 19. 일본 동경부	누설 없음	충전 중 스탠드 작업원과 탱크로리 운전수의 연결이 철저히 이루어지지 않고 탱크로리가 발차하자 로딩암이 절단되어 가스가 누출됨
75. 5. 22. 일본	누설 없음	LP가스 지하저장탱크 가까이 있는 수도관이 파열했기 때문에 지하저장탱크가 수압에 밀려 상승되고 지상에 설치되어있는 안전밸브부근 배관의 이음매가 풀려 가스가 누설됨
77. 6. 30. 일본	누설 사망 1명	LP가스탱크로리 터미널에서 탱크로리에 LP가스를 충전하던 중 로딩암이 빠져 고압의 LP가스가 배출, 로딩암의 근처에 있던 탱크로리 운전수의 신체를 강타했다.
85. 11. 18. 일본 경동시	누설 없음	종업원이 LP가스 충전 중 다른 택시를 맞기위해 현장을 떠날무렵, 충전이 끝났다고 생각한 택시운전사가 오발전을 하자 커플링이 빠지면서 약 20분 동안 400ℓ의 LP가스가 배출됨
73. 2. 1. 프랑스	폭발 사망 5명, 중상자 40명	액화 프로판 19ton을 실은 탱크로리가 st. Amand-les-Eaux의 마을에 있는 젖은 길에서 미끄러져 전복했다. 그 탱크가 파열되어 프로판이 누출되고 거기에 증기운이 생겨 결국은 폭발한 사고임