

# 가스연료자동차의 안전성에 대한 고찰

윤 재 건

한성대학교 산업시스템공학부

## Discussions on the Hazards of Gas Fueled Vehicle

Jae-Kun Yoon

HANSUNG University

### 1. 서론

날로 심각해지는 도시의 대기환경을 보호하기 위해서 가스연료 자동차의 보급이 확대되고 있다. 가스연료 자동차의 대기오염 개선효과에 대해서는 이미 충분한 공감대가 형성되어 있다. 특히 경유사용자동차에 비해 매연의 경우 95%이상의 저감이 가능하다는 것이 가장 큰 장점이다. 가스연료란 청정연료인 액화석유가스(Liquefied Petroleum Gas)와 압축천연가스(Compressed Natural Gas)를 의미한다. 환경개선효과면에서 LPG와 CNG의 차이는 별로 없다.

가스연료 자동차보급 확대의 문제점은 크게 두 가지라고 생각한다. 첫 번째는 충전관련 기반시설의 구축이다. CNG연료충전소라는 새로운 Infrastructure의 구축에는 엄청난 초기투자비가 소요되고, 값싸고 안전한 충전설비의 개발에도 많은 비용이 소요될 것이다. 두 번째는 가스연료가 위험하다는 일반인의 막연한 확신이다. 우리 나라의 경우 1996년말을 기준으로, 23만여대의 택시를 포함하여 총등록자동차의 3.6%에 해당하는 34만 여대의 LPG자동차(승용차, 소형승합차, 소형화물차)가 운행되고 있다. 거의 모든 영업용 승용차가 액화석유가스를 오래 전부터 사용하고 있어 왔으나 사고 발생시의 위험성 평가나 차량의 취약 부에 대한 연구나 조사결과가 발표된 것이 없다.

본 논문에서는 가스연료 자동차의 연료공급장치의 구조를 검토하고, 사고 사례를 중심으로 자동차의 가스사고 유형과 안전대책을 도출하고자 한다.

### 2. LPG자동차 연료공급시스템의 안전장치

LPG엔진과 휘발유엔진은 연료공급장치 이외의 구조는 동일하다. 단 연소실의 재질 일부가 변경된다. 휘발유엔진의 경우 휘발유 액적의 운할 및 냉열작용이 있으나, LPG엔진의 경우 이러한 작용이 없으므로 밸브와 밸브시이트에 좀 더 강화된 재질을 사용한다. LPG자동차의 연료공급시스템은 LPG용기(Bombe), 감압기 또는 기화기(Vaporizer), 믹서(Mixer) 등의 주요부품으로 구성되어 있다. 감압기는 LPG의 기화와 압력조정의 역할을 수행한다. 자동차용 LPG의 주성분은 Butane인데, Butane은 대기압에서 영하  $-0.5^{\circ}\text{C}$ 이하에서 액체상태이므로 겨울에

는 기화가 어렵다. 따라서 동절기에는 Propane을 혼합하여 자동차의 시동에 필요한 0.5 kg/cm<sup>2</sup>의 증기압을 얻는다.

LPG용기는 차종에 따라 60 l와 70 l의 용기가 현재 사용되고 있다. 31 kg/cm<sup>2</sup>의 내압시험과 18.6kg/cm<sup>2</sup>의 기밀시험을 만족하도록 고압가스 안전관리법에 규정되어 있다. LPG 충전시 LPG는 체크밸브(Check valve)기능이 있는 커플링을 통하여 주입되고 안전밸브가 부착된 용기밸브를 통하여 용기내부에 액체상태로 저장된다. 안전밸브는 용기내 기상부에 설치되어 있어야 한다. 안전밸브의 작동압력은 용기 내압 시험 압력의 0.8 이하에서 작동되어야 한다. 안전밸브 작동에 의한 분출가스는 차외로 방출할 수 있는 구조를 가져야 한다. 용기 내부의 압력이 안전밸브 작동압력까지 올라가면 안전밸브가 작동하여 용기폭발을 방지하고, 수초간 가스를 분출하여 내압이 떨어지면 스프링의 힘으로 안전밸브가 다시 닫힌다. 따라서 차량에 화재가 발생하였을 경우에도 안전밸브의 정상적인 작동이 이루어지면 용기폭발은 발생하지 않는다. 단, 용기의 일부분이 매우 높은 온도로 가열되면 강도가 떨어지거나 강한 충들에 의해 용기의 기계적인 폭발이 일어날 수 있다.

용기에 부착된 액상 및 기상밸브를 통하여 보통 동관으로 엔진 룸으로 연결된다. 용기 내측에 액상 및 기상 밸브와 일체식으로 과류방지장치가 조립되어 있다. 자동차사고 등으로 배관 등이 파손되어 연료가 비정상적으로 과도하게 흐르면 연료의 흐름을 막는다.

용기에는 액면표시장치가 부착되어 있고 과충전방지장치도 설치되어 있다. 과충전방지장치는 용기내 용적의 85%를 충전한 경우에는 충전이 되지 않는 구조를 갖고 있다. 또한 설정점을 용이하게 변경할 수 없는 구조를 갖고 있어야 한다. 과충전방지장치는 용기밸브에 일체형으로 연결되어 있다.

배관의 파손 등에 의하여 연료가스액의 유출에 이상이 생긴 경우 또는 엔진이 정지한 경우 용기로부터 연료가스액의 유출을 자동적으로 차단할 수 있는 기능을 가진 긴급차단장치가 액출구밸브 근처에 설치되어 있다. 차단장치는 복귀기구들을 갖고 있고 복귀기구의 조작장치는 운전석에 설치되어 있다. 이 차단장치는 전자제어(solenoid)밸브이다.

이상의 안전장치를 종합해보면, 가스주입구쪽에는 과충전 방지장치와 용기내 압상승방지용 안전밸브가 부착되고, 용기로부터 연료가스가 나오는 쪽에는 과류 방지밸브와 긴급차단장치가 설치되어 있다.

### 3. LPG자동차의 가스사고 사례분석

LPG 30 kg이 BLEVE (Boiling Liquid Evaporating Vapor Explosion) 현상으로 폭발하면 직경 20 m의 구형화염이 발생하여 2초간 지속된다. 아직 국내에서 차량용 가스용기가 폭발하였다는 사고가 보고된 적은 없다. 최근까지 교통사고시의 LPG차량의 화재를 일반 차량과 같이 취급하여 교통사고사례에서 가스관련부분을 발취하기는 불가능하다. Table 1은 지난 일년여간 한국가스안전공사에

가스사고로서 접수되어 조사된 사고 중에서 LPG자동차와 관련된 것만을 정리한 것이다. 가스사고사례만을 살펴보면 단순한 가스누설사고가 대부분이며 화재나 폭발의 경우는 드물다.

LPG자동차에서의 가스관련사고의 유형은 크게 두 가지다. 첫 번째는 주차 및 정차되어 엔진시동이 꺼져있는 상태에서의 가스누설사고이다. 용기로 부터 엔진룸 내부까지 많은 부품들과 배관이 연결되어 있다. 특히 전자제어 밸브의 닫힘 상태불량이나 감압기 및 연결부에서의 기밀실패요인이 대부분이다. 대부분의 누설이 주변사람들의 냄새에 의한 인지로 발견되어 조치되었다. 그러나 96년4월 대전에서 불법개조된 차량에서의 라이터블에 의한 화재나 97년 1월 주차된 택시에서 누설을 인지못하고 시동을 걸어 폭발한 사례도 있다. 이러한 누설사고는 부품의 불량이나 조립 및 용접불량에 의해 발생하므로 철저한 품질관리와 주기적인 정비보수로 발생의 빈도를 줄일 수 있다. 그러나 보다 중요한 것은 LPG차량의 사용자에게 대한 교육이라고 생각된다. LPG용기는 통풍이 잘되는 그늘진 곳에 보관해야한다. 이것은 가스 누설의 가능성이 항상 상존하기 때문이다. 이 수칙은 길을 건널 때 좌우를 살피고 건너야 한다는 것만큼이나 당연하고 기본적인 것이다. 그러나 많은 LPG차량 운전자들은 LPG자동차를 지하주차장에 장시간 주차하기도 하며, 가스냄새는 항상 나는 것이라고 가볍게 생각한다. 지하주차장이나 밀폐된 차고에서 이러한 누출이 발생할 경우 큰 혼합가스폭발과 화재로 이어질 수 있다.

두 번째의 유형은 교통사고에 의한 다량의 가스누출과 이에 따른 혼합가스폭발과 연이은 화재발생이다. 가스용기는 웬만한 차량충돌에도 손상이 없도록 보호되고 비교적 큰 강도를 갖고 있다. 이중의 안전장치들이 가스의 대량누출을 막고 있다. 그러나 이러한 안전장치들이 모두 완벽하게 작동할 수 있도록 점검되고 적절히 조치되어야 한다. 예를 들면 충전밸브로 사용되는 용기밸브는 충전 시에만 열려 있어야 한다. LPG 차량의 사용설명서에도 용기밸브를 항상 잠그라고 되어 있으나 왜 그렇게 해야하는지에 대한 설명이 없다. 용기밸브가 차량의 충돌에 의해 파손되는 경우 외에도 용기밸브가 항상 열려 있음으로 해서 연료주입구와 용기밸브사이의 고무호스부분에 약간의 손상을 받아도 다량의 가스 누출이 예견된다. 취출밸브(액상밸브와 기상밸브)쪽은 과류방지장치가 부착되어 있으나 용기밸브측은 무방비상태다. 그것은 애초의 설계개념이 용기밸브는 충전 시에만 연다고 생각했기 때문이다. 그러나 대부분의 사용자들이 트렁크 내부의 후미진 곳에 있는 용기밸브를 조작하려하지 않는다. 따라서 연료주입구의 체크밸브가 가스의 누설을 막고 있다. 이러한 상태로 차량이 운행되고 있으므로 용기밸브와 연료주입구사이가 후방이나 측면충돌에 대하여 매우 취약한 부분이다. 1996년 3월에 일간지에 택시폭발사고로 보도되었던 예천의 사고(사망3명, 중상1명)도 조사결과 용기폭발이 아닌 차량화재사고로 분류되었다. 그러나 용기폭발은 없었지만 다량의 누출된 가스에 의한 혼합가스폭발은 발생했다고 사료된다. 혼합가스폭발은 용기폭발만큼의 큰 파괴력을 갖지는 않으나 대부분 차량의 화재로 바로 이어지고 사고차량 탑승자의 피해 확대 효과가 매우 크다. 예천의 사고의 경우 트럭에 추

들을 당하면서 가스주입구부위가 파손된 것으로 생각된다. 96년 6월 인천에서의 사고도 신호대기중인 택시를 트럭이 추돌하여 가스주입구 부근이 파열되어 가스가 대량으로 누출된 것으로 생각된다. 결국 이와 같은 사고들은 용기밸브를 잠그지 않고 운행함으로써 해서 폭발과 화재로 아까운 인명을 잃은 경우라고 확신한다. 실제로 많은 택시운전자와 대화해 보았지만, 단 한명도 용기밸브를 잠그고 운행해야 한다는 수칙을 지키고 있지 않았다. 이러한 사망사고를 예방하기 위해서는 애초의 설계개념대로 운행 중에는 용기밸브가 항상 잠겨있는 상태를 유지해야 한다. 그러나 실제적으로 이러한 조치가 어렵다면 용기밸브에도 과류방지장치를 추가로 부착하여 다량의 가스누출의 가능성을 줄여야 한다. 일본의 LPG 차량용기의 경우, 완전한 이중의 컨테이너 안에 가스용기를 설치하고 용기밸브와 취출밸브 모두를 용기 중앙의 상부에 위치시킴으로써 밸브의 조작을 용이하게 하고 있으며 용기밸브를 항상 잠그고 운행하고 있다.

#### 4. 결론

가스연료자동차는 지상에 고정된 설비와 달리 항상 이동이 가능하며, 진동 및 충격에 노출된 상태로서 보다 적극적인 안전관리가 요구되나 부품불량, 정비불량, 교통사고 및 사용자의 무관심에 의해 대형사고를 일으킬 소지를 항상 갖고 있다.

가스사고 사례해석을 통하여 LPG자동차의 가스사고 유형을 살펴보았다. 단순한 가스누설사고는 부품 및 제작공정의 품질관리와 정비보수로 발생빈도를 줄이고, LPG차량은 지하주차장과 같이 밀폐된 장소에 장시간 주차해서는 안된다는 규정을 명문화하고, 이를 사용자들에게 교육시켜야 한다. 차량의 충돌사고시의 가스의 다량누출로 인한 혼합가스폭발은 용기밸브의 잠금상태유지라는 사용자 주의사항 불이행에 의해서 주로 발생하지만, 거의 모든 사용자가 이행하지 않고 있는 이상, 연료공급장치계통의 구조적 취약부를 보강(용기밸브에도 과류방지밸브 부착)함으로써 발생빈도와 피해를 줄여야 한다.

#### 후기

자료를 제공하고 귀중한 조언을 주신 한국가스안전공사 이창수부장님과 (주)현대자동차 한태식차장님께 감사의 뜻을 표합니다.

#### 참고문헌

1. 윤재건, “폭발현상과 연소,” 한국자동차공학회, 자동차공학회지, 제15권 제5호, pp. 42-46(1993).
2. 고압가스 안전관리 법규집
3. 유석기, “LPG 및 도시가스 실무핸드북,” 제6판, 도서출판 구민사(1996).
4. 김진현, “소방설비기술사”, 제2판, 보문당(1996).

Table 1 LPG차량의 가스사고 개요

일시	사고장소	사고개요	형태/등급
95.5.15	서울노원구현대아파트 지하주차장	사고장소에 주차한 택시내에서 가스 누설	누설/D급
95.5.17	인천 연수구 풍림3차아파트 주차장	사고장소의 밸브박스에서 가스냄새가 난다는 신고였으나 근처에 주차된 택시에서 가스 누설	누설/D급
95.5.18	서울 노원구 남산교회앞	사고장소에 주차된 차량에서 가스누설	누설/D급
95.5.20	서울 송파구 제일슈퍼앞	사고장소에 주차된 택시에서 가스 누설	
95.5.22	청주시 북대동 우체국 사거리	택시와 승합차가 충돌하여 택시전복, 용기밸브와 배관연결부위에서 액상의 가스누출	누설/D급
95.9.3	서울 송파구 삼익빌라	엘피지차량의 전자식밸브 배관이음부에서 가스누설	누설/D급
95.10.17	대구 남구 대명4동 3054-26	사고장소에 주차한 택시에서 전자밸브고장으로 누설	누설/D급
95.10.24	서울 송파구 잠실본동	택시에서 미량의 가스누출	누설/D급
95.12.1	남원시 갈치동 지리산주유소앞	사거리에서 좌회전시 차량을 피하려다 전복된 사고	기타/D급
95.12.17	경주시 산내면 외칠리 186번지	가스판매배달원이 가스운반차량을 음주운전중 운전부주의로 차량이 전복되는 순간 정신질환이 발작하여 차량에 방화하고 도주, 당시 차량에 적재된 충전용기20개,빈용기14개는 전소	화재/C급
96.1.12	대구 중구 봉산동 유진확원사거리	택시의 기화기 전단부의 전자밸브가 작동되지 않고 기화기와 동관 연결부의 볼트이완으로 가스누설	누설/D급
96.1.14	충남청양군 남양면 국도	LPG탱크로리가 빗길 커브길에 미끄러지면서 하천으로 추락전복되어 액면계부근에서 가스누설	누설/D급
96.2.8	전남 여천시 낙포동	빈 LPG탱크로리와 황산탱크로리가 충돌하여 LPG탱크로리는 전복되고 황산이 유출	기타/D급
96.2.22	대구 북구 산격주공아파트	노상에 주차된 택시의 기화기와 동관연결부에서 가스가 누설	누설/D급
96.3.13	경북예천군 예천공항입구	택시의 교통사고로 용기밸브가 파손되어 누설된가스에 화재가 발생(사망 3명, 중상1명)	화재/B급
96.3.30	전남 여천군 삼경주유소앞	LPG탱크로리가 빗길과속으로 운행중 논으로 전복	기타/C급
96.4.19	대전 중구 중앙투자신탁앞	불법으로 LPG용으로 개조한 차량에서 용기밸브부근에서 누설된 가스에 라이터불에 의한 화재발생(중상1명)	화재/C급
96.6.2	인천 동구 창영동	신호대기중인 LPG택시를 음주운전차량이 추돌하여 LPG 차량용기에서 누설된 가스가 차량 추돌시 스파크 등에 인화, 화재가 발생하여 승객 1명이 사망	화재/B급
96.6.16	서울 구로구 고대병원 후문	LPG차량의 LPG용기 메인밸브에서 가스가 누설된 사고임	누설/D급
96.6.23	서울 서대문구 남가좌2동	밸브이음 부위에서 가스가 누출된 사고임	누설/D급
96.8.26	충북 청주시 상당구 내덕동	버스가 택시를 추돌하여 택시에 장착된 LPG용기에 충격을 가하여 밸브부분이 손상되어 가스가 누설된 사고	누설/C급
96.11.4	서울 강남구 삼성동	LPG차량의 기화기와 동배관 연결부의 체결불량으로 가스가 누설된 사고임	누설/D급
97.1.22	대전 동구 판암동	LPG용기 액면계의 조임 볼트가 불안전하게 체결되어 플랜지 고무패킹의 수축에 의해 가스가 누설된 상태에서 운전자가 시동을 걸어 스파크에 인화되어 폭발, 중상1명	폭발/C급