

# LPG 자동차기관의 트라이볼로지적 특성에 관한 고장사례 연구

이일권\*, 전윤수\*, 김청균\*\*, 김한구\*\*, 이병관\*\*, 김영규\*\*\*  
\*대림대학 자동차과, \*\*홍익대학교 트라이볼로지 연구센터  
\*\*\*한국가스안전공사 가스안전연구개발원

## Failure Study for Tribological Characteristics of LPG Automotive Engines

Il Kwon Lee\*, Yoon Soo Chun\*, Chung Kyun Kim\*\*, Han Goo Kim\*\*  
Byung Kwan Lee\*\*, Young Gyu Kim\*\*\*  
\*Department of Automotive Engineering, Daelim College  
\*\*Tribology Research Center, Hongik University  
\*\*\*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

### 1. 서론

국내 LPG(Liquefied Petroleum Gas) 자동차는 1982년부터 잉여 부탄가스의 수요를 개발하고 대중 교통 수단의 연료비 부담을 경감하기 위해 사업용 자동차의 연료로 사용된 이래 경제성과 환경 친화성이라는 목적으로 차량의 대수가 지속적으로 증가하여 왔다. 또한 1990년에는 장애인 소유자동차, 소형 화물차 등으로 사용 범위가 확대되었다. 1995년에는 자동차에 의한 공해를 감소시키기 위하여 LP 가스를 연료로 사용할 수 있는 화물 자동차의 규모 제한을 폐지하는 등 자동차 연료로서 LP 가스의 사용이 지속적으로 증가하고 있다.

최근에는 경제 사정의 악화로 인하여 수량이 급격히 증가하여 2003년에는 약 170여만 대의 액화 석유 가스 자동차가 운행중에 있으며 약 1,140여개의 액화석유가스 충전소가 있다. 또한 외국의 경우 액화석유 가스 자동차는 60년 이상의 오랜 기간 자동차용 대체 연료로 사용되어온 관계로 기술과 경험이 축적되어 있으며, 이탈리아, 네덜란드, 러시아 등 전세계적으로 약 1,100만대 이상의 액화석유 가스 자동차가 운행 중에 있다. 우리나라는 LPG에 대한 저가 연료정책에 의존하여 저공해 기술개발에 대한 투자를 소홀히 하였고, LPG 업계 및 자동차 제작사에서는 차량 증가에 안주하여 상대적으로 LPG 자동차 저공해 기술개발에 대한 투자가 미흡하여 휘발유차와 유사한 오염물질 배출 수준을 유지하였으나 최근에는 LPi 엔진이 개발되어 생산·판매되고 있다.

향후 LPG에 대한 배출가스 허용 기준이 단계적으로 강화될 수 있도록 제작사의 기술개발 노력이 유도되어야 하고, 제작사뿐만 아니라 LPG 업계에서도 자체 기술개발 및 정책개발을 위해 노력이 우선되어 저공해기술 개발을 유도하여야 할 것이다.

이 논문의 목적은 액화 석유 가스 자동차에서 발생하는 고장 사례 가운데 가

스 누설에 의한 엔진의 영향과 이로 인해 발생하는 현장 사례에 대하여 연구하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 LPG 차량의 특성

#### 2.1.1 장점

1) 연소효율이 좋으며 엔진이 정속하다.

LPG는 완전히 기체로서 공기와 혼합하므로 혼합 상태가 균일하고 이론 공기 혼합비에 가까운 값에서 완전 연소한다. 또한 속도가 가솔린보다 느리고 옥탄가가 높으므로 노킹을 일으키지 않으며 엔진 소리가 정속하다.

2) 경제성이 좋다.

LPG는 비점이 낮기 때문에 실린더 내에서 완전히 기화되어 오일을 묽게 만들지 않으며 카본의 조성도 적다. 또한 첨가제를 넣지 않으므로 카본이나 회분에 의하여 오일을 더럽히는 일이 없으며 용화분이 가솔린의 1/10로 적어 배기가스로 인한 금속의 부식이 거의 없다. 또한 오일의 회석이나 오염, 카본의 고착, 금속의 부식이 거의 없으므로 오일 교환시기가 가솔린보다 1.5~2.0배 정도이며 엔진 수명이 연장된다.

4) 대기오염이 적고 위생적이다.

LPG는 가솔린에서와 같은 옥탄가를 높이기 위한 유독성 납 화합물질이나 제재성 알데히드(Aidehyde) 등은 없고 또한 유황분도 아주 적기 때문에 아황산가스의 발생이 적다. 그리고 연소후의 배기가스에 의한 금속의 부식 및 배기관, 머플러 등의 손상이 적다. 한편 일산화탄소와 탄화수소에 대해서는 LPG 엔진의 경우 각 기통으로 혼합기 분배가 양호하며 각 기통의 연료가 균일하게 되고 공

Table 1 Mixing ratio of LPG according to season

계절별	프로판 (%)	부탄 (%)
1월	30	70
2월	↑	↑
3월	20	80
4월	10	90
5월	0	100
6월	↑	↑
7월	↑	↑
8월	↑	↑
9월	20	80
10월	20	80
11월	25	75
12월	30	70

연비도 크게 할 수가 있으므로 배기가스 또한 상당히 청정상태로 배출이 가능하다.

5) 퍼컬레이션(Percolation)이나 베이퍼 록(Vaper Lock)현상이 없다.

가솔린 연료에서 발생하는 퍼컬레이션이나 베이퍼 록의 연료계통의 고장은 연료가 기화되어 흡입되는 LPG에서는 발생되지 않는다.

6) 엔진 특히 연소실에 카본의 부착이 없어 스파크 플러그의 수명이 연장된다.

7) LPG는 완전한 가스상태로 실린더 내로 유입되기 때문에 가솔린 엔진과 같이 실린더 벽의 오일 막을 끊어 마모를 촉진하게 하는 일은 없고 오일의 희석이나 오염이 적어 노킹을 일으키는 일이 거의 없기 때문에 엔진의 수명은 가솔린 엔진에 비해 길다고 할 수 있다.

8) 연료자체의 증기압을 이용하므로 연료펌프가 필요없다.

### 2.2.1 단점

1) LPG 봄(Bomb)의 필요성으로 인하여 트렁크의 사용공간이 협소하다.

2) 증발잠열로 인한 동절기 시동이 곤란하므로 쇼크장치와 스타트 솔레노이드로 보완한다.

3) 연료의 취급과 공급절차가 복잡하고 보안상 문제점이 있다.

4) 베이퍼라이저 내의 타르의 배출이나 믹서(Mixer) 및 공회전조정 액츄에이터(ISCA)의 청소를 수시로 할 필요가 있다.

## 2.2 LPG 연료제어 구성 및 요소

### 2.2.1 구성도

Fig 1은 LPG 연료제어에 관련된 구성도를 나타낸 것으로서 시스템에 대하여 설명하면 다음과 같다.

1) 이그니션(Ignition) 스위치를 ON했을 때 엔진 컴퓨터(Electronic control unit)에 작동 전원을 공급하며 동시에 메인 릴레이는 여자코일에 “+” 전원을 공급받아 자화됨으로써 스위치 접점을 ON시켜 LPG 스위치까지 배터리 전원을 공급한다.

2) LPG 스위치를 ON으로 작동하면 메인 릴레이(Main relay)로부터 공급받은 배터리 전원은 LPG 봄 측의 긴급차단 솔레노이드 밸브 및 연료 공급 솔레노이드 밸브 여자 코일에 전원을 공급한다.

3) 엔진 컴퓨터는 배전기(Distributor)내에 설치되어 있는 크랭크각센서(Crank angle sensor)의 입력 신호로 엔진회전을 감지하여 회전수가 약 64rpm 이상이 되었을 때 엔진 컴퓨터는 엔진 냉각수온도센서(Coolant temperature sensor)의 입력값에 따라 냉각수온도가 약 14℃이하일 경우에는 초기 시동성 향상을 위하여 긴급차단 솔레노이드 밸브 및 연료공급 솔레노이드 밸브의 기상 솔레노이드 밸브측에 “-” 전원을 인가하여 LPG 봄내에 있는 기체 상태의 연료를 공급한

다. 이 때 엔진 ECU는 계기판에 설치된 기상 램프를 점등시킨다.

4) 엔진 구동중 냉각수 온도가 20℃이상 상승하면 기상 슬레노이드 밸브 작동 전원을 OFF하고 액상 슬레노이드 밸브에 전원을 공급하여 액상 슬레노이드 밸브가 작동할 때 기상 램프를 OFF으로 제어함으로써 액체 상태의 연료를 공급한다.

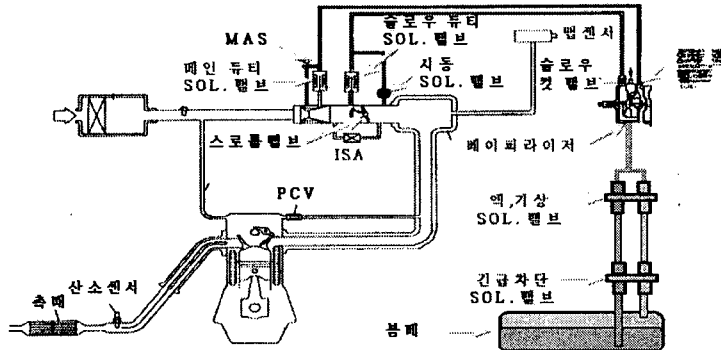


Fig. 1 Diagram of LPG fuel control system

Fig. 1 Diagram of LPG fuel control system

### 3. LPG 기관에 관련된 현장사례

#### 3.1 LPG 봄(bomb)에서의 누설

LPG 봄은 LPG를 충전하기 위한 고압 용기이며 기상밸브(황색), 액상밸브(적색), 충전밸브(녹색)등 3가지 기본밸브와 용적 표시계 액상 표시계등의 지시 장치가 부착되어 있다. LPG 봄의 구성 부품은 Fig.2와 같고 구성 부품 가운데 긴급차단 밸브는 가스안전 공사의 범규 개정으로 1994년부터 추가로 장착된 부품이다.

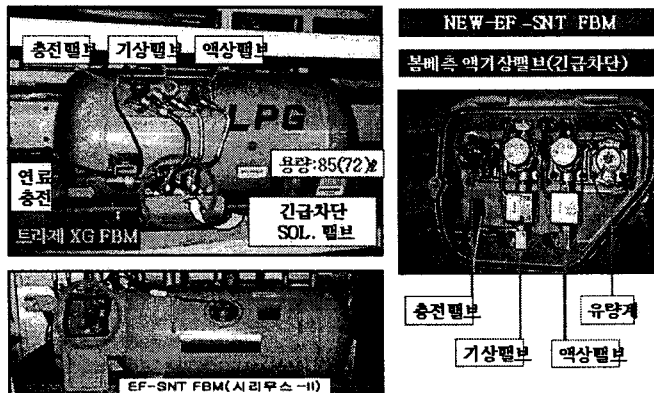


Fig.2 Example of LPG bomb for actual vehicles

봄의 설계 제작과 부착에는 고압가스 안전관리법(제 15조), 동력자원부고시(63호), 도로운송법(16조) 등의 관계 법령에 따라야 한다.

봄은 일반적으로 두께 3.2mm 이상의 고압가스용 탄소강판을 원통형으로 용접 제작한 것으로 인장강도 41kg/cm<sup>2</sup>이상, 31kg/cm<sup>2</sup>의 내압시험과 18.6kg/cm<sup>2</sup>의 기밀시험 및 파괴시험을 만족하도록 하며 고압가스용기 증명을 가인으로 표시하고 있다. LPG 충전밸브(녹색), 기체 LPG 송출밸브(황색), 액체 LPG 송출밸브(적색) 등 3가지 기본 밸브와 충전량 지시장치인 액면 표시계(Float guage) 및 투시창이 부착되어 있다. Fig.2는 LPG 봄의 형상을 나타낸 것이다.

### 3.2 액기상 솔레노이드 밸브에서의 누설

필터는 연료중에 각종 불순물을 여과하는 기능을 하며, 구조는 금속분말을 태워서 만든 것 또는 두꺼운 펠트(Felt)같은 재질의 여과재로 사용되며 LPG의 증기압에도 견딜수 있는 구조로 되어 있고 필터 엘리먼트는 탈착 가능하고 청소를 할 수 있다. 또한 엔진 냉각수의 온도가 14℃ 이하일 때 냉각수 온도 센서의 압력을 ECU에서 받아 출력은 기상용 솔레노이드를 통하여 봄으로부터 기상회로를 거친 연료가 베이퍼라이저에 공급된다. 또한 엔진의 냉각수 온도가 20℃ 이상일 때 냉각수온도 센서의 압력을 ECU에서 받아 출력은 액상용 솔레노이드를 통하여 봄으로부터 액상회로를 거친 연료가 베이퍼라이저로 공급된다. Fig.3은 LPG 솔레노이드 밸브의 예를 보여주는 것이다.

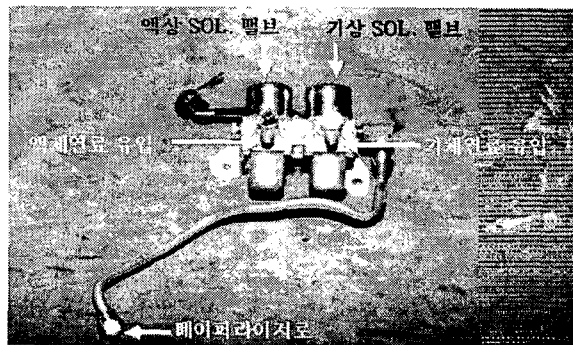


Fig.3 Example of LPG solenoid valve

### 3.3 긴급차단 솔레노이드 밸브(Emergency cut solenoid valve)에서의 누설

긴급 차단 솔레노이드 밸브의 내부구조는 엔진룸에 장착되는 솔레노이드 밸브와 동일하며 단지 액기상 통로가 각각 분리된 구조로 가스안전공사의 '94년 법규로 규정된 부품이다. 차량 주행중의 돌발사고로 인하여 엔진이 정지하게 되면 엔진 ECU는 OFF되어 엔진룸에 설치되어 있는 액, 기상 솔레노이드 밸브와 긴급

차단 밸브에 전원을 차단하여 솔레노이드 밸브를 OFF 시킨다. 솔레노이드 밸브가 OFF되면 연료가 차단되고 연료 배관계통의 문제가 발생하였을 때는 연료 누출 방지를 연료 탱크의 최단거리에서 차단하여 미연에 화재 위험을 방지하는데 그 목적이 있다.

### 3.4 베이퍼라이저(Vaporizer)에서의 누설

베이퍼라이저는 가솔린 차량의 카브레터의 일부에 해당하는 부품으로 감압, 기화, 압력조절의 기능을 갖고 있다. 봄으로부터 압송된 고압의 액체 연료를 베이퍼 라이저에서 감압시킨 다음 기체연료로 기화시켜 엔진출력과 연료소비량에 만족하도록 압력을 조절하는 기능을 갖고 있다.

베이퍼 라이저내에 LPG는 액체 상태에서 기체로 될 때 주위에서 증발 잠열을 빼앗아 온도가 낮아지기 때문에 베이퍼라이저의 밸브를 동결시켜 엔진에 적당한 양의 연료를 공급시킬 수 없게 된다. 이를 방지하기 위하여 베이퍼라이저내에 온수 통로를 설치하여 냉각수를 순환시켜 기화에 필요한 열을 공급시켜 주도록 되어 있다. Fig. 4는 기화기의 예를 보여주는 것이다.

타르는 유기물을 열 분해할 때 발생하는 끈적끈적한 흑색 또는 갈색의 액체로서 일반적으로 콜타르를 말한다. 베이퍼라이저나 배기관의 안쪽벽에 부착되는 경우가 많다. 베이퍼라이저에 타르가 고착되면 베이퍼라이저가 정상적으로 작동되지 않아 엔진의 부조화를 일으킨다. 따라서 타르를 주기에 맞춰 제거하지 않거나 타르를 배출한 다음 드레인 코크 레버를 완전히 잠그지 않을 경우 시동불량, 운행중 엔진부조, 역화, 공회전 불량 등의 문제가 발생할 수 있으므로 반드시 타르를 배출 한 다음 드레인 코크를 잠가야 한다. 타르는 베이퍼라이저가 따뜻하게 될 때까지 엔진을 워밍한 다음 실시하여야 한다. 현재 자동차 메이커에서는 매 5,000km 마다 주행한 후 또는 1개월 마다 타르를 배출하도록 권장하고 있다. Fig.5는 타르배출 시일불량으로 인해 타르배출이 제대로 되지 않아 고장현상이 발생한 사례를 보여주고 있다.

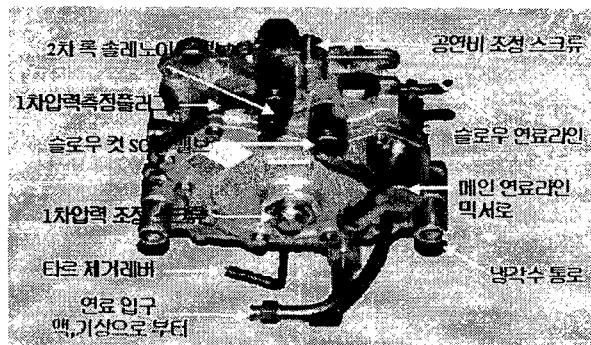


Fig.4 Example of vaporizer



Fig. 5 Failure example by badness of tar drain hole

### 3.5 믹서(Mixer)에서의 누설

믹서는 베이퍼라이저에서 기화된 연료를 공기와 혼합하여 최적의 혼합비를 연소실에 공급하는 것으로 다음과 같은 장치로 구성되어 있다. Fig. 6은 믹서의 예를 보여주는 것이다.

- 1) 메인 조정 스크류(Main Adjust Screw) : 연료유량 조정
- 2) 시동 솔레노이드 밸브 : 시동시 및 감속시 작동
- 3) 메인 듀티 솔레노이드 밸브 : 공연비 제어 장치
- 4) 슬로우 듀티 솔레노이드 밸브 : 시동시 및 감속시 작동
- 5) 아이들 스피드 액추에이터 : 공회전이나 부하 보정을 할 때 작동

믹서에서의 고장사례는 스톱 밸브에 타르가 부착되어 밸브가 완전히 닫히지 못할 경우, 스톱 밸브 열림 각도가 불량할 경우, 믹서 본체의 각 연결부가 작용이 불완전 할 때 등의 원인으로 인하여 부조화 현상을 일으킬 수 있다. Fig. 7은 믹서에 타르가 고착된 현장 사례를 보여주는 것이다.

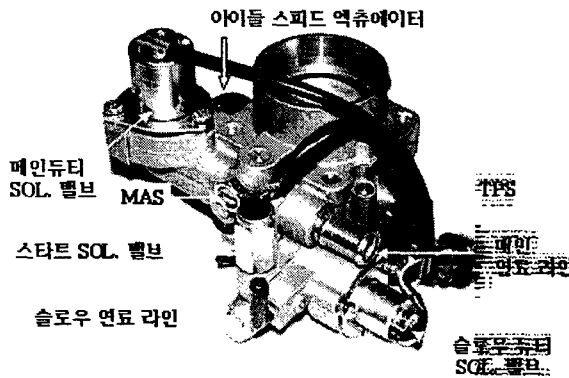


Fig. 6 Example of mixer



Fig.7 Failure example producing inharmony phenomenon of engine tar sticking with mixer

### 3.6 공회전 조정장치에서의 가스 흐름 불량으로 인한 엔진부조화 현상

LPG 자동차가 공회전 상태일 때 공회전 안정성을 확보하기 위해 혼합된 연료를 믹서로 바이패스(By-pass)시켜 연료를 제어한다. 이 때 엔진컴퓨터(Engine control unit)는 엔진 냉간시동, 전기부하, 파워 스티어링 작동조건, 에어컨 작동조건 등 엔진 부하에 따른 공회전 저하를 감지하여 공회전 제어 밸브를 통해 연료량을 듀티 제어하여 목표 회전수가 유지되도록 제어한다. 공회전 조정 장치는 차량이 공회전 상태일 때 엔진 컴퓨터의 신호를 받아 최적의 상태로 엔진 시동성을 유지하는 전자 제어식 보상 장치이다. Fig. 8은 공회전 조절 장치의 타르 고착에 의한 밸브 고착으로 인해 공회전 불량으로 인해 엔진 부조 현상이 발생되는 고장사례를 보여주는 것이다.



Fig. 8 Failure example by gas inflow badness according to tar deposit of idle speed control



#### 4. 결론

일반적으로 LPG는 연소 효율이 좋아 엔진이 정숙하며, 엔진 오일을 오염시키지 않아 오일 교환 주기를 연장할 수 있다. 또한 대기 오염이 적고 위생적이라는 장점을 가지고 있다. 이에 반하여 증발 잠열로 인해 겨울철 시동성의 어려움, 연료의 취급과 공급 절차의 복잡성, 베이퍼라이저의 주기적인 타르 배출, 공회전 장치의 주기적인 청소 등이 단점으로 되어 있다.

이 논문에서는 LPG 자동차에서 발생하는 가스 누설에 관련된 고장 사례를 현장 사례별로 분석하고 연구하였다. 즉, LPG 봄에서의 누설, 솔레노이드 밸브에서의 가스 누설, 베이퍼라이저에서의 가스 누설, 믹서에서의 가스 유입 불량으로 인한 사례, 공회전 조절 장치의 조절 불량으로 인한 LPG 자동차의 고장 현상 등의 사례들을 분석하였다.

LPG 자동차에서 생기는 가스 누설에 대한 고장사례를 최소화하기 위한 방법은 LPG 가스업체, 자동차 제작사와 자동차 사용자 모두 합리적인 관리를 할 때 차량이 최상의 상태를 유지할 것이다. 즉, LPG 업계에서는 끊임없는 연구를 통하여 양질의 LPG를 공급하여야 하고, 자동차 제작사에서는 최적의 LPG 자동차 시스템 개발을 통하여 획기적인 환경친화 시스템을 시장에 내놓아야 한다. 최근 이러한 LPG 자동차의 단점을 보완하여 LPI(Liquefied petroleum injection)엔진 시스템이 개발되어 판매되는 것은 하나의 좋은 예로 평가되고 있다. 정책당국에서는 환경오염을 최소화 할 수 있는 LPG 자동차를 개발할 수 있도록 적극적인 정책지원과 아울러 질책도 하는 적극적인 지원도 필요할 것이다. 마지막으로 자동차 사용자들은 바른 차량 사용으로 인하여 연료 및 각종 소모품을 효율적으로 교환하여 차량을 최상의 상태로 관리하여야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Chung Kyun Kim, Nickolai K Myshkin, Mark I, Petrokovests, "Introduction to Tribology " Cheong Moon Gak, 1997
- [2] Il Kwon Lee, Sung Won Kim, Chung Kyun Kim, "Experimental Study on the Tribological Characteristics including of Oil Leakage in Valve Stem", Proceedings of the Second Asia International Conference on Tribology , ASIA TRIB 2002 Paper, 2002.10
- [3] "Maintenance processing of LPG automotive", Korea Gas Safety Corporation,1999.10
- [4] Il kwon Lee, Yoon Soo Chun, Chubg Kyun Kim, et al., "Failure and diagnosis of automotive", Sun Hak, 2003. 7
- [5] Maintenance manual of Hyundai Motors
- [6] Maintenance manual of Kia Motors
- [7] Maintenance manual of GM Daewoo Motors