

LPG 자동차 보급 및 기술개발 동향

문수동, 이지홍, 정낙철

LG-Caltex 가스주식회사

머리말

LPG 가 차량용으로 사용된 것은 세계 1차대전 당시 가솔린연료의 부족분을 충당하기 위하여 이탈리아, 소련 등에서 시작되었으나, 전후 편리성 및 경제성으로 점차 세계 각국으로 보급이 확산되어 2000년 기준으로 전세계에 730만대 이상이 운행되고 있다. 특히 LPG 자동차는 큰 하드웨어 변경 없이 가솔린자동차를 활용할 수 있어 전세계에 걸쳐 널리 사용되고 있고, 최근에는 LPG 연료의 청정성이 부각되면서 유럽 선진국을 중심으로 보급이 확산추세에 있다. 국내에서도 국내 대기질개선을 위한 디젤자동차의 대체차종으로서 연료경제성에 힘입어 LPG 자동차의 보급이 활발한 편이다. 그러나, 최근 LPG 자동차의 상대적인 기술나후로 저공해성이 크게 훼손되었고, 이는 LPG 연료가격의 인상요인으로 작용되어 LPG 자동차의 보급은 둔화 내지 감소추세에 있으며, 디젤자동차가 이의 수요를 대체하고 있는 것이 현실이다. 이에 정부의 지원하에 LPG 공급사는 한국기계연구원을 중심으로 전문연구기관과 협조하여 1999년부터 LPG 자동차 기술개발을 추진하고 있다. 여기에서는 이러한 내용을 중심으로 LPG 자동차 보급 및 기술개발에 대하여 소개하고자 한다.

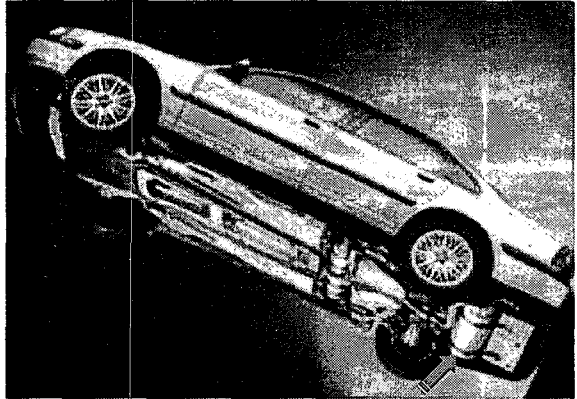


그림 1. Volvo LPG 차(연료탱크를 Floor 아래에 설치하여 트렁크 공간을 확보하였다)

1. LPG 자동차 특성

LPG는 프로판(C_3H_8)과 부탄(C_4H_{10})이 주성분으로 비교적 탄소수가 적고 연소성이 우수한 액화석유가스이다. 국내에서는 “액화석유가스의 안전 및 사업관리법”에서 용도에 따른 조성 및 요구성질을 규정하고 있고, 차량연료로서의 주요한 LPG 특성은 표 1과 같다.

LPG 자동차의 저공해성은 이미 입증되어 미국 등 선진국에서는 청정연료로 규정하여 보급을 장려 및 지원하고 있고, 특히 국내 대기오염에 있어 크게 문제가

되고 있는 미세먼지 및 질소산화물에 대하여는 디젤자동차에 비하여 90%이상 저감되는 것으로 세계 LPG 협회는 보고하고 있다. 또한 LPG는 가솔린에 비하여 발열량이 높고, 옥탄가도 높아 엔진의 성능도 뛰어난 편이다

LPG는 쉽게 액화되는 성질로 자동차 등 이동용 연료로써 큰 장점을 가지고 있다. 즉, LPG는 액화되면 기체상태보다 약 1/250 수준으로 부피가 감소하므로 연료탱크 등 부품이 간단하고 콤팩트하므로 차량가격이 저렴해진다. 또한 1회충전주행거리가 길고, 차량중량이 감소하여 연비에도 유리하여 실용성이 우수하다. 더욱이 황(Sulfur) 등 불순물이 적고 연소성도 우수하여 엔진의 내구성이 향상되고, 오일 등의 교환주기도 길어지는 점 때문에 경제적이기도 하다.

일부에서는 LPG 자동차의 안전성에 대하여 염려하고 있으나, 이는 LPG 자동차에 대한 이해부족이며, 지금까지 LPG 자동차와 관련한 대형사고가 없었다는 점이 이를 증명하고 있다. 즉, LPG는 10bar 미만의 저압에서 사용되므로 누출위험성이 매우 낮고, 용기는 가솔린연료용기에 비하여 6배 이상 강도높게 설계되어 충돌시에도 안전하며, 차량발화시에도 안전밸브가 설치되어 있어 폭발은 발생하지 않도록 설계되어 있다. 또한 국내의 오랜 LPG 자동차의 운행경험은 또하나의 안전대책이다.

표 1. 연료별 특성

| 분자식 | C ₃ H ₈ | C ₄ H ₁₀ | CH ₄ | C ₁₀ ~ C ₂₀ | C ₄ ~ C ₁₀ |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 액상밀도[kg/l] | 0.5 | 0.58 | 0.42 주 1) | 0.845 | 0.775 |
| 기상밀도@0℃[kg/m ³] | 2.0 | 2.68 | 0.717 | - | - |
| 비점@ 대기압 [℃] | -42 | -0.5 | -162 | 180 ~ | 30 ~ |
| 액화 임계온도 [℃] | 96.8 | 152 | -82.5 | - | - |
| 이론공연비 [kg/kg] | 15.7 | 15.5 | 17.2 | 14.6 | 14.7 |
| 연소한계 [Lambda] | 0.42~2.0 | 0.36~1.84 | 0.7~2.1 | 0.48~1.35 | 0.4~1.4 |
| 저발열량 [MJ/kg] | 46.3 | 45.7 | 50 | 42.5 | 43 |
| 중발열량 [MJ/kg] | 0.37 | 0.36 | 0.51 | 0.25 | 0.30 |
| 옥탄가(ROn) | 112.1 | 102 주 2) | 120 이상 | - | 91 이상 |
| 착화온도 [℃] | 470 | 365 | 650 | 250 | 350 |
| 연소속도 [m/sec] | 0.81 | 0.82 | 0.67 | - | 0.83 |
| CO ₂ 생성율(g/MJ) | 64.7 | 65.4 | 54.8 | 73.7 | 74.2 |

* 자료출처 : World LP Gas Association

주 : 1) 영하 162℃에서의 밀도임

2) Iso-Butane의 옥탄가는 102 이상임

2. 세계 LPG 자동차 보급현황

전 세계 LPG 자동차는 2000년 기준으로 이태리 123만대, 한국 121만대, 터키 95만대 등 총 730만대 이상이 운행되고 있다. 특히 서유럽의 경우, 1995년 이후 액상분사식 LPG 엔진기술의 소개로 배출가스 등 성능향상에 힘입어 증가세가 뚜렷하다. 이중 LPG 버스는 약 만여대이고 오스트리아 비엔나의 경우, 시영운송공단이 1963년부터 LPG 버스운행을 시작하여 현재에는 약 700여대를 성공적으로 운행하고 있어 LPG 버스에 의한 대기질개선의 모범적인 사례로 인용되고 있다.

LPG 자동차의 보급은 연료의 경제성으로 보급이 시작되나, 점차 환경적인 이점으로 정부의 정책적 지원하에 보급이 확대되는 것이 일반적인 형태이다. 해외에서의 LPG 자동차에 대한 정부정책은 천연가스자동차, 메탄올자동차 등과 더불어 저공해대체연료 자동차로 지정되어 보급이 장려되거나 지원되고 있으며, 이들 저공해자동차에 대한 지원내용도 유사하다. 미국은 EPAAct 1992에 의하여 LPG 자동차를 저공해대체연료자동차로 규정하여 보급을 지원 및 장려하고 있으며, 영국의 경우는 LPG 소비세 감면 및 Powershift Program 등에 의한 LPG 자동차의 구입 및 개조비용을 보조 하는 지원정책을 실시하고 있고, 호주의 경우는 LPG 소비세 감면, 등록비 감면, Alternative Fuel Conversion Program에 의한 LPG 자동차 구입 및 개조비용 보조 등으로 LPG 자동차 보급을 적극 유도하고 있다. 이외에도 프랑스, 네덜란드 등에서도 LPG는 국가적으로 보급이 장려 및 지원되고 있다.



그림 2. 덴마크 LPG 버스(선진국형 저상버스는 LPG 연료탱크의 Roof 탑재가 요구된다)

표 2. 세계 각국의 LPG 자동차 지원정책

| | | |
|------|-----------------|--------------------------------------|
| 재정지원 | 소비세 감면 | 대부분의 국가(영국, 일본, 이태리, 프랑스, 호주 네덜란드 등) |
| | 구입/개조 보조금 지원 | 미국, 영국, 이태리, 프랑스, 호주 등 |
| | 도로세/등록세 감면 | 네덜란드 등 |
| | 인프라 설치비에 대한 면세 | 미국, 호주 등 |
| 의무규제 | 대체연료 자동차의 운행의무화 | 미국 등 |
| | 도심지 운행금지의 예외적용 | 프랑스, 이태리, 네덜란드, 그리스 등 |
| 기술개발 | 기술개발 비용 지원 | 네덜란드 등 |

3. 국내 LPG 자동차 보급현황 및 문제점

현재 국내에는 140 만 여대의 LPG 자동차가 운행중이며, 900 여개의 LPG 자동차 충전소가 설치되어 있다. 국내 LPG 자동차 보급기반은 충전인프라, 연료경제성 등에서 양호하다고 할 수 있으나, 최근 정부가 LPG 연료가격의 점진적 인상을 발표하고, 상대적 기술낙후에 기인한 LPG 차량의 성능저하로 점차 약화되고 있는 상황이다. 따라서 LPG 자동차의 수요감소는 디젤자동차의 대체수요로 이어져 디젤승합차 등을 LPG 자동차로 공급하여 국내 대기개선을 도모하고자 하는 환경부의 정책도 타격을 받고 있는 실정이다.

이러한 현실을 감안하여 LPG 공급사는 정부의 지원하에 한국기계연구원을 중심으로 한 컨소시엄을 구성하여 선진 LPG 자동차 기술, 액상분사방식(LPLI, Liquid Phase LPG injection)을 개발하고 있으며, 자동차사에서도 이미 양산화개발에 착수한 상태이다.

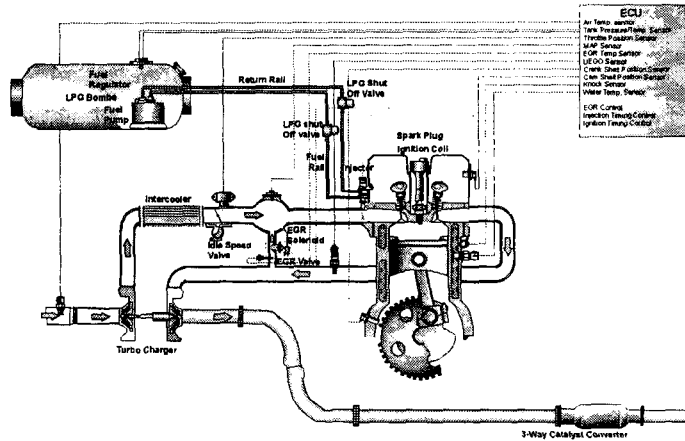


그림 3. 개발중인 LPLI 시스템도(최신 가솔린엔진과 같은 수준의 정밀제어가 이루어진다)

LPLI 방식의 LPG 자동차를 시제작하여 성능을 시험확인한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 저공해성이 우수(믹서방식 차량 배출가스의 30% 이하)
- 출력향상(가솔린차 동등이상)
- 시동성 우수(영하 25℃ 양호)
- 연비개선(기존 믹서방식에 비하여 6% 개선)

* LPG는 밀도가 낮아 부피당 주행거리는 가솔린자동차의 80% 수준이나, 중량당 주행거리는 발열량이 높아 오히려 20% 가까이 증가함

- 역화(Back Fire)의 근원적 제거(기존 믹서방식과는 달리 다점분사방식이므로 역화가 발생하지 않음)



그림 4. LPLI 시험차(가솔린차에 LPLI 부품을 장착하여 제작하였다)

이외에도 LPG 자동차에서는 타르가 발생하지 않는 등의 장점을 가지고 있어 기존 믹서방식 LPG 자동차의 문제점이 모두 개선되며, 나아가 가솔린자동차보다도 우수한 상품성을 가지게 될 것으로 예상된다. 표 3은 LPG 엔진기술의 발전단계를 보여주고 있으며, 현 국내 LPG 자동차는 1980 년대의 2 세대 기술에 속한다고 볼 수 있다.

표 3. LPG 엔진 기술발전 추이

| 기능 | Mixer + Open Loop 제어 | Mixer + Closed-Loop 제어 | Injection(흡기관) + Open-Loop 제어 | Injection(실린더) + Open-Loop 제어 |
|----------|-------------------------|---------------------------|--|----------------------------------|
| 주요 부품 | 믹서, 기화기 | 믹서, 기화기, 산 소센서, ECU | 펌프, injector, 산소센서, ECU | 고압펌프, 고압 injector 등 |
| 주요 특성 | • 초기모델 (경제적) | • EURO-3 만족 | • EURO-5/ULEV 만족 • 출력 및 연비 향상 • 시동성 개선 | • 연비 향상 |
| 적용 국가 | 터어키, 중국 등 | 한국, 일본 등 | 서유럽 | 개발중 (네덜란드 DAF 등) |

4. 국내 LPG 자동차 기술개발 현황

1) LPG 버스 시범운행

LPG 공급사는 LPG 버스의 국내운행 적합성, 저공해성 등 실용성을 확인하기 위하여 독일 MAN 사의 LPG 버스 전용엔진을 도입하여 대우자동차와 협력하여 LPG 버스를 제작하였으며, 2001년 5월부터 아산시, 남양주시, 제주시에서 각 1대씩 시범운행을 실시하고 있다. 현재까지 약 10만 Km를 정상운행 하였으며, 국내 5개기관의 자동차 전문가에 의한 전문평가 결과에서도 저공해성 및 승차감이 우수하고, 가속감이 양호할 뿐만 아니라 1회충전주행거리도 길어 저공해버스로 실용성이 매우 뛰어난 것으로 결론지어졌다.

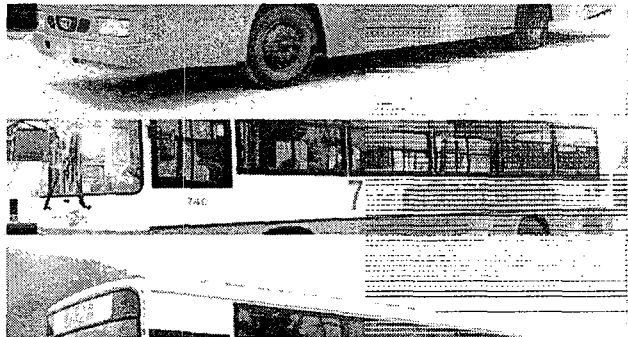


그림 5. 시범운행중인 LPG 버스

2) 저공해 대형 LPG 엔진 개발

LPG 버스 시범운행 사업을 통하여 LPG 버스의 국내운행 적합성을 확인한 LPG 공급사는 해외 기술의존 및 도입엔진의 고가격 등을 개선하고자 대형 LPG 엔진의 국내개발에 착수하였다. 동 엔진에는 LPLi 엔진제어시스템과 희박연소를 적용하여 저공해성 및 경제성을 크게 향상시켰다. 더욱이 경제적 생산규모가 큰 injector 를 제외하고는 주요 핵심부품을 저렴한 가격으로 국내개발하였다. 따라서 배출가스 규제강화에 따른 디젤엔진의 사양고급화로 디젤엔진과 동등한 가격수준으로 공급이 가능할 것으로 보인다. 또한 천연가스엔진과 같이 디젤엔진을 Base 로 성능 및 내구성을 확보하는 범위내에서 최소변경하여 개발엔진의 양산화가 용이하도록 설계하였다. 개발엔진의 출력은 동급 디젤엔진과 동등한 290 마력을 확보하였고, 배기성능은 유럽의 2005년 규제인 EURO-4를 만족하는 수준이다.

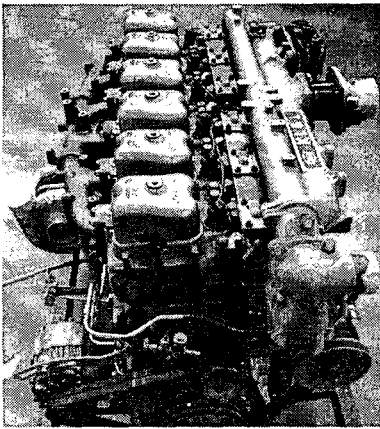


그림 6. LPG 엔진 시제품

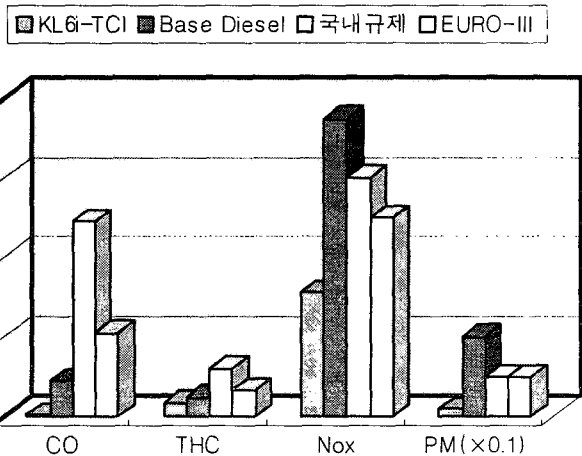


그림 7. 국내개발 LPG 엔진의 배기성능

표 4. 국내개발 LPG 엔진의 제원

| 항목 | LPG 엔진 | 디젤엔진 |
|---------|---------------------------|------------------------|
| 엔진 Type | L6 | L6 |
| 배기량 | 11,146 cc | 11,146 cc |
| 압축비 | 9.3 | 16.5 |
| 공기계 | TCi 주 1) | TCi |
| 연료계 | LPLi | 전자분사 |
| 연소방식 | Otto Cycle (Lean Burn) | Diesel Cycle (직접분사) |

주 1) Turbo Charger-intercooled

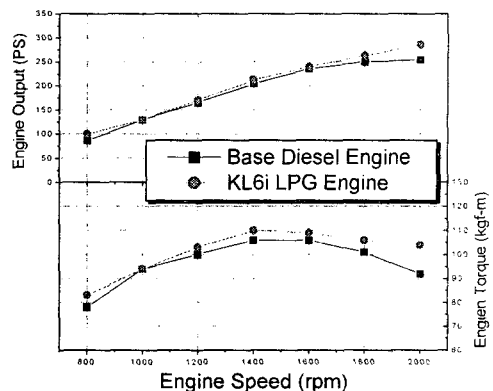


그림 8. 국내개발 LPG 엔진의 출력

3) LPG 버스 개발

국내개발 대형 LPG 엔진의 실용성을 실차에서 검증하기 위하여 LPG 공급사는 한국기계연구원과 한국시멘스가 시행하고 현대자동차가 협력하는 개발엔진의 버스탑재개발을 산자부/에너지관리공단의 정책과제로서 2001.12월에 착수하였다. 2년이 소요되는 이 과제에서는 개발엔진의 차량탑재 및 ECU의 차량매칭이 주로 이루어지며, 시험운행을 통하여 국내개발한 LPG 버스의 성능 및 내구신뢰성이 확인될 것이다. 따라서 당 사업이 완료되면 LPG 버스의 보급기반이 확보되어 대도시 대기질 개선에 기여하게 될 것이고, 중국 등 수출상품으로서도 육성이 가능해질 것이다



그림 9. 개발중인 LPG 버스

4) LEV 대응 LPG 품질 및 LPLi 부품 최적화 연구

대형 LPG 엔진용으로 국내개발한 선진 LPLi 기술은 선진 유럽에서는 양산 적용하고 있으나, 국내개발한 부품의 내구신뢰성 및 국내 LPG 품질영향에 대한 의문 등으로 자동차사도 양산화에 부담감을 느끼고 있는 것이 현실이다. 이에 LPG 공급사는 이러한 장애요인을 조기에 제거하여 자동차사의 양산화노력에 적극 협조하고자 환경부/환경연구원의 정책과제로서 “LPG 품질영향 및 LPLi 핵심부품의 최적화 연구”를 2001.8월에 착수하였다. 이 연구과제에는 한국기계연구원을 주관으로 서울대학교, 자동차공해연구소, SK 대덕기술원이 참여하고 있으며, LPG에 포함되어 있는 불순물이나 조성비(부탄/프로판 혼합비)의 영향을 분석하고, 펌프 및 분사기의 내구신뢰성 개발, LPG 기화에 따른 Icing 현상 및 Hot Soaking 후 재시동성 등 시스템 안정성을 규명할 예정이다. 그림 10은 이중 Icing 현상을 규명하기 위한 시험장치이다.

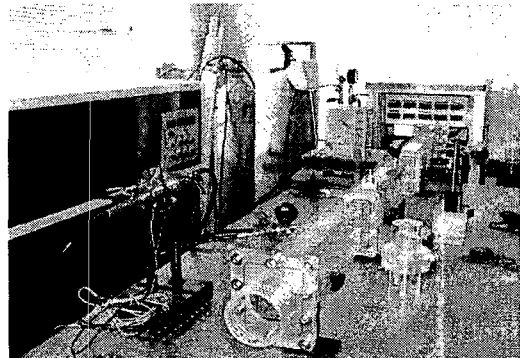


그림 10. Injector Icing 시험장치

5) 소형 LPLi 화물차 개발

국내 소형트럭은 대형트럭과는 달리 주로 도심지에서 운행되고 있고, 운행대수도 매우 많아 도시환경오염에 미치는 영향이 적지 않으나, 현재 소형 LPG 화물차는 낙후된 기술을 사용하고 배기성능이 저하되고 있을 뿐만 아니라 출력저하 등으로 소비자욕구에 부응하고 있지 못한 것이 현실이다. 이에 LPG 공급사는 LP 가스공업협회와 공동으로 고려대학교를 주관으로 컨소시엄을 구성하여 LPLi 방식의 소형 LPG 트럭을 개발하고 있다. 소형트럭은 도심지 운행에 따른 저공해성 뿐만 아니라 고속주행을 위한 고속출력도 중요한데 LPG 엔진은 가솔린엔진과 유사한 출력특성으로 이런 요구를 만족시키며, 또한 소음도 낮아 주택가 운행이 잦은 소형트럭에 매우 적합하다. 따라서 소형 LPLi 화물차는 저공해성, 저소음, 고속주행성으로 저공해자동차 보급정책을 위해서 뿐만 아니라 소비자의 고급 도시형트럭의 구매욕구를 만족시키기에도 부족함이 없다.

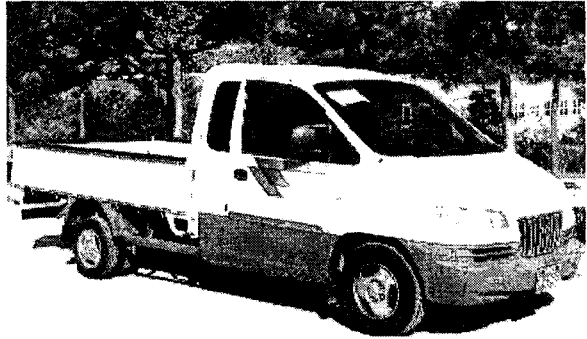


그림 11. 시험중인 LPLi 개조 화물차

6) 향후 과제

지구온난화에 따른 CO₂ 규제는 향후에도 지속적으로 추진될 것으로 보이며, LPG는 저탄소 연료로서 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)가 낮아 CO₂ 규제에 대한 대응책으로도 활용이 가능하다. 그러나, Otto Cycle의 저효율로 동일한 연소방식을 적용하는 가솔린자동차에 비하여는 CO₂ 배출량이 감소하나, 디젤자동차에 비하여는 연료의 우수성에도 불구하고 CO₂ 배출량이 동일수준에 머무르고 있다. 따라서 LPLi 적용으로도 효율증가는 이루어지나, 좀더 이를 향상시킬 수 있는 연구개발이 이루어져야 할 것으로 보인다. 이러한 LPG 자동차의 열효율 향상 방안으로는 단기적으로는 직분식 엔

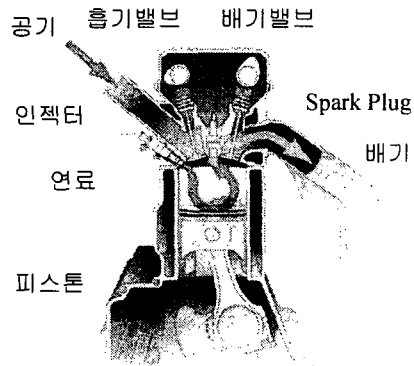


그림 12. 직분식 LPG 엔진 모형도

진 도입이, 중장기적으로 LPG Fuel Cell의 도입이 될 수 있을 것이다.

직분식 LPG 엔진은 현재 직분식 가솔린엔진의 연구가 활발이 이루어지고 있어 이를 활용한다면 큰 어려움이 없을 것으로 생각되며, LPG 연료전지 자동차는 타 연료전지 자동차 기술에 LPG 개질기술을 추가하여 시스템화하는 기술이 요구된다. 물론 연료전지 자동차에 있어서 장기적으로는 수소 연료전지 자동차가 보급될 것으로 보여지나 고밀도 수소저장기술이 개발되기 전까지는 단위부피당 수소발생량이 비교적 많고, 개질이 용이하면서도 저유황 고품질인 LPG의 장점을 살린다면 LPG 연료전지 자동차도 보급가능성이 매우 높다.

표 5. 연료별 60L 당 수소발생율

| ↑ ↓ | 디젤 | 0.84 | 22 |
|--------|-------------|-------|----|
| | 가솔린 | 0.75 | 20 |
| | LPG(부탄) | 0.58 | 16 |
| | CNG(200bar) | 0.16 | 5 |
| | 메탄올 | 0.79 | 9 |
| | 수소(200bar) | 0.018 | 1 |

이외에 LPG 자동차의 불편사항으로 지적되고 있는 연료탱크의 장착성 개선방안이 조속히 확보되어야 할 것으로 보인다. 따라서 Volvo 자동차에서 보여지는 것처럼 LPG 연료탱크를 Floor 하단에 장착하기 위해서는 차량개발 초기부터 LPG 연료탱크 장착을 고려하여 설계가 이루어져야 하며, 복합소재에 의한 가솔린연료탱크와 동일한 형태의 LPG 연료탱크도 고려하여 보는 것도 좋을 듯하다.



그림 13. 가솔린연료탱크과 동일한 형태의 LPG 연료탱크 (프랑스 Roxer 사 개발)

맺음말

LPG 자동차는 저공해성 및 안전성이 이미 오래 전부터 입증되어 환경개선차원에서 정책적으로 보급이 장려 및 지원되어 왔으며, 연료의 청정성에도 불구하고 국내 보급상의 장애요인이 되었던 LPG 자동차의 기술낙후도 이젠 선진화가 이루어져 저공해자동차로서의 기능이 강화될 예정이다. 뿐만 아니라 출력, 시동성 등 차량성능도 향상되어 상품성 또한 우수하여 실용성이 높은 저공해자동차로서 국내 대기질 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다. 또한 세계에는 730 만대 이상의 LPG 자동차가 운행되고 있어 결코 적은 시장이 아니며, 국내 LPG 자동차 기반이 세계 최고수준에 있어 이러한 우리의 특화된 장점을 잘 살려 국가적으로 육성한다면 수출산업으로도 유망하다. 더욱이 시장성에 비하여 선진 자동차사 등과 경쟁이 치열하지 않고, 지속적으로 증가하는 시장이라는 점은 LPG 자동차의 가능성을 다시 한번 보게 하는 측면이다.

세계 선진국의 저공해자동차 보급정책을 보면 저공해 대체연료자동차로서 여전히 LPG 와 CNG 자동차가 주류를 이루고 있다. 그럼에도 불구하고 최근 정부는 LPG 연료가격의 단계적 인상계획을 발표하는 등 저공해자동차 보급정책이 후퇴하는 경향이 없지 않다. 앞으로는 우리정부도 국내 LPG 자동차가 실용적인 저공해자동차임을 감안하여 외국의 사례에서 보여지는 각종 지원책을 시행할 것으로 기대되며, 자동차사 및 LPG 공급사도 더욱 우수한 LPG 자동차의 개발 및 보급에 힘써 정부정책에 부응하여야 할 것으로 보여진다.