

# LPG 액상분사방식 저공해 대형 엔진 (K-1) 개발

강건용, 김창기, 이상석, 이진욱  
한국기계연구원 LP가스엔진 연구사업단

## Development of a HD LPG Engine (K-1) Using Liquid Propane Injection System

K. Y. Kang, C. G. Kim, S. S. Lee, and J. W. Lee  
LP Gas Engine Task Force Team  
Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM)

### 1. 서론

최근 트럭 또는 버스 등의 대형상용 디젤 차량으로부터 배출되는 입자상 물질과 질소 산화물 등의 유해배출가스가 대도시의 주된 환경오염원으로 인식되어, 제조업체를 비롯한 관련 산업체 및 연구 기관에서는 여러 가지 환경 친화적 대체 연료 엔진의 개발을 모색해 오고 있다. 그 중 대형상용 LPG 엔진은 유럽 등에서 이미 성능을 인정받아 상용화가 이루어진 상태이기 때문에 국내에서도 많은 관심을 가지고 있다.<sup>[1][2][3]</sup>

LPG 엔진과 관련된 연료공급기술은 1세대의 단순 믹서방식에서 2세대의 피드백 믹서 방식으로 발전을 하였으며, 현재 3세대의 가스 또는 액상 포트분사방식으로 개발된 상태이다.<sup>[3]</sup> 국내기술에서 채용하고 있는 2세대 방식은 정밀한 공연비 제어가 어렵고 응답성과 출력이 떨어지며 역화(back fire)의 가능성이 있기 때문에 점차 3세대의 포트분사 방식으로의 전환이 이루어지고 있다. 특히 LPG 액상분사(LPi)방식은 분사시 액상 LPG 연료의 기화잠열에 의한 흡입공기온도의 급감으로 인해 출력 상승과 배기가스온도 감소 그리고 노킹 저감에 상당한 이점을 가지고 있다. 이러한 LPi 방식은 이미 네덜란드 등 선진국에서는 상용화된 것으로서 소형은 물론 대형엔진에 이르기까지 다양하게 사용 중이다.<sup>[4][5][6]</sup>

본 논문에서는 현재 LPi 시스템을 적용하여 연구개발 중인 대형 상용 LPG 엔진(KL6i)의 1차 시제품 개발결과를 개략적으로 기술하였다. 이 연구의 최종적인 목적은 기존의 디젤 연료를 사용하는 대형 기관을 대체할 수 있는 LPG 엔진을 개발함에 있어서 현용 동급 기관의 출력 성능과 연료 경제성을 확보하고 유해 배기가스 저감을 EURO-III 이하로 실현하는 것이다. 또한 엔진의 내구성을 포함하여 개발에 포함되는 엔진 부품들의 국산화를 함께 확보함으로써 대형 상용 LPG 엔진에 대한 실용화를 이룩하고자 한다.

## 2. LPi 엔진(K-1) 개발

### 2.1. 개발목표

대형 상용 LPG 엔진의 개발에 있어서 토크 및 출력 목표는 동급 디젤엔진을 대체할 수 있는 성능이며, 유해 배기가스 배출량은 EURO-III의 60% 수준 이하이다.

개발에서 목표로 하는 엔진출력성능은 KL6i 엔진의 흡입방식이 자연흡입식(NA, natural aspiration)보다는 과급식(TCI, Turbo Charger Inter-cooler)이 되어야 만족시킬 수 있는 가능성이 크지만, 개조부품들의 성능과 LPi 시스템의 특성을 파악하기 위해서 좀더 기술적 접근이 용이한 NA엔진의 개조(K-1)가 선행되었으며, 차후 그 결과를 바탕으로 최종적인 TCI 방식의 KL6i 엔진이 개발될 예정이다. K-1 LPi 엔진과 이에 대한 베이스 디젤 엔진은 Table 1에서와 같이 직렬 6기통 엔진이며 11 리터급의 배기량을 가진다.

Table 1. Engine specifications

Engine	K-1 LPi engine	Diesel engine
Combustion system	Spark ignition Stoichio.	Direct injection
Bore × Stroke	130 × 140	
Sweept volume	11.1 liter	
Air aspiration system	Natural aspiration	
Number of cylinder	Inline 6	
Compression ratio	10 : 1	16.5 : 1
Fuel system	LPi system	Diesel injection system

### 2.2. 엔진 하드웨어 개조

디젤엔진을 SI 방식의 LPG 엔진으로 개조할 경우 많은 부분들이 개조되거나 새로 설계, 제작되어야 한다. KL6i 엔진에서는 궁극적으로 양산을 목적으로 신작된 부품들이 모두 적용될 것이나 초기 육성단계인 K-1 엔진에서는 LPi 연료시스템, 제어를 위한 각종 센서류, 그리고 엔진 본체의 여러 가지 개조부분에 대한 검증 및 보완이 주요 목적이기 때문에 기본적인 개조만 이루어져 있다. Fig. 1은 베이스 디젤엔진에서 K-1 엔진으로 변환된 엔진의 사진을 보여준다.

엔진 개조 작업에서는 우선 디젤 펌프와 디젤 인젝터를 포함한 디젤 연료시스템은 모두 제거되고, 그 대신 LPi 인젝터를 포함한 LPG 연료시스템이 엔진에 장착되었다. 인젝터의 장착을 위해 흡기다기관과 냉각수관을 설계하여야 하나 K-1 엔진에서는 이러한 대물류의 신작에 앞서 인젝터 장착을 위한 어댑터를 먼저 적용하였다. 디젤 인젝터가 장착되었던 자리에는 점화플러그가, 그리고 스톱바디와 엔진 제어를 위한 각종 센서류들이 엔진본체에 새로 장착되었으며 크랭크카

검출과 캠각 검출을 위해 target wheel과 target pin이 플라이 휠과 캠축에 각각 설치되었다.

디젤엔진의 deep-bowl형 피스톤은 노킹, 급속연소 그리고 양산성을 고려하여 압축비 9.3 또는 10 두가지 종류의 bath-tub형 피스톤으로 개조되었다. 흡기포트 형상은 현재 단기통엔진 실험을 통해 최적화 중에 있으며 이를 토대로 개발된 엔진헤드가 육성 후, KL6i에 장착될 것이다. 그 외 피스톤 링, 흡,배기 밸브, ISC, EGR 라인, 그리고 삼원촉매장치 등이 개발되고 있다.

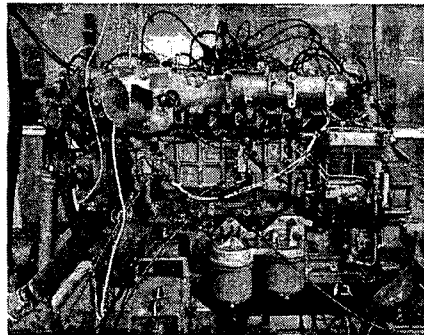


Fig. 1 Photograph of the K-1 LPi engine

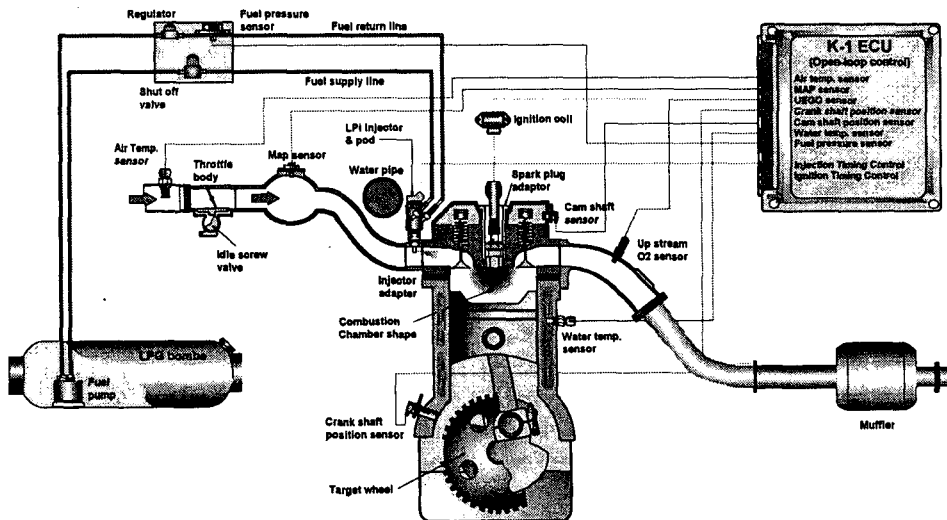


Fig. 2 Schematic diagram of overall fuel & control systems in K-1 LPi engine

### 2.3. LPi 연료시스템

LPi 연료 시스템은 탱크, 펌프, 인젝터, pressure regulating unit, 연료 라인 등으로 구성되어 있으며 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 탱크 내에 내장되어 있는 펌프는 인젝터까지 액상의 LPG를 공급하기 위해 연료를 포화증기압 이상 가압하여 이송하는 역할을 한다. Fig. 3에 pod와 함께 나타낸 LPi 인젝터는 bottom feed 방식으로써 인젝터 팁 주위에서 발생할 수 있는 기체가 위쪽으로 빠져나갈 수 있도록 하여 vapor lock 현상을 방지하도록 설계되어 있다. 인젝터 전 또는 후에 있을 수 있는 압력센서는 연료압의 변화를 감지하여 ECU에서 적정의 연료를 분사할 수 있도록 해주며 연료 리턴 라인에 위치한 압력조절기는 탱크와 인젝터사이의 압력차를 일정하게 유지시키는 역할을 한다.

인젝터에서 분사된 LPG 연료는 액상이기 때문에 분무 시, 기화잠열로 인해 주위의 흡기온도를 상당히 떨어뜨리게 된다. 이러한 현상은 고출력, 저배기온도, 저노킹성 등 상당히 유리한 점들이 많이 있지만 분사노즐 팁 주위에 결빙이 발생하는 문제점도 야기시킨다. 따라서 분사노즐 팁은 이러한 아이싱 현상을 방지할 수 있도록 특별히 제작된 노즐을 사용하도록 되어져 있다.

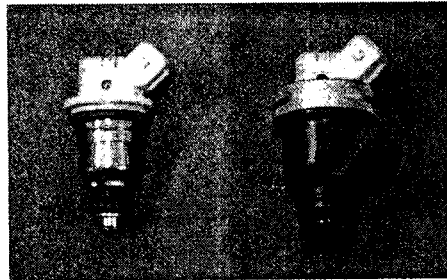


Fig. 3 Photograph of the LPi injector and pod

### 2.4. 엔진제어 시스템

LPG 엔진의 전자제어 시스템은 엔진내 장착된 여러 가지의 센서로부터 입력된 신호를 가지고 기본적인 엔진 흡기량에 대한 LPG 연료의 분사량과 분사기간을 제어하는 별도의 드라이버가 기존 ECU 내에 구성되어져 있다.

LPi 시스템인 경우에는 액상의 연료를 사용하므로 압력 변화에 따른 연료량 보정이 가능해야지만 정확한 공연비 제어를 수행할 수 있다. 본 연구에서는 양산 적용성 및 신뢰성 확보를 위해 기존 상용 가솔린 ECU를 기본 토대로 하여 엔진 범용 제어장치인 SAM2000을 사용해 대형 LPi(NA) 엔진을 전자제어 가능토록 하였다. 엔진내 적용된 센서는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 크게 MAP(Manifold Absolute Pressure) 센서, CPS (Crank angle Position Sensor), Phase 센서, 냉각수온 센서, TPS(Throttle Position Sensor), 노킹 센서 그리고 O2 센서로 구분된다.

### 3. 엔진 성능

#### 3.1. K-1(NA) 엔진의 출력성능

K-1 엔진에 대한 성능실험은 압축비 9.3과 10에 대해서 100% 프로판 연료를 사용하여 실시되었다. 이론공연비 연소를 기본적인 운전방식으로 채택하고 있으며 희박연소와 EGR 효과 등도 함께 고려하고 있다.

압축비 10에서도 노킹마진이 확보됨에 따라 성능은 압축비 9.3보다 높게 나타나며 배기가스 온도 또한 낮게 나타난다. 다음의 Fig. 4에 압축비 10에 대한 WOT 실험결과를 베이스 디젤에 대한 실험결과와 함께 나타내었다.

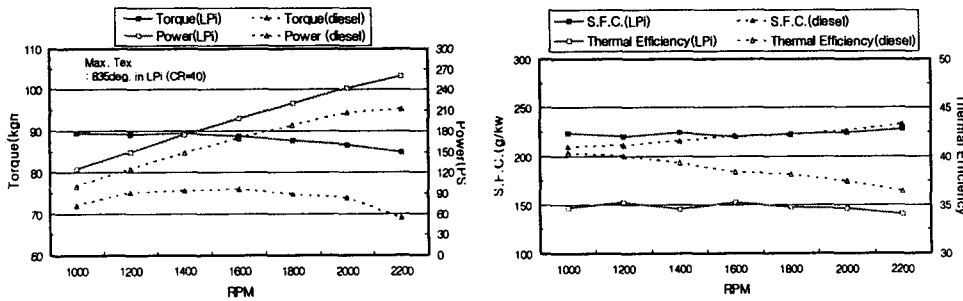


Fig. 4 Comparison of the K-1 LPi and diesel engine performance

출력과 토크 등 성능은 디젤엔진에 비해 약 20% 정도 증가하여 최대출력 260마력, 최대토크 90kgm를 나타내었으며, 특히 대형상용차량에서 중요시 생각하는 저속토크 특성은 오히려 디젤엔진보다도 더 우수한 것으로 나타났다. 연료 경제성과 관련 있는 열효율은 최대출력이 나타나는 2200 rpm까지 약 35%를 유지하고 있어 매우 양호한 것을 알 수 있다.

K-1 엔진에서의 출력성능은 Fig. 5에서와 같이 연료분사 시기에 따라 1.5-2% 정도 향상될 수 있으며, rich burn을 할 경우에는 3.5-4% 정도의 성능향상을 도모할 수 있게 되어 최대토크는 약 93 kgm, 최대출력은 약 270마력까지도 가능하다.

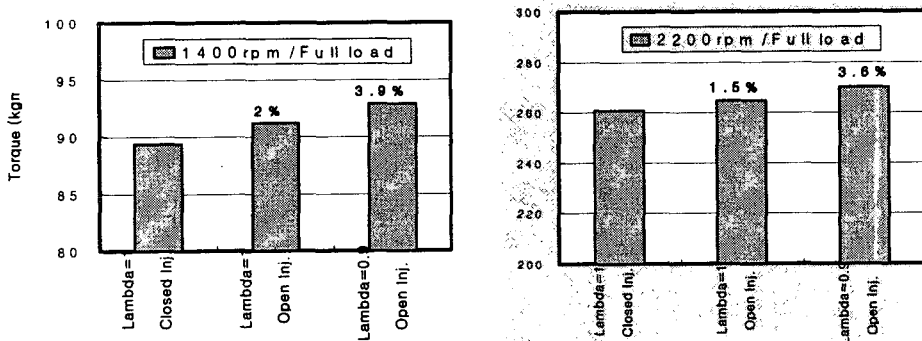


Fig. 5 Available maximum K-1 LPi engine performance

### 3.2. K-1(NA) 엔진의 배기성능

현재는 LPi 엔진의 저배기성을 확보하기 위해 삼원촉매장치에 의한 배기저감 가능성을 실험 중에 있다. Fig. 6에 한 결과로 D-13 mode test에서 가장 비중(factor)이 높은 1320 rpm, full load 조건에서의 촉매변환효율을 나타내었다. 전체적으로 95% 정도의 변환효율을 나타내며 PM은 거의 나오지 않기 때문에 EURO III 규제는 충분히 만족할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

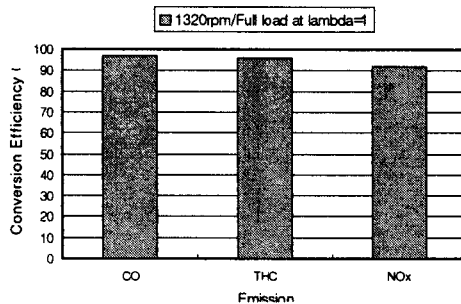


Fig. 6 Catalyst conversion efficiency in K-1 LPi engine

## 4. 결론

자연흡입방식의 LPi 엔진의 경우, 동급 디젤엔진에 비해 출력성능이 약 20% 정도의 향상된 결과를 나타내었다. 또한 저속 토크성능, 연료경제성이 우수하고 유해 배기가스 배출량이 매우 작기 때문에 대형 상용 디젤엔진의 대체 엔진으로서 매우 만족할 만한 결과를 보여주었다.

향후 연구방향은 희박연소와 EGR 효과를 접목할 것이며, 더 높은 출력성능을 위하여 과급방식의 LPi 엔진을 개발해 나갈 예정이다. 이를 위해 흡기포트의 최적화와 LPi 엔진에 적합한 부품들의 개발이 내구성, 양산성, 차량 탑재성 등이 고려되어 진행 중에 있다.

## 후 기

본 연구사업은 LPG 자동차 보급협의회(LG가스, SK가스)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

## 참고 문헌

1. M. van der Steen "Gaseous Fuels: Past Experiences and Future Expectations", TNO-paper VM9608 1996.
2. Bas Hollemans, L. Conti and P. de Kok, "Propane the 'Clean' Fuel as the Next Century for Light and Heavy Duty Vehicles" TNO-Paper VM9504, 1995.

3. World LP Gas Association "Automotive LP gas - Today's Fuel for a Cleaner Tomorrow" 3rd edition, 1998.
4. M. van der Steen, J. de Rijke and J. J. Seppen, "Stoichiometric and Lean Burn Heavy-Duty Gas Engines - A Dilemma between Exhaust Emissions and Fuel Consumption?", TNO-paper VM9605, 1996.
5. Bas Hollemans, M. de Roos, L. Conti and G. Margaria, "Regulated and Non Regulated Emissions of a Commercially Attractive LPG Vehicle", TNO-paper VM9502, 1995.
6. J. A. Caton, M. McDermott and R. Chona, "Development of a Dedicated LPG-Fueled Spark Ignition Engine and Vehicle for the 1996 Propane Vehicle Challenge", SAE 972692, 1997.