

LPG 연료의 공급방식에 따른 대형 단기통 연소엔진의 성능변화에 대한 연구

김창업, 오승목, 강전용
한국기계연구원 LP가스엔진연구사업단

The Performance of Heavy-duty Single Cylinder Engine with Various LPG Fuel Supply Systems

Changup Kim, Seungmook Oh, Kernyong Kang
KIMM, LP Gas Engine Task Force Team

1. 서론

액화석유가스(LPG) 연료는 이미 차량의 대체연료로서 오래 전부터 소개되어 왔으며 많은 연구와 실제 차량에 적용이 이루어지고 있다. 일반적으로 LPG의 연료공급장치는 초창기의 개회로(open loop) 제어의 기체연료 공급방식에서 최근에는 폐회로(closed loop) 제어의 액상 분사방식까지 다양하게 존재하고 있다^[1]. 현재 우리 나라의 경우, 이미 세계적인 LPG의 소비량에도 불구하고 초기 수준을 갓 벗어난 폐회로 제어의 기체 믹서(mixer)를 사용하고 있는 상황이다^[2]. 따라서 연료의 소비량은 세계적인 수준이지만, 차량의 엔진에 적용되는 기술수준은 매우 낙후되어 청정연료인 LPG의 잠재능력을 충분히 이끌어 내지 못한 상황에서 이를 사용하는 실정이다.

유럽이나 선진 여러 국가에서는 이러한 LPG 연료의 청정성을 충분히 이용할 수 있으며 다른 연료공급방식에 비해서 많은 장점을 갖고 있는 최신의 연료공급방식인 액상분사 시스템을 대형엔진에 적용하는 방법에 대한 많은 연구가 활발히 진행 중이며 이미 실용화에 들어가 있는 상황이다^[3,4,5,6,7]. 우리 나라도 낙후된 연료공급방식 및 장치들에 대한 보완으로써, 또한 배기 오염도가 심한 대형 디젤 기관의 대체엔진으로 이러한 시스템의 적극적인 도입과 이를 위한 연구들을 활발히 진행해야 할 필요성이 매우 절실한 것이다.

본 연구는 대형엔진에 LPG의 액상분사장치의 도입을 위한 기초연구로서 단기통 연소엔진을 이용하여 대형엔진에 LPG연료의 적용가능성의 확인과 액상분사 시스템을 포함한 여러 가지 연료공급방식에 따른 엔진성능비교 및 액상분사 방식의 특성파악을 위한 연구를 시행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1 실험엔진 및 장치

본 연구의 실험엔진은 양산 6기통 11리터급 디젤엔진을 LPG용으로 개조하여 사용하였으며, LPG용으로 개조된 사양을 Table 1에 나타내었다. 실험엔진을 LPG 엔진으로 개조하기 위해서 디젤엔진의 인젝터 자리에 점화플러그 어댑터를 설치하여 점화플러그를 설치 할 수 있도록 하였으며 압축비는 기존의 17에서 9.3과 10으로 낮추어 사용하였다. 본 단기통 연소엔진은 기존의 6기통 양산엔진의 5기통을 강철 평판으로 막은 후 1번 실린더만을 사용하였다. 따라서 6기통 엔진에서 1기통만을 사용하므로 정상적인 운전이 불가능하기 때문에 이를 위해서 동력계는 직류형(DC) 150kW급을 사용하였으며 동력계를 미션 없이 엔진과 직결하여 사용하였다.

공기유량측정은 층류 유량계(laminar flowmeter, Meriam 50MY15)를 이용하였고, 기체 LPG의 유량은 Tylan사의 열식 유량계를 액상 LPG의 유량은 전자저울(balance)을 이용하여 측정하였다. 이렇게 구한 공연비는 배기라인에 설치한 UEGO(universal exhaust gas oxygen) 센서에서 확인하였다. 실험엔진이 단기통 엔진이기 때문에 압력 데이터의 처리는 매우 중요하며 이를 위해서 AVL사의 Indiset 620 장치를 사용하여 실시간 데이터 획득 및 처리를 하였고, 압력센서는 S/P형 압력센서(AVL, GU12S)를 사용하였다. 전체적인 실험장치도 및 사진을 Figure 1, 2에 나타내었다.

LPG의 액상분사를 위한 인젝터는 지멘스(Siemens)사의 bottom feed형의 DEKA-II 인젝터(Figure 3)를 사용하였고 이의 제어와 점화시기 조절은 IC5460 장비를 이용하였다. 그 밖의 믹서공급방식은 2리터급 LPG 엔진의 상용 믹서를 사용하였고 가스분사방식은 LPG의 기화된 연료를 직접 흡기 매니홀드에 일정압력으로 분사하게 함으로써 이루어졌다.

2-2 실험방법

엔진의 회전수는 1000 rpm에서 최고 회전수인 2200 rpm까지, 500 rpm씩 변화시키며 실험하였고, 이론공연비 조건에서 엔진의 냉각수 온도는 80℃를 일정하게 유지시켰다. 압력해석은 각 조건에서 300 사이클을 취득하여 해석하였고, 노킹(knocking)현상을 파악하기 위해서 가속도계 센서도 엔진에 설치하여 동시에 측정, 해석하였다.

LPG의 액상유지를 위해서 연료공급라인을 질소가스를 이용해서 LPG의 액화에 필요한 압력이상으로(20 bar) 가압하여 공급하였고, 이를 연료라인의 압력과 온도 측정을 통해 모니터링 하였다. 실험상 아무런 문제점은 발견되지 않았다.

3. 결과 및 고찰

3-1 엔진 안정성 및 Mixer 실험

Base엔진이 디젤용이었기 때문에 이를 SI(spark ignition)기관으로 개조했으며 개조된 엔진의 검증 및 대형엔진에 LPG 연료의 적용을 검토하기 위해서 일반적이고 단순한 LPG 연료공급방식인 믹서를 이용하였다. Figure 4에는 엔진회전수별, 부하별로 측정된 엔진의 대략적인 성능이 나타나 있다. 대형보어의 연소실을 가진 엔진임에도 불구하고 개조된 LPG엔진은 매우 안정적인 연소성능을 보였으며, 배기가스 온도는 2200 rpm에서 800도 이하의 값을 보여주었다. 1500 rpm까지는 고부하 조건에서 발생하는 노킹(knocking)현상으로 압축비 9.3에서도 MBT(minimum advanced for best torque)점화시기를 적용할 수 없었으나 2000rpm 이상의 높은 엔진 회전수 조건에서는 MBT를 확보할 수 있었다.

3-2 LPi 장치 실험

LPG 액상연료 공급을 위해서 액상연료를 사용할 수 있는 사이폰 LPG 용기를 이용하였고 가솔린용 연료펌프로 제작된 외장형 펌프로 연료를 순환시켰다.

액상분사로 인한 흡기부의 온도저하 현상을 알아보기 위해서 Figure 5에 나타난 바와 같이 흡기 매니폴드부에 열전대를 4군데 설치하여 액상분사로 인한 온도변화를 자세히 측정하였으며 결과는 Figure 6에 나타내었다. 일반적으로 액상분사에 의한 기화열 흡수가 없다면 엔진의 연소실부로 가까이 갈수록 혼합기의 온도 증가를 볼 수 있지만 액상분사를 이용하면 인젝터 부근에서 급격한 온도 저감현상이 발생했다. 이러한 낮은 흡입온도는 연소실에서의 초기 혼합기 온도의 저감을 가져올 것이며, 전체 화염온도의 저감으로 인한 약 20도 정도의 배기가스 온도의 저감이 나타났다. 이는 다음 장에서 언급하겠지만 체적효율의 증가도 가져와서 전체적인 출력의 증가 또한 기대할 수 있다. 이러한 액상분사로 인한 온도저감은 노킹과 같은 이상연소 현상에서도 이를 억제시키는 효과를 가져와서 크랭크 각 5도 정도의 진각효과를 보여주었으며 이로서 운전조건을 MBT점화시기에 좀 더 가깝게 운전할 수 있어서 압축비 9.3에서는 MBT 운전도 가능하였다. 효율상승, 배기온도 저감 등의 부수적인 효과도 같이 얻을 수 있었다. 결과는 Figure 7에 나타나 있다.

3-3 LPG 연료공급방식에 따른 비교

앞서 살펴본 믹서와 액상분사 연료공급방식과 더불어 중간단계인 가스분사방식을 상호 비교함으로써 일반적으로 알려진 각 방식의 특징을 살펴보았다. Figure 8에는 이러한 연료공급방식에 따른 엔진 성능특성의 상호비교 및 특징을 나타내었다. 결과적으로 LPi 방식의 흡기온도의 저감효과는 같은 엔진조건에서 믹서방식에 비해서 약 10% 정도의 체적효율의 상승과 출력의 상승을 가져왔으며 이는 액상분사로 인한 낮은 혼합기 온도 때문이었다. 이러한 낮은 혼합기의 온도는 앞서 설명 한대로 10%정도의 출력증가에도 불구하고 배기가스 온도의

저감, 이상연소 현상의 억제 등의 효과도 같이 발견할 수 있었다. 가스분사 방식은 이러한 액상분사와 믹서방식의 중간적인 특성을 보여주었다.

4. 결론

대형엔진에 LPG 액상분사장치를 적용하기 위한 기초연구로서 단기통 연소엔진을 이용한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 대형엔진에의 LPG 연료 적용시 큰 문제점이 발견되지 않았으며, 액상으로 LPG 연료를 공급하는 최신방법을 적용한 결과, 재래식 믹서방식에 비해 기화열로 인한 흡기부의 낮은 온도를 유지할 수 있었다.
2. 액상분사로 인한 낮은 혼합기의 온도는 약 10% 정도의 체적효율의 상승, 출력 상승, 배기가스 온도의 저감, 이상연소 현상의 억제 등의 효과가 있었다.
3. 액상분사 방식은 같은 엔진조건에서 점화시기 및 압축비를 최적화 할 수 있어서 여러 가지 엔진성능에 긍정적인 부가효과도 같이 얻을 수 있다.
4. 인젝터에 의한 정확한 연료량 분사로 공연비 제어도 정확한 액상분사 시스템은 LPG의 청정성을 충분히 이용할 수 있을 연료공급방식으로 판단된다.

5. 후 기

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

6. 참고 문헌

1. M. van der Steen "Gaseous Fuels: Past Experiences and Future Expectations", TNO-paper VM9608 1996.
2. World LP Gas Association "Automotive LP gas - Today's Fuel for a Cleaner Tomorrow" 3rd edition, 1998.
3. 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.
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. B. R. Lutz, R. H. Stanglmaier, R. D. Matthews, J. Cohen and R. Wicker, "The Effects of Fuel Composition, System Design and Operating Conditions on In-System Vaporization and Hot Start of a Liquid-Phase LPG Injection System", SAE 981388, 1998.
7. 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.

Table 1. Specifications of test engine

구분	엔진사양
엔진형식	Inline 6기통 (1기통)
배기량	11.149 L (1858cc)
보어-행정	130 -140
압축비	9.3, 10
연료공급방식	Mixer, Gas분사, LPi

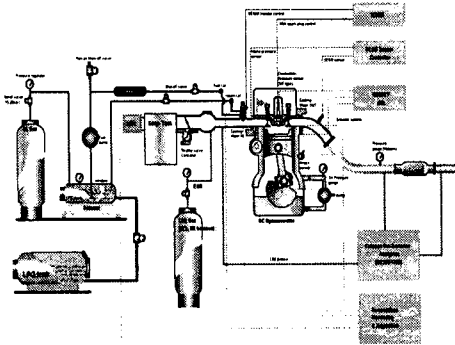


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

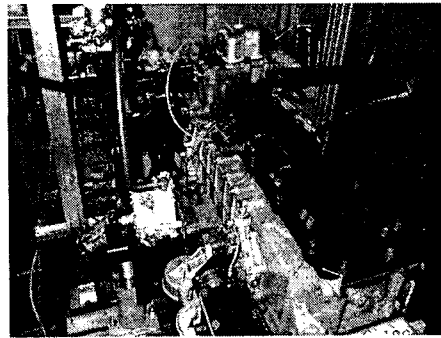


Fig. 2. Photograph of the test engine and measurement systems

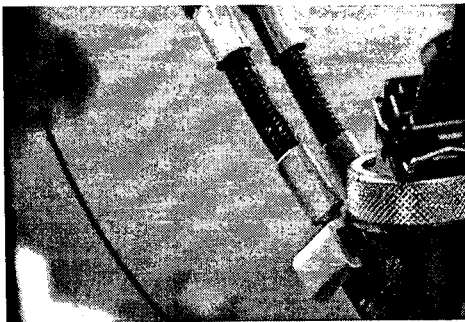


Fig. 3. Photograph of DEKA-II injector

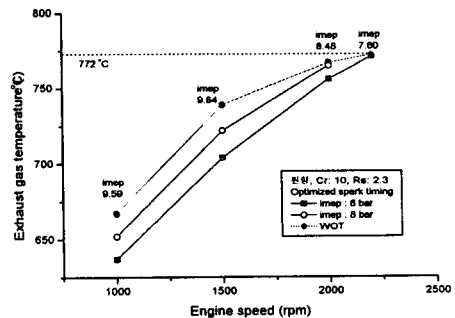


Fig. 4. LPG engine test results with mixer system

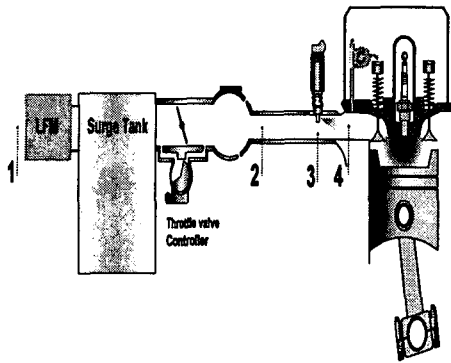


Fig. 5. Measurement positions of air temperature in the intake manifold

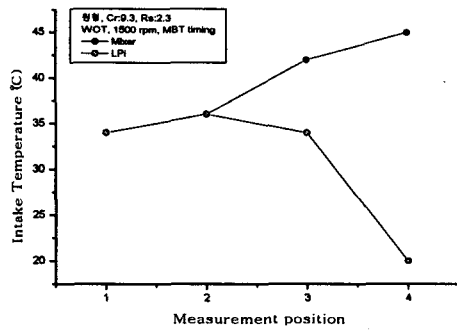


Fig. 6. Temperatures in the intake manifold with LPI and mixer system

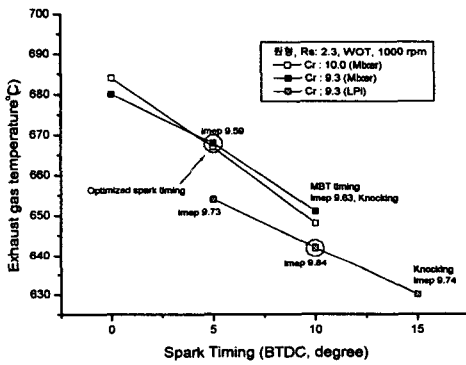


Fig. 7. Engine performance results of LPI and mixer fuel supply systems

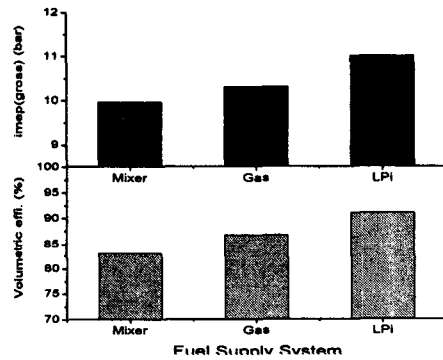


Fig. 8. Engine output and volumetric efficiency with LPG fuel supply systems