

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0082

## 중형상용차량용 LPG엔진의 개발에 관한 연구

### Development of an LPG Engine for Medium-Duty Commercial Vehicles

서 영 호\*, 강 우\*  
Young Ho Seo , Woo Kang

#### ABSTRACT

This study is aimed to develop a proto-type LPG engine for medium-duty commercial vehicles in order to substitute for conventional diesel engine. Recently, it is recognized that diesel engines are main cause for smoke pollution in urban site. So, it is expected to reduce this environmental emission by developing and substituting LPG engine which has the advantage of practical use in a short development period in aspects of infrastructures.

For that, after analysing the specifications and performance characteristics of a base diesel engine, parts of combustion chamber, intake system, fuel supply and ignition systems suitable for LPG combustion were re-designed and manufactured. And an engine controller for fuel supply and ignition distributions was matched by feedback mapping based on the speed-load conditions. The torque and power of LPG engine were increased by 6~12% on the overall driving conditions compared to the base diesel engine, and fuel consumption rate marked the similar level based on the fuel price. Exhaust emissions such as THC, CO, NOx recorded the same order with conventional LPG engine for passenger car.

주요기술용어 : Diesel Engine(디젤 엔진), LPG Engine(엘피지 엔진), Feedback Mixer(피드백 믹서), ECU mapping(ECU 매핑)

#### Nomenclature

CR : compression ratio  
V : volume, cc

#### Subscripts

C : Combustion Chamber  
D : Displacement  
H : Head Clearance

W : Piston Bowl

#### 1. 서 론

디젤 연료를 사용하는 트럭, 버스 등의 중·대형 상용 차량은 최근 도심의 매연 배출의 주요 원인으로 인식되고 있어 이들 유해 오염 물질을 저감시키기 위한 연구가 많은 관심을 끌고 있다.<sup>1)-3)</sup> 이에 따라 본 연구에서는 주요 도시에서의 연료 공급 및 수요성이 확보되어 있는 LPG

\* 회원, 자동차부품연구원

의 연료 공급 및 수요성이 확보되어 있는 LPG 연료를 사용하는 중형 상용 LPG 엔진을 개발하여 실용화시킴으로써 매연 등에 의한 환경 오염 물질의 대폭적인 저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

LPG 연료는 가솔린과 마찬가지로 Otto 사이클에 의하여 연소되며 기존의 가솔린 또는 디젤 연료에 비하여 단위 중량당 발열량이나 옥탄가가 높고 유해 배기가스 청정효과에 유리하다. 그러나 기체 상태로 공급되는 연료의 특징 때문에 낮은 밀도에 의한 충전 효율의 저하로 동일한 배기량을 갖는 엔진에 대한 출력은 가솔린보다 10~20% 정도 떨어지는 것으로 알려져 있다.<sup>4),5)</sup> 또한 다른 대체 연료와 비교하여 LPG는 이미 소형 승용차용 연료로써 오래 전부터 사용되어 왔으며, 따라서 충전 설비 등의 Infrastructure의 구축에 있어 상당히 유리한 특징을 가지므로 단기간의 연구 개발로 실용화를 이룩하기에 큰 장점을 지니고 있다.

본 연구의 내용으로 먼저 개발 대상 디젤 엔진의 성능을 분석한 후, LPG 연소에 적합한 연소실 형상 및 흡기계, 연료공급계, 점화계통의 각 부품을 수정 설계, 제작하여 장착함과 아울러 연료공급 및 점화시기 제어를 위한 엔진 콘트롤러를 ECU의 매핑에 의하여 제작하였다.

이를 위하여 연소실 형상 변경을 위한 피스톤 설계 및 가공을 시행하여 엔진에 장착하였고, 엔진 제원에 적합한 흡기계 및 연료공급계 부품의 설계 및 제작 작업을 수행하였다. 아울러 실린더 헤드를 수정 설계 및 가공하여 점화플러그를 장착하였고, 분사펌프기에 배전기를 체결함으로써 캠축과 동일한 회전각을 유지하도록 하였다.

이상과 같이 제작된 시제품 LPG 엔진을 대상으로 출력, 배기 등의 성능시험을 실시한 결과 토크 및 출력이 베이스 디젤 엔진 대비 각각 13% 및 6% 정도 상승하였으며, 기존의 승용차용 LPG 엔진과 동등 수준의 배기 성능을 얻을 수 있었다.

## 2. LPG 엔진의 요소부품 설계 및 제작

### 2.1 개발대상 엔진 선정 및 제원

본 연구에서는 2.5톤 트럭 및 중형 버스에 탑재되는 직접 분사식 디젤 엔진을 토대로 하여 LPG 연소화하는 것에 개발의 주안점을 두었으며, 연소실 내에서의 화염 전파의 용이성과 연료 및 점화계통 부품의 구매 또는 제작을 고려하고 베이스 디젤 엔진과 동급 이상의 출력을 얻을 수 있는 기술을 확립하는 것을 본 연구의 목표로 삼았다.

LPG 또는 CNG 엔진의 개발 사례들을 살펴보면 O<sub>2</sub> 피드백에 의한 공연비 제어의 채용으로 완전 연소에 의한 연비 및 유해 배기 저감을 꾀하고 있으며, 솔레노이드 밸브가 장착된 믹서 또는 가스 인젝터를 장착하였고 피스톤 크라운부의 형상을 변경함으로써 최적의 압축비를 설계한 것이 특징이다.<sup>1),2),4)</sup> 실린더블럭과 헤드 사이의 가스켓 체적을 증가시켜서 압축비를 변경할 경우 스퀴시 면적의 감소 등으로 인하여 실린더내의 열부하나 HC, CO 배출량이 증가할 우려가 있는 것으로 보인다. 또한 대부분의 경우 디젤 엔진의 연료분사노즐 위치에 점화플러그를 장착하고 연료분사 펌프 위치에 배전기를 장착한 것이 주종을 이룬다.

Table 1 Specifications of base diesel engine

Item	Specification
No. of Cylinder	4
Aspiration	NA
Bore × stroke (mm)	104 × 105
Disp. Vol. (cc)	3,568
Compression Ratio	17.5
Valve	2
Pmax (ps/rpm)	100/3400
Tmax (kg·m/rpm)	26.0/2000
Mean piston speed(m/s)	11.9
BSFC min.(g/psh/rpm)	163/1200
Idle speed(rpm)	680

LPG 엔진을 개발하기에 앞서 먼저 개발 대상 엔진의 성능을 평가하기 위하여 기존의 베이스 디젤 엔진을 대상으로 엔진 동력계 상에서 출력 성능시험을 실시하였다. 시험 조건으로는 부분 부하 및 전부하시의 회전수 변화에 따른 연료소비율, 토크, 마력, 흡입 공기량, 스모크 배출량 등을 측정하였다. Table 1은 베이스 디젤 엔진의 주요 제원을 나타낸 것이다.

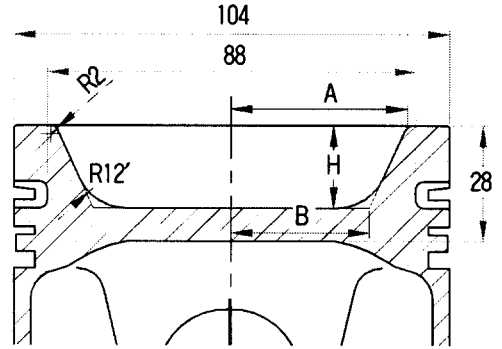
### 2.2 연소실 형상 설계

불꽃 점화에 의한 Otto 사이클의 LPG 연소에 적합한 압축비는 보통 8.5:1~10.0:1 정도로 알려져 있다. 따라서 개발대상 디젤 엔진의 높은 압축비를 수정할 필요가 있으며, 이를 위하여는 압축상사점에서의 피스톤 상부와 실린더헤드 사이의 연소실 체적이 증가되어야 한다. 본 연구에서는 압축비 변경을 위하여 피스톤 크라운부의 보울 형상을 수정, 설계하였다. 보울의 형상과 압축비와 응력을 최소화하기 위하여 Dog-dish형으로 선정하였으며, 보울의 크기 및 스커트의 두께 등을 수정하기 위하여 적용된 디젤 엔진의 연소실 제원은 다음과 같이 계산된다.

- 압축비 :  $CR = \frac{V_C + V_D}{V_C} = 17.5$
- 행정 체적 :  $V_D = 3568cc/4cyl. = 892.0cc$
- 연소실 체적 :  $V_C = V_W + V_H = 54.1cc$
- Piston bowl 체적 :  $V_W = 37.43cc$
- Head Clearance 체적 :  $V_H = 16.63cc$

따라서 압축비에 따른 연소실 체적(cc)의 변화는 압축비 0.1당 연소실 체적 약 1.2cc에 해당한다. Fig. 1은 압축비를 9.5:1에서 9.8:1로 0.1 단위로 변화시켜 가면서 계산된 피스톤 상부 형상의 근사 설계치를 나타낸 것이다. 이상과 같은 계산을 바탕으로 하여 압축비를 9.8:1로 정하고 피스톤 크라운의 스커트 부의 두께를 최대한 허용하는 한도 내에서 제작이 가능한 피스톤을 설계

하였으며, 이를 바탕으로 Al 합금(AC8A)을 재질을 사용하여 가공 공차를 고려한 LPG 엔진용 피스톤을 제작하였다.



CR	Vw	Vc	A	B	H	R2	R12'
9.5	88.3	104.9	42	33	20	5	10
9.6	87.1	103.7	42	33	20	2	12
9.7	85.9	102.5	42	32	20	5	10
9.8	84.7	101.4	42	32	20	2	12

Fig. 1 Design of piston bowl

### 2.3 연료공급장치

현재 국내에서 생산되고 있는 LPG 연료 시스템은 액·기상 연료 공급용 솔레노이드 밸브, 액상 연료를 기화하여 감압시켜 주는 베이퍼라이저, 벤추리의 압력차와 피드백 솔레노이드 밸브의 제어에 의하여 흡기관에 연료를 공급해 줌과 동시에 스로틀 바디와 일체형으로 구성된 믹서 유닛 등이 있다. 여기서 대부분의 연료공급계 부품들은 엔진의 출력, 배기량 등의 제원에 크게 상관없이 호환이 가능하므로 기존의 양산용 제품을 적용하기로 하고, 믹서는 엔진의 운전조건에 필요한 연료의 유량을 공급해야 하므로 주연료관 내의 제트 노즐과 믹서의 벤추리 형상 등을 수정하여 제작하였다.

믹서 유닛에서의 연료 공급은 엔진의 운전 조건에 따라 다소 변동이 있지만, 일반적으로 엔진 연소에 필요한 연료의 80% 정도를 벤추리의 차압에 의하여 메인 노즐을 통해 기계식으로 공급하며, 10~20%는 ECU의 제어에 의한 피드백

슬레노이드 밸브를 통하여  $\lambda=1$ 을 유지하도록 미세 조정되어 공급하게 된다.

또한 공회전 운전시에는 스로틀 밸브 부근에 장착된 별도의 공회전 연료공급 노즐을 통하여 공기와 연료가 바이패스되어 공급되는데, 이 때에도 피드백 슬레노이드 제어에 의하여 연료가 추가적으로 공급된다. 베이퍼라이저에는 액상 연료의 원활한 기화를 위하여 온수가 공급되며, 연료의 공급압을 일정하게 유지하기 위하여 흡기관의 부압과 연결된다. 또한 엔진의 시동시에 농후한 혼합기를 공급하기 위하여 시동 슬레노이드가 장착되어 있다.

#### 2.4 전기점화장치

최근의 MPI 가솔린 엔진에서는 엔진의 ECU에 매핑된 최적의 점화시기를 산출하여 직접 점화 코일에서 점화플러그로 점화에너지를 공급해주는 DLI 시스템이 주류를 이루고 있다. 그러나 이들 대부분의 경우 엔진의 압축 TDC 뿐만 아니라 흡배기 TDC에도 점화가 이루어져서 동일한 실린더 내에서 한 사이클에 2회의 방전이 일어나게 된다. 이러한 방식은 가솔린 연료에 비하여 화염 전파속도가 지연되는 LPG 연소에 있어서는 흡배기 과정의 점화에 의하여 역화가 일어날 가능성을 유발하게 되어 최적의 엔진 점화시기가 매핑되지 않을 상태에서는 역효과가 나타날 수 있다.

본 연구에서는 ECU의 맵 데이터에 의해 LPG 엔진의 점화시기를 제어하기 위하여 전자식 배전기와 물드형 점화 코일을 선정하여 장착하였다. 전자식 배전기에는 ECU 내에 저장된 진각 맵에 의하여 점화시기를 지정해 주면 점화플러그로 통전되게 된다. 여기에는 캠 축의 회전각을 인식할 수 있는 포토 다이오드 방식의 캠포지션 센서가 장착되어 있는 것이 특징이다.

한편 점화플러그는 LPG 엔진의 운전에 의한 플러그 팁의 화염온도 및 pre-ignition 테스트를 거쳐서 LPG 연소에 적합한 플러그 사양을 선정

하였다. 특히 LPG 연소시 발생하는 고온의 화염 온도와 장착부위의 여유공간 등을 고려하여 열가가 다소 냉형이면서 체결너트가 소형인 저항타입의 플러그로 선정하였다.

디젤 연료분사노즐 위치에 점화플러그를 장착하기 위하여 실린더헤드의 노즐 홀을 수정 설계한 후 보링 및 탭핑 가공하였다. Fig. 2는 실린더헤드의 단면도를 나타낸 것으로 가공전의 연료분사노즐 홀의 형상과 가공후의 점화플러그 장착홀을 치수와 함께 보여준다.

또한 연료분사펌프 위치에 배전기를 장착하기 위하여 이들 두 가지 요소를 지지하고 체결하기 위한 하우징을 Fig. 3과 같이 설계하고 가공하여 엔진에 부착하였다. 베이스 디젤 엔진은 기어의 잇수(Z)가 46개로 같은 분사펌프기어가 아이들러에 의해 캠샤프트 기어와 동일한 회전각을 이루면서 회전하고 있다.

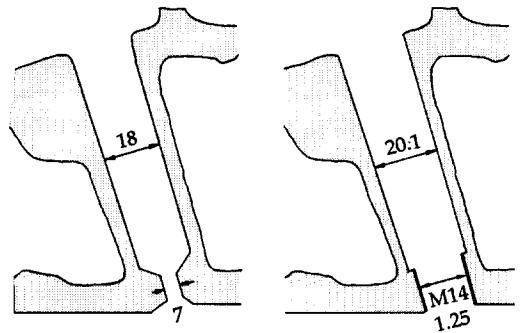
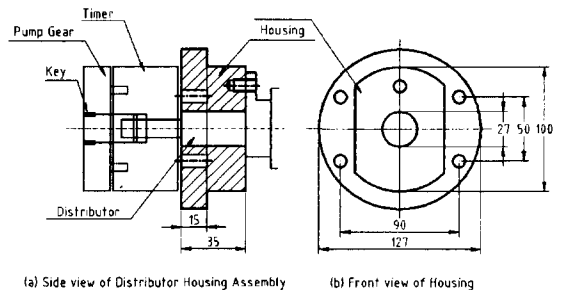


Fig. 2 Cross-sectional diagram of plug hole



(a) Side view of Distributor Housing Assembly (b) Front view of Housing

Fig. 3 Drawing of distributor housing

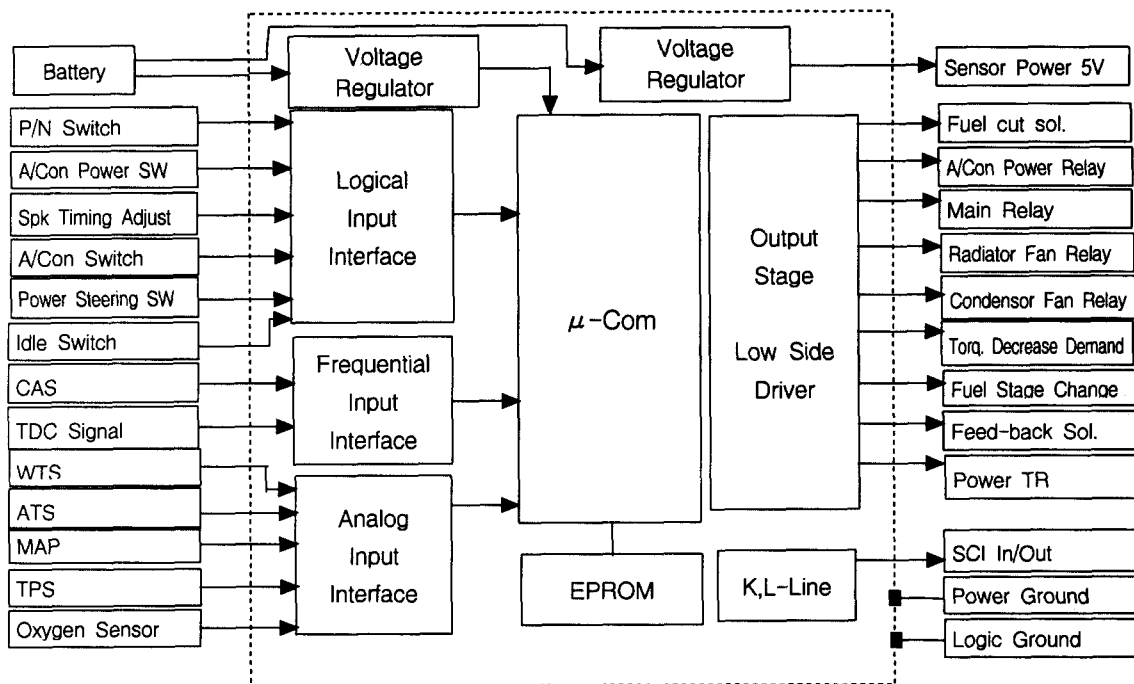


Fig. 4 Block Diagram of ECU and I/O interface

## 2.5 LPG엔진용 ECU

공회전, 연료 공급 및 점화 진각 등의 정밀 제어를 위한 엔진 콘트롤러는 산소센서의 피드백에 의한 믹서의 연료 유량과 배전기의 점화 시기를 제어하기 위한 ECU를 선정하고 제작하였다. 아울러 본 연구에서 개발하고자 하는 LPG 엔진의 최적 운전 제어를 위하여 각각의 필요 부품들의 사양 및 신호 체계를 분석하여 기존의 콘트롤 로직을 보정하고 시작품 엔진의 성능시험 운전을 실시하여 엔진과 매칭되도록 하였다.

LPG 엔진용 ECU는 Texas Instruments社의 TMS 374 Series를  $\mu$ -Processor로 내장하고 있는 현용 LPG 승용차용 ECU를 토대로 하여, 엔진의 부하와 회전수 변화를 기준으로 17×17개의 적용 가능한 운전 영역에 대하여 F/B 솔레노이드의 Duty 제어 및 점화 시기 제어를 위한 최적의 매핑 데이터를 취득한 후 ROM에 입력하여 제작하였다.

Fig. 4는 ECU의  $\mu$ -Processor 및 주변 I/O 신호들의 Block Diagram을 나타낸 것이다.

ECU의 매핑 과정으로는 먼저 Open Loop 제어에 의하여 부분 부하 및 전부하 시험을 통해 엔진의 회전수를 기준으로 Brake-Point를 설정한 다음 엔진의 회전수와 MAP 센서의 부압(부하)이 중속 부분 부하인 조건 및 공회전 조건에서 F/B 솔레노이드 밸브의 Base Duty를 제어 가능 범위의 중간치로 제어하면서  $\lambda=1$ 이 유지 되도록 기계적인 연료공급을 조정한다. 이것은 대부분의 운전 영역에서 피드백 제어가 이론 공연비 근방에서 충분히 작동할 수 있는 영역을 확보하기 위한 것이다.

그리고 나서 17개의 회전수(Brake-Point)와 17개의 부하 영역 각각의 구간에 대하여  $\lambda=1$ 이 유지되는 최적의 연료 공급 제어 출력값을 취득하고, 또한 각각의 운전 조건에서 노킹이 생기지 않으면서 최고 토크를 나타내는 점화 시기를 MBT로 설정한다. 실제 ECU 매핑 데이터로는

안정된 엔진의 운전을 위하여 노킹이 시작되는 점화 진각값에서 4~6° CA을 지각(retard)시킨 데이터를 입력하였다. 이러한 맵 데이터를 바탕으로 하여 ECU는 공회전을 비롯한 대부분의 부분 부하 운전 영역에서는  $\lambda=1$ 이 되도록 제어하며, 전부하 조건에서는  $\lambda=0.87\sim 0.90$ 이 되도록 제어하게 된다.

그 밖에 냉각 수온, 흡기온, 가감속 조건 등의 변화에 따른 연료 및 점화시기를 보상하기 위한 보정 데이터를 설정하였으며, 공회전 안정을 위하여 에어킨, 배터리 전압 등의 신호에 따른 보정값도 입력하였다. 한편 엔진의 과운전 방지를 위하여 회전수가 3,580rpm이 넘을 경우 연료를 차단할 수 있도록 Fuel-Cut 조건을 설정하였다.

### 3. 중형상용 LPG엔진의 제작 및 성능 시험

#### 3.1 LPG 시작품엔진의 제작

이상과 같은 요소 부품의 설계 및 가공을 바탕으로 하여 본 연구에서 개발하고자 하는 LPG 엔진의 시작품을 제작하였다. 먼저 개발 대상 디젤 엔진을 분해한 후 압축비 및 연소실 형상을 변형하기 위해 수정, 가공된 피스톤을 장착하여 조립하였다. 또한 흡입 매니폴드 입구에 플랜지를 부착하여 믹서, 스로틀바디 등의 연료 공급 장치를 장착하였고, 실린더헤드의 연료 분사노즐 홀과 엔진 측면의 연료분사펌프 위치에 점화플러그와 배전기를 각각 부착하고 점화 코일 등을 추가함으로써 점화 장치를 완성하였다.

또한 엔진의 운전 제어를 위한 ECU와 함께 각종 센서 및 액츄에이터, 하니스 등을 장착하였다. 특히 O<sub>2</sub> 센서, MAP 센서, 흡기온도 센서, 냉각수온 센서 등이 추가적으로 설치되었고, 프런트 배기파이프 후단에 3원 촉매를 플랜지 가공하여 장착하였다. 한편 엔진의 연소 온도를 저하시켜 노킹을 억제하고 NO<sub>x</sub>를 저감시키기 위하여 적용되는 EGR은 본 연구의 기본적인 매칭 조건에는 포함시키지 않았다.

이들 요소 부품들은 가능한 한 국내 자동차부품 제조업체의 사양으로 선정하여 제작함으로써 추후 실용화 단계에서 적극적으로 활용될 수 있도록 하는데 주안점을 두었다.

본 연구에서 제작된 LPG 엔진은 현용 중형 디젤 엔진을 토대로 하기 때문에 차량 상태에서 필요한 전장 부품을 비롯하여 스타터 모터와 알터네이터 등이 2개의 12V 배터리를 직렬로 연결한 24V 전원을 사용하게 된다. 그러나 LPG 연소를 위하여 추가된 ECU 및 각종 센서, 액츄에이터, 점화 장치 등은 12V 전원용으로 제작된 부품들을 사용하였으므로 이들에 대한 별도의 전원이 공급될 필요가 있다.

이를 위하여 2개의 배터리로부터 공급되는 24V 중 12V 전원을 별도로 릴레이를 연결하여 ECU 등 필요 부품에 공급하도록 하고, 시동시 필요한 전원은 직접 공급되도록 하였다. 하지만 이 경우 각각의 배터리로부터 소요되는 전류량이 달라지므로 배터리의 충방전 효율이 저하되는 단점이 있다. 따라서 향후 차량 운전을 위한 실용화 단계에서는 DC-DC Converter 등을 장착함으로써 12V 전원 공급의 안정화가 필요할 것으로 판단된다.

#### 3.2 엔진 성능시험장치 구성 및 방법

Table 2 Specifications of engine dynamometer

형 식	Eddy Current type (AVL)	
Load Cell	ZOLLNER Electric type	
Controller	PUMA 5.52 System	
성 능 사 양	출 력	240kW max.
	회전수	10,000rpm max.
	토 르 크	600Nm max.

Table 3 Specifications of exhaust & A/F analyser

배 기 분석기	모 델	Horiba Mexa9100(2300 Exell II)
	기 능	THC, CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>2</sub> 측정
A/F Analyser	모 델	HORIBA MEXA 110- $\lambda$
	기 능	O <sub>2</sub> , A/F, $\lambda$ 측정 (0.65 < $\lambda$ < 1.45)

LPG 엔진의 출력 및 배기 성능 시험을 실시하기 위하여 엔진 동력계 상에 설치하고 각종 계측장비들을 통하여 엔진의 운전 중에 나타나는 여러 가지 특성치들을 측정하였다.

엔진의 운전 및 성능 계측을 위한 주요 장비로는 엔진 동력계와 콘트롤러, 배기 가스 분석기, A/F Analyser 등으로 구성되며, 그 주요 제원은 Table 2~3과 같다. Fig. 5는 엔진 동력계 상에 설치된 시작용 LPG 엔진의 실물 사진이고, Fig. 6은 LPG 엔진의 성능 측정을 위하여 설치된 동력계 실험 장치의 구성도이다.

시작용 LPG 엔진의 성능 시험 방법으로는 먼저 스톱 밸브 전개(WOT) 조건에서 전부하 출력 성능을 측정하였다. 이때 냉각수 및 윤활유 온도를  $80^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ 로 일정하게 유지한 상태에서 엔진의 회전 속도를 1,000rpm에서부터 3,400rpm 까지 200rpm 단위로 변화시켜 가면서 최고 토크 및 최고 출력 등을 측정하였으며, 이를 바탕으로 1/4 Load, 1/2 Load 조건에서의 배기가스 배출량도 측정하고 이 때에 나타나는 배기 온도, 흡기

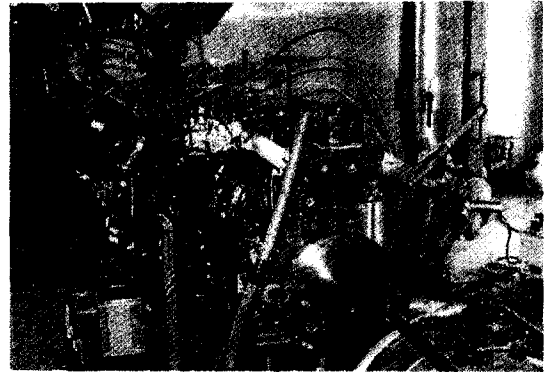


Fig. 5 Photograph of prototype LPG engine mounted on the dynamometer

온도, 오일 온도, 냉각수 온도, 흡기 압력, 오일 압력, 배기 압력 등을 기록하였다.

이와 더불어 측류 유량계를 이용한 흡입 공기 유량 및 블로바이 가스량도 함께 측정하였다. 또한 전용 장비가 없어 정밀한 평가는 불가능하지만 연료소비량을 비교하기 위하여 LPG 연료탱크의 중량의 변화를 측정해 보았다.

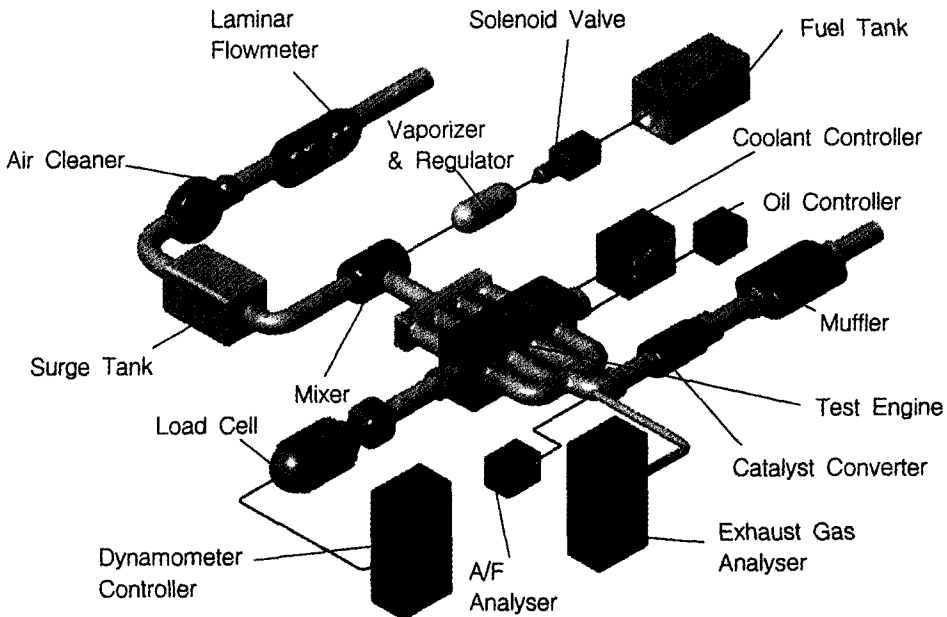


Fig. 6 Schematic diagram of engine test apparatus

#### 4. 성능 시험 결과 및 고찰

Fig. 7은 본 연구에서 LPG 엔진으로 개조하기 위하여 적용된 베이스 디젤 엔진의 출력, 토크 및 연료소비율 성능 곡선을 전부하 조건에서 회전 속도의 변화에 따라 나타낸 것으로써 최대 토크와 최대 출력은 각각 245.0Nm @1800rpm, 91.6PS @3000rpm이고, 최저 연료소비율은 158.5g/PSh @1400rpm 을 기록하였다.

Fig. 8은 LPG 엔진의 출력 성능 시험 결과를 나타낸 것으로써, 각각의 요소 부품들을 설계 제작하고 ECU 매핑에 의하여 연료공급 및 점화시기 제어가 이루어지면서 운전되는 시작품 엔진을 WOT 조건에서 측정된 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 최대 출력과 토크가 각각 277.0Nm @2000rpm과 97.0PS @3000rpm을 나타내어, 디젤 엔진의 경우에 비하여 최대 토크는 약 13% 상승하였으며 최대 출력은 약 6% 정도 상승하는 경향을 보임으로써 본 연구에서 개발된 LPG 엔진의 만족스러운 결과를 입증해 주고 있다. 한편 최저 연료소비율은 205g/PSh @2000rpm을 기록하였으며 전반적으로 디젤 엔진에 비하여 10~20% 정도 상승하였다.

Fig. 9는 디젤 엔진의 성능 시험에서 측정된 배기 온도와 배기 압력, 스모크 배출량을 표시한 것이다. 배기 온도의 경우 배기 매니폴드 후단으로부터 약 20cm 지점에서 측정된 값으로 최고 680°C 정도인 것으로 나타났다.

Fig. 10은 LPG 엔진의 WOT 운전 중에 측정된 배기가스 온도, 윤활유 온도, 그리고 점화 진각도를 나타낸 것이다. 배기 가스 온도의 경우 약 730°C 정도로 디젤 연소에 비하여 약 50°C 이상 높게 나타나고 있는데, 이는 팽창 행정에서의 연소 기간이 지연되어 나타나는 것으로 추정되며, 디젤 엔진에서는 장착되지 않았던 촉매에 의한 배압의 상승과 연소실 형상 변경의 한계치 때문에 압축비가 다소 높은 점 등도 일부 원인인 것으로 판단된다.

이러한 배기 온도의 상승은 점화플러그, 흡배기 밸브 등의 열부하 측면에서 무리를 줄 수 있으며, 배기 가스 중의 NOx 배출을 증가시킬 수 있기 때문에 향후 실용화를 위한 내구성 관점에서 신중히 검토되어야 할 필요가 있다. 본 실험 결과의 경우에 나타난 배기 온도 상승은 EGR의 도입 등으로 어느 정도 완화될 수 있을 것으로 보인다.

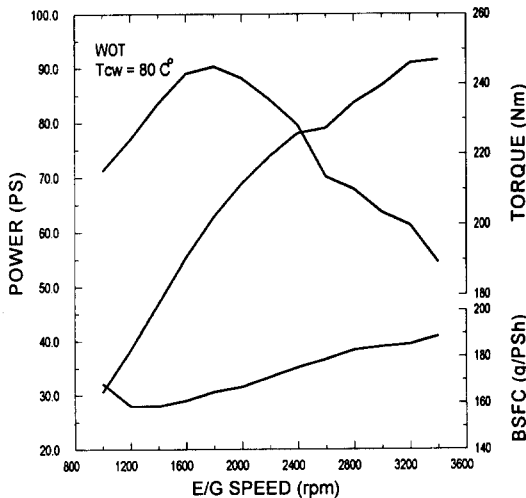


Fig. 7 Performance curve of base diesel engine

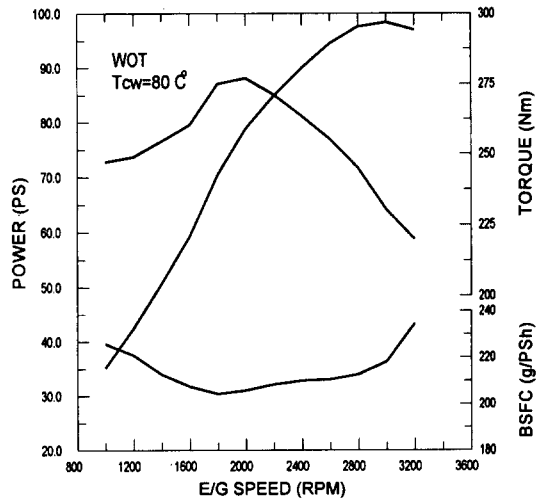


Fig. 8 Performance curve of proto-LPG engine



Fig. 11은 WOT 조건에서 성능 시험 중에 측정된 블로바이 가스량과 흡입 공기 유량을 디젤 엔진 및 LPG 엔진에 대하여 비교한 결과이다. 여기서 흡입 공기 유량은 증류 유량계로 측정된 값으로써 엔진의 충전 효율을 나타내게 된다.

LPG 엔진의 경우 디젤 엔진에 비하여 10~20% 정도 다소 낮게 나타나는데 이것은 믹서 벤츨리부의 흡입 판로 면적 감소에 의한 영향과 혼합기 중에 기체 연료가 점유하는 양만큼 공기량이 감소하는 원인 때문인 것으로 분석된다. 한편 디젤 엔진의 경우 저속 영역에서 흡입 공기량이 오히려 증가한 것은 유량계를 장착하기 위하여 설치된 흡기관로 내의 맥동이나 엔진 운전의 불안정 등으로 야기된 실험 오차가 원인인 것으로 추정된다.

Fig. 12~13은 전부하 및 부분부하 조건에서 촉매 전단 및 후단에서 측정된 유해 배출가스 농도를 그래프로 나타낸 것이다. 본 LPG 엔진의 경우 공회전을 비롯한 대부분의 부분 부하 운전 조건에서는  $\lambda=1.0$ 로 제어되나, WOT 운전에서는 보다 높은 출력력을 얻기 위하여  $\lambda=0.89$  정도의 다소 농후한 공연비에서 운전되도록 제어되고 있으므로 그 측정 결과의 비교 및 평가가 쉽지는 않지만, ECU 매핑 과정에서 계측된 값을 살펴보면 기존의 택시 또는 승합차용 LPG 엔진이나 가솔린 엔진에서 나타난 결과와 유사한 분포를 보이고 있다.

전부하 운전에서는 THC 배출량이 촉매 유무에 따라 차이가 없지만 1/4부하의 경우 두드러지게 저감되는 것을 볼 수 있다. CO는 촉매가 장착된 경우와 장착되지 않은 경우를 각각 CO\_H(%)와 CO\_L(ppm)로 표시하였는데 전부하 조건에 비하여 부분 부하의 경우 이론공연비 부근의 촉매 반응에 의한 저감 효과가 명확하게 나타난다.

한편 NOx 배출량은 부하 조건에 따른 차이가 그다지 보이지 않으며 저속 영역에서는 오히려 부분 부하일 때 더 높게 나타나는데 이는 화염 전파 속도의 지연에 따른 높은 배기 온도 때문인 것으로 추정된다.

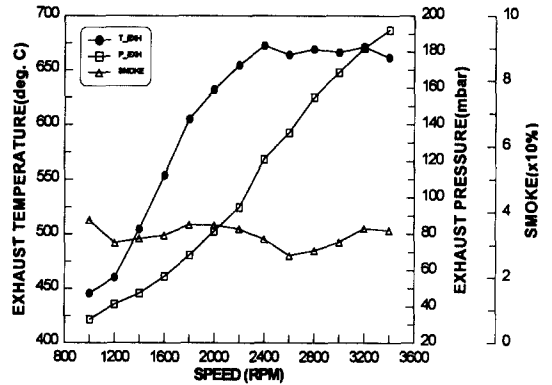


Fig. 9 Exhaust temperature, pressure and smoke concentration of base diesel engine (WOT)

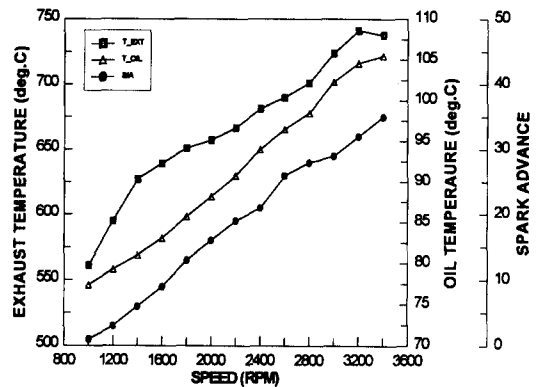


Fig. 10 Exhaust temperature, oil temperature and spark advance of proto-LPG engine (WOT)

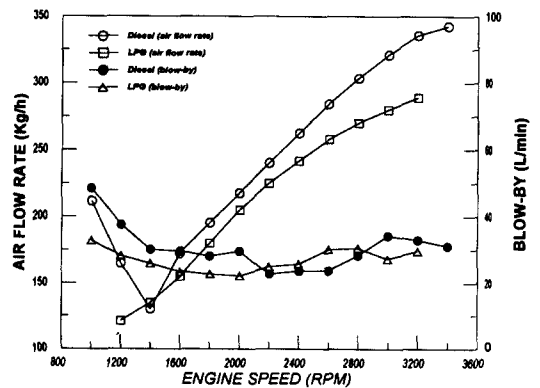


Fig. 11 Comparison of air flow rate and blow-by gas between diesel and LPG engine (WOT)

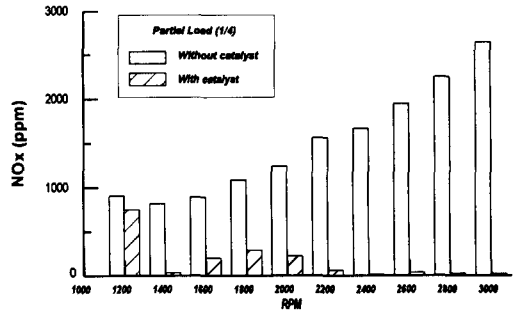
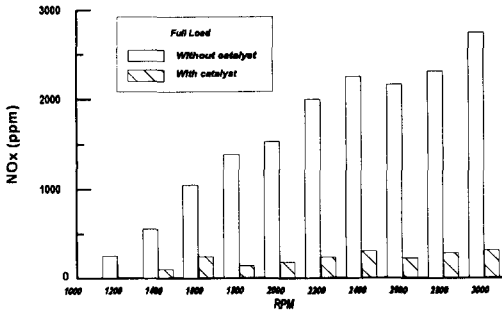
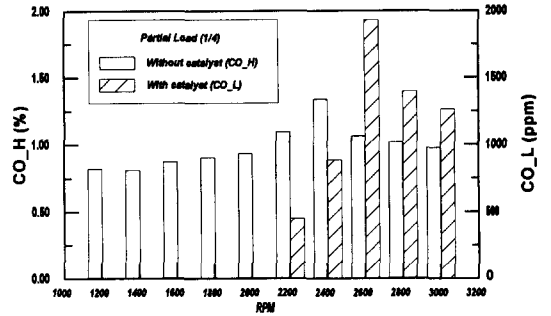
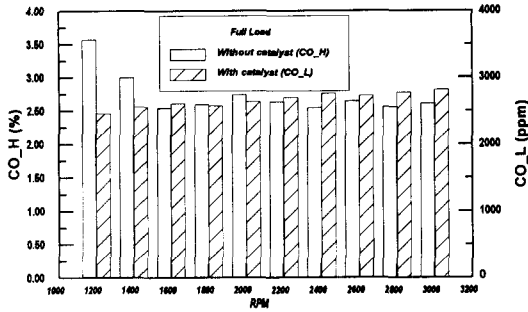
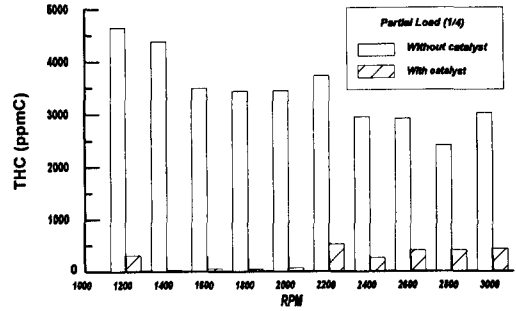
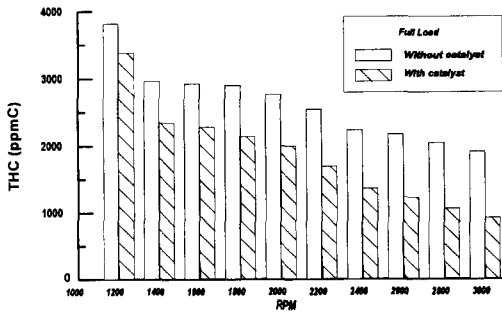


Fig. 12 Exhaust gas concentrations of proto-LPG engine (at full load condition)

Fig. 13 Exhaust gas concentrations of proto-LPG engine (at 1/4 Load condition)

#### 4. 결 론

디젤 연료를 사용하는 중형 상용 차량을 대체하기 위한 LPG 엔진의 개발에 관한 연구를 수행함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 기존의 상용 차량용 디젤 엔진(Vd=3,568cc, CR=17.5, b×s=104×105mm)을 바탕으로 하여 연소실, 연료 및 점화 공급 시스템 등의 요소 부품들을 설계, 제작하여 LPG 연소에 적합한 시차품 엔진을 개발하였다.

2) 크라운부의 형상을 변형하여 압축비와 출력을 최소화하기 위한 dog-dish형 피스톤을 설계, 제작하였으며, 디젤연료 분사노즐 홀 위치에 점화플러그를 장착하기 위하여 실린더헤드를 수정 가공하여 시차품 엔진에 장착하였다.

또한 분사펌프기어에 배전기를 부착하기 위하여 하우징을 설계, 가공하였다. 한편 점화플러그 타입의 온도 측정 및 Pre-Ignition Test를 통하여 LPG 연소의 특성에 적합한 플러그의 사양을 선정하였다.

3) LPG 연소에 필요한 연료를 공급해 줌과 동시에 공연비 제어를 위한 O<sub>2</sub> 피드백 믹서, 베이퍼라이저, 솔레노이드 밸브 등의 LPG용 연료 공급 장치의 연료 유량 특성 등을 최적화시켜, 개발 대상 엔진에 적합한 사양으로 제작하였다.

4) 개발 대상 LPG 엔진의 운전에 적합한 ECU를 점화 시기 및 연료 공급 제어의 매핑에 의하여 제작하였다. 이를 위하여 O<sub>2</sub> 센서, MAP 센서 등을 장착하고 엔진 부하 및 회전수 변화를 기준으로 17×17개의 운전 영역에 대하여 연료의 피드백 Duty 제어 및 점화 진각도의 매핑을 실시하였다. 또한 냉각 수온, 흡기 온도에 대한 보정 뿐만 아니라, 배터리 전압, 에어컨 가동여부에 따른 공회전 제어 기능도 내장하였다.

5) 제작된 중형 상용 LPG 엔진의 배기, 연비, 출력 등의 성능 시험을 실시한 결과 베이스 디젤 엔진과 비교한 최대 토크는 13%, 최대 출력은 6% 정도 상승함으로써 상당히 우수한 성능을 나타내었다. 또한 WOT 조건에서 근사적으로 측정해본 연료소비율은 디젤 엔진 대비 단위 중량당 연료소비가 10~20% 정도 증가하였는데 이를 단위 가격당으로 비교한다면 디젤 엔진과 동등 수준으로 평가된다. 그리고 유해 배기 가스 배출량은 기존의 승용차용 LPG 엔진과 동등 수준으로 CO, HC, NO<sub>x</sub>가 배출되는 것을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 에너지자원기술개발지원센터에서 지원하는 에너지절약기술개발과제의 일환으로 수행된 내용의 일부임을 밝힙니다.

## 참 고 문 헌

- 1) 太田 勇, 村田 千岳, 伊藤 英二, "LPG 商用車(3t)用 엔진의 開發", 自動車技術, Vol.51, No.1, 1997.
- 2) Bass E. Bailey, "LPG Conversion and HC Emissions Speciation of a Light-Duty Vehicle", SAE Paper No.932745, 1993.
- 3) Christopher S. Weaver, "Natural Gas Vehicles - A Review of the State of the Art", SAE Paper No.892133, 1989.
- 4) Timothy T. Maxwell and Jesse C. Jones, "Alternative Fuels - Emissions, Economics, and Performance", SAE Int. pp.75~132, 1995.
- 5) Richard L. Bechtold, "Alternative Fuels Guidebook", SAE Int. pp.18~28, 1997.