

LPG/DME 혼합연료를 사용하는 직접분사식 디젤 엔진의 부분부하 성능 및 배기특성에 관한 연구

이 석 환¹⁾ · 오 승 묵¹⁾ · 최 영¹⁾ · 조 준 호²⁾ · 차 경 옥²⁾

한국기계연구원¹⁾ · 명지대학교 기계공학과²⁾

Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Operated with LPG/DME Blended Fuel

Seokhwan Lee^{*1)} · Seungmook Oh¹⁾ · Young Choi¹⁾ · Junho Cho²⁾ · Kyoungok Cha²⁾

¹⁾Engine Research Team, KIMM, 171, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-338, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Gyeonggi 449-728, Korea

(Received 29 January 2009 / Accepted 8 April 2009)

Abstract : In this study, LPG-blended DME fuel was experimentally investigated in CI(compression ignition) engine. In particular, performance, emissions characteristics (including hydrocarbon, CO, and NOx emissions), and combustion stability of engine fueled with LPG-blended DME fuel were examined. The extent of LPG fuel in the blended fuel was 0-40 wt%. Results showed that stable engine operation was possible in a wide range of engine loads on DME blended with maximum 30% of LPG by mass in a CI engine. Considering the results of the engine power output and exhaust emissions, blended fuel up to 30% of LPG by mass can be used as an alternative to diesel in a CI engine. LPG blended DME fuel is expected to have potential for enlarging the DME market.

Key words : Dimethyl ether(디메틸에테르), LPG(액화석유가스), Blended fuel(혼합연료), Compression ignition(압축착화), Combustion Stability(연소안정성), Alternative fuel(대체연료)

1. 서 론

동일한 연료량에서 주행거리가 길며, 대표적인 온실가스의 하나인 CO₂의 배출량이 가솔린 엔진보다 적은 디젤엔진이 근래에 각광받고 있다. 그러나 디젤엔진은 연소 특성상 질소산화물(NOx) 배출량이 높으며 입자상 물질(PM)을 다량 배출하므로 갈수록 강화되고 있는 배기규제에 대응하기 위해서 디젤연료를 대체할 수 있는 연료들에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.¹⁾ 근래에 연구되는 대체연료들 중에서 특히 가스연료에 대한 연구 및 활용이 활발한데 대표적으로 LPG(Liquid Petroleum Gas),

CNG(Compressed Natural Gas), DME(Dimethylether)가 널리 사용되고 있다. 이 중 DME의 경우 인체와 환경(오존층)에 대한 안전성이 높아서 스프레이의 추진제로 이용되고 있으며, 최근에는 휘발유나 디젤을 대체할 수 있는 새로운 자동차용 연료 및 LPG를 대신할 가정용 또는 발전용 연료, 연료전지의 연료로서 주목받고 있다. 또한, 높은 세탄가, 낮은 착화온도, 연소실로 분사되었을 때의 빠른 증발 특성 등의 장점으로 인하여 디젤엔진의 대체 연료로 고려되고 있으며,^{2,3)} 최근에 저가 제조기술이 개발되고 청정 연료로 인식되면서 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있다.^{4,5)} 대체연료로 널리 사용되고 있는 LPG는 낮은 세탄가 때문에 압축착화엔진보다

*Corresponding author, E-mail: shlee@kimm.re.kr

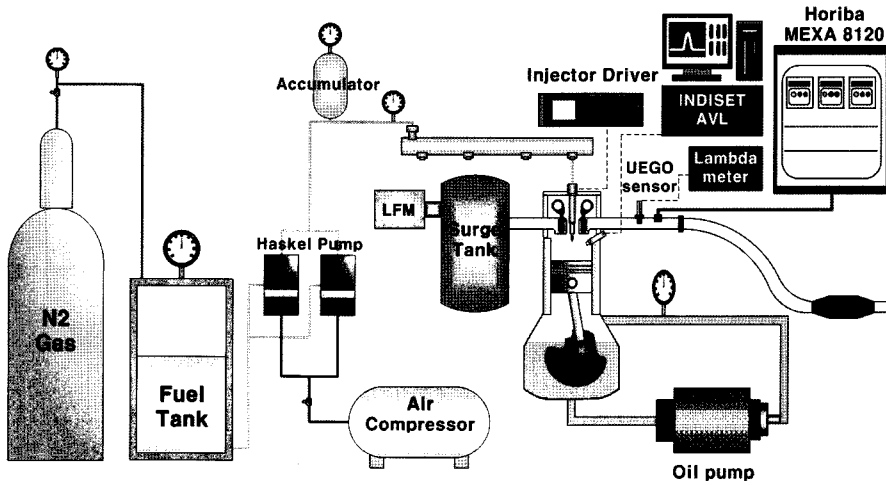


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

불꽃점화엔진에 주로 사용되었으나, 압축착화엔진의 높은 열효율을 이용하기 위하여 LPG에 세탄항상제를 첨가하여 압축착화엔진에 적용하고자 하는 연구가 진행되었다.⁶⁾ LPG를 압축착화엔진의 연료로 사용하기 위해서는 연료의 세탄가를 높여서 자발화 성능을 향상시켜야 한다. 이렇게 세탄가를 높인 LPG 혼합 연료는 디젤에 비해 빠른 증발특성으로 인하여 매연이 거의 배출되지 않으며 배기재순환 (EGR) 적용시 NOx가 대폭 저감되었다.⁷⁻⁹⁾

DME를 직접분사식 디젤 엔진에 적용하는 경우 배출가스 측면에서 장점이 있지만 디젤 연료에 비해 에너지밀도가 낮으므로 많은 양의 연료를 공급하여야 한다. 이를 위하여 분사압 증가, 분사기의 노즐 분공 확대, 에너지 밀도가 높은 다른 연료와의 혼합과 같은 시도들이 있었다. 본 연구에서는 직접분사식 엔진에 적용되는 DME의 에너지 밀도를 높이기 위하여 에너지밀도가 비교적 높은 LPG를 10~40 wt% 첨가하였다. LPG를 혼합하는 경우 혼합연료는 DME보다 세탄가가 낮아져서 자발화 성능이 감소하여 연소에 악영향을 줄 수 있지만 DME 자체의 세탄가가 높아서 적당 수준으로 혼합한다면 디젤 엔진에 충분히 적용이 가능할 것이다. 따라서 본 연구에서는 각각의 혼합연료를 사용하는 경우 직접분사식 디젤엔진의 성능과 유해 배출가스 특성을 비교 분석하여 LPG/DME 혼합연료의 디젤엔진 적용 가능성을 살펴보았다.

Table 1 Specifications of engine

Items		Specifications	
General	Displacement volume	498 cc	
	Bore (mm)	83	
	Stroke (mm)	92	
	Connection rod length (mm)	145.8	
	Compression ratio	18.4	
Valve train	Valve timing	Intake	7°/43°
		Exhaust	52°/6°
	Cam shaft	SOHC	
Injection pressure	LPG/DME blended fuel	250 bar	
	Diesel	1500 bar	

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험엔진

본 연구에 사용된 엔진 시스템의 제원을 Table 1에 나타내었다. 행정체적이 498 cc이며 압축비는 18.4인 압축착화 엔진을 사용 하였다. 분사시스템은 혼합연료의 경우 DME 연료가 압축성이 높아서 상용 고압디젤펌프 사용이 어려우므로 에어구동형의 가스부스터 펌프를 이용하여 250 bar로 가압하였으며, 디젤 연료는 커먼레일 고압펌프를 사용하여 1500 bar까지 가압하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 엔진속도 및 부하를 제어할 수 있는 직류모터식 동력계를 엔진의 크랭크축에 연결하였으며, 연료분사시기와 연료량제어를 위하여 Injector driver(TEMS, TDA-

3200H)와 Delay generator(Stanford Research Systems, DG535)를 사용하였다. 연소실 압력측정을 위하여 Glow-plug를 제거하고 압전형 압력센서(Kistler, 6065B)를 설치하였으며, 압력신호는 연소해석기(AVL, 619 Indimeter)를 통하여 분석하였다. 연료 조성 변화에 따른 엔진의 공연비를 모니터링하기 위하여 산소센서를 배기관에 장착하였다. 질소산화물(NOx), 미연탄화수소(THC), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂)는 배출가스 분석장치(Horiba, MEXA 8120)를 사용하여 분석하였으며, 매연의 경우는 광투과식 매연측정기(Opacimeter, AVL)를 사용하여 측정하였다. 실험은 엔진회전수 1500 rpm 조건에서 수행하였으며, 도시평균유효압력(IMEP; Indicated Mean Effective Pressure) 1~9 bar의 범위로 부하를 변화시켰다. 연료의 혼합비율은 DME에 LPG를 10~40 wt% 까지 10 wt% 간격으로 변화시키면서 엔진의 성능과 유해 배출가스 특성을 디젤 연료의 경우와 비교 분석하였다.

Table 2에는 본 실험에 사용된 LPG(Butane)와 DME, Diesel의 연료 특성을 나타내고 있다.

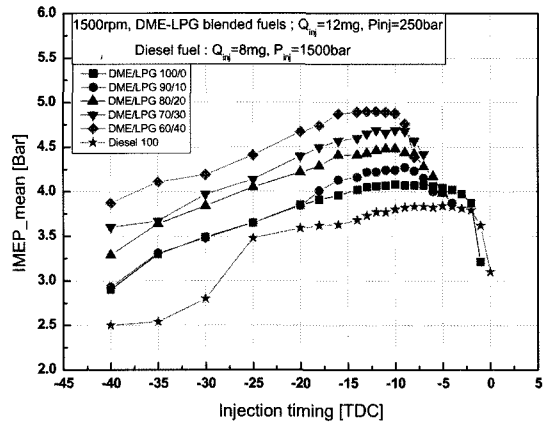
Table 2 Characteristics of LPG(Butane) and DME fuels

Chemical Name	Butane	Diesel	DME
Chemical structure	C ₄ H ₁₀	C _n H _{1.87n}	C ₂ H ₆ O
Liquid density (kg/m ³)	579	831	667
Molecular weight (g/mol)	58.12	170	46.07
Stoichiometric A/F	15.46	14.6	9.00
Boiling point (°C)	-0.5	180/370	-25.0
LHV (MJ/kg)	45.72	42.7	28.8
Cetane number	-	45-50	55-60

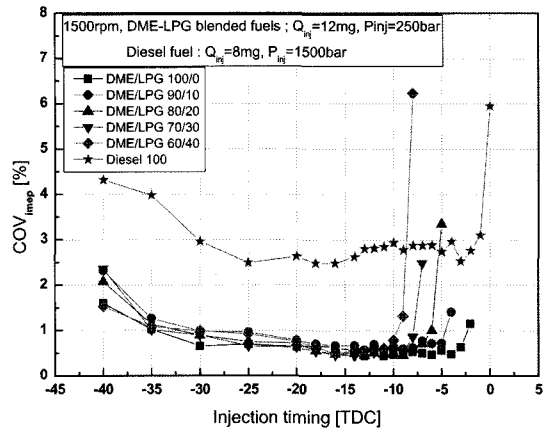
3. 실험결과 및 고찰

3.1 LPG 혼합율에 따른 최적분사시기 결정

DME 연료에 LPG를 질량으로 10, 20, 30, 40 wt% 혼합하는 경우 혼합비에 따른 엔진 성능을 디젤 연료를 사용하는 경우와 비교 분석하였다. Fig. 2는 각각의 혼합연료 및 디젤연료에서 최적 분사시기를 찾기 위하여 혼합연료의 경우 12 mg/inj, 디젤의 경우 8 mg/inj으로 분사량을 고정하였을 때 분사시기에 따른 출력과 도시평균유효압력 변동계수를 측정 한 결과이다. LPG/DME 혼합연료의 경우 LPG의 혼



(a) IMEP_mean



(b) COV_imep

Fig. 2 Injection timing sweep test for best IMEP_mean and COV_imep

합율에 따라서 세탄가가 낮아지므로 혼합율이 높은 경우 최적분사시기를 얻기 위해서는 낮은 경우에 비해서 분사시기를 앞당길 필요가 있다. 그러나 실험결과를 살펴보면 혼합연료와 디젤연료의 분사시기는 각각 BTDC 12°, BTDC 9° 조건일 때 높은 출력과 안정적인 연소가 발생하였으며, 더 이른 분사시기 영역에서는 출력이 감소하고, 도시평균유효압력 변동계수는 증가하는 경향이 나타났다. 이는 압축행정 말기에 연소가 일어나야 하는데 압축과정 중에 연소가 발생하기 때문이다. 혼합연료의 경우 동일한 연료량을 분사하였지만 LPG의 혼합율이 높은 경우 에너지 밀도가 높아지므로 더 높은 출력 특성을 보이고 있다. 디젤의 경우 점화지연 시간이 상당

히 짧으므로 혼합연료에 비해 BTDC 0°의 조건에서도 안정적인 연소가 일어난다.

3.2 LPG 혼합율에 따른 엔진 성능 특성

Fig. 3~6에서는 각각의 혼합연료 및 디젤연료에서 엔진부하에 따른 도시연료소비율(ISFC; Indicated Specific Fuel Consumption)과 도시평균유효압력 변동계수, 공기과잉률, 배출가스 온도를 나타내었다. 도시연료소비율은 동일한 출력을 발생하기 위하여 필요한 연료량을 나타내는데 보통 에너지밀도가 높을수록 도시평균연료소비율은 낮다. 실험 결과를 살펴보면 DME에 비해서 디젤의 에너지밀도가 높기 때문에 모든 영역에서 디젤연료를 사용하는 경우 연료소비율이 낮다. LPG의 경우도 DME에 비해서 에너지밀도가 높기 때문에 LPG의 혼합율이 높을수록 연료소비율은 낮은 경향을 보이고 있는데 저부하 조건에서는 LPG 혼합율이 높은 경우 연료의 자발화 성능이 감소하여 연소효율이 낮아지므로 연료소비율이 상당히 높게 측정되었다. 또한 저부하 영역에서 LPG의 혼합율이 높을수록 연료의 자발화 성능이 저하되어 연소가 불안정하게 되므로 Fig. 4의 결과와 같이 도시평균 유효압력 변동계수의 값도 증가한다.

연소효율이 낮아지게 되면 동일한 출력을 얻기 위해 더 많은 연료가 필요하며 따라서 공기 과잉률은 혼합비율이 높을수록 낮게 측정되었다. 그러나 부하가 증가하면 연소실 온도와 압력이 증가하여 자발화가 쉽게 발생할 수 있는 조건이 형성되어 연

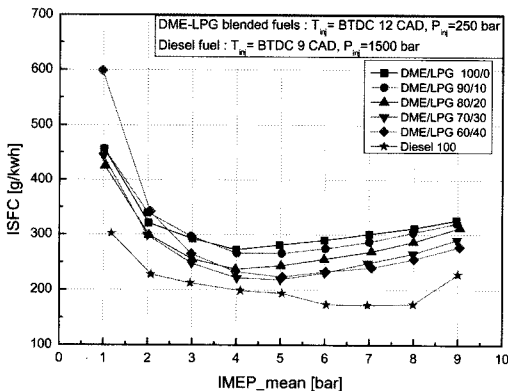


Fig. 3 Indicated specific fuel consumption at various engine load

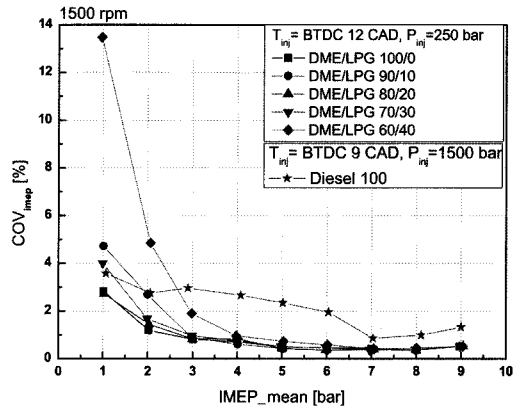


Fig. 4 Coefficient of variation of indicated mean effective pressure at various engine load

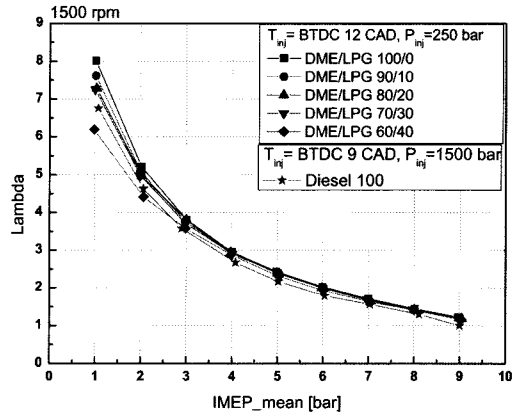


Fig. 5 Lambda value at various engine load

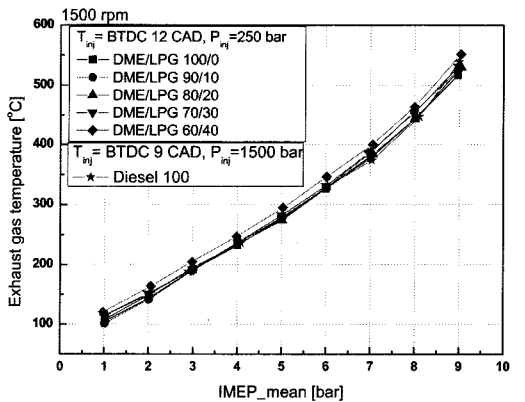


Fig. 6 Exhaust gas temperature at various engine load

소가 안정되면서 도시평균 유효압력변동계수의 값은 감소하며, LPG의 혼합율이 높은 경우 에너지밀도가 높으므로 적은양의 연료를 분사하여도 동일한

출력을 얻을 수 있다.

Fig. 6에서는 혼합율에 따른 배출가스 온도 변화를 나타내었는데 혼합율에 따른 배출가스 온도 차이가 크지는 않았지만 LPG 혼합율이 높은 경우 배출가스의 온도가 약간 높은 경향이 있었다. 이는 LPG 혼합율이 높은 경우 세탄가의 감소로 인하여 같은 분사시기에서 연료 자발화 시점이 지각되어서 배출가스의 온도가 높은 것이다.

3.3 LPG 혼합율에 따른 엔진 연소 특성

Fig. 7은 디젤 연료와 LPG-DME 혼합연료에서 분사시기를 각각 BTDC 9°, BTDC 12°로 고정하였을 때 IMEP 3, 9 bar 조건에서의 연소실압력과 열방출률을 나타내고 있다. IMEP 3 bar 조건에서 혼합연료의 경우 혼합율에 상관없이 실린더 압력의 크기는 거의 비슷한 수준을 나타내고 있지만 LPG의 혼합율이 높을수록 점화지연의 세탄가가 낮아지므로 점화지연 시간이 증가하는 경향을 나타낸다. LPG의 혼합율이 40 wt%인 경우 점화지연시간이 매우 크며 예혼합연소 영역에서의 열방출률도 낮다. 고부하 영역인 IMEP 9 bar 조건에서는 연소실의 온도와 압력이 상승하여 자발화가 쉽게 일어날 수 있는 분위기가 만들어지므로 점화지연 시기가 저부하 조건에 비해서 짧은 경향을 볼 수 있다. 또한 고부하 영역에서는 LPG 혼합율이 높을 때 예혼합연소 영역에서의 열방출률은 커졌다. IMPE 9 bar 조건에서는 많은 양의 연료가 분사되어야 하므로 연료분사시간도 길어지며 디젤에 비해서 분사압이 낮은 혼합연료의 경우 연료분사시간이 매우 길어진다. 이는 결국 제어연소 기간의 증가로 이어져 디젤과는 다른 형태의 열방출률을 나타내고 있다.

디젤의 경우는 다른 혼합연료보다 분사시기는 3°가 늦지만 점화지연시간이 짧아서 오히려 이른 시기에 연소가 일어나며 연소실 압력 상승률과 예혼합연소 영역에서 열방출률이 크다. IMEP 9bar의 조건에서는 디젤 연소시 연소실 압력상승률이 매우 커서 이 경우 디젤 노킹 현상도 관찰되었다. 디젤의 경우 최적 분사시기는 출력이 최고가 되는 점을 선택하였는데 이 경우 노킹이 심하게 생겼다. 분사시기를 지각하는 경우 노킹 현상을 줄여들지만 출력

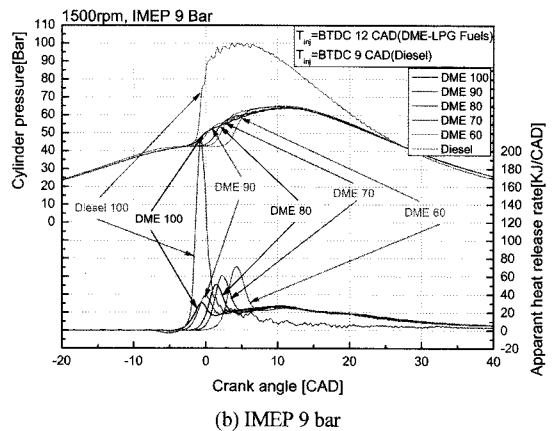
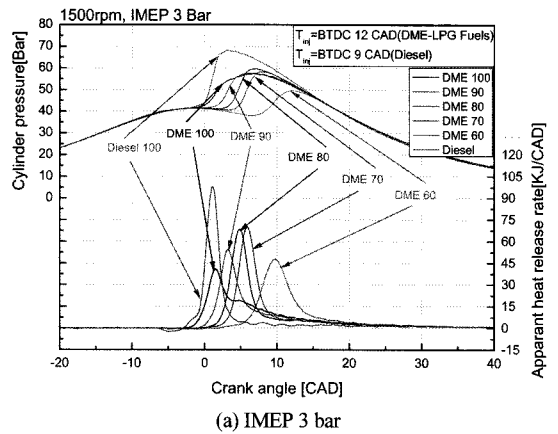


Fig. 7 Characteristic of cylinder pressure and heat release rate for DME and LPG blends

이 감소가 심하여 출력이 최대가 되는 점에서 실험이 수행되었다. 노킹을 방지하기 위해서는 과일릿 분사를 하게 되면 노킹은 거의 사라지는 것으로 측정되었다. 실린더 압력 상승률이 급격한 것으로 보아 질소산화물의 배출량도 높으리라 예상된다.

3.4 유해 배출가스 배출특성

Fig. 8~10에서는 엔진회전수 1500 rpm 조건에서 디젤 연료와 LPG-DME 혼합연료가 연소될 때 발생하는 유해 배출가스인 미연탄화수소(THC), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx)의 배출량을 나타내었다. 혼합연료를 사용하는 경우 가스의 빠른 증발특성으로 인하여 디젤을 사용하는 경우보다 미연탄화수소의 배출량이 비교적 낮다. 그러나 LPG의 혼합율이 높은 경우 저부하 영역에서의 미연탄화수소의

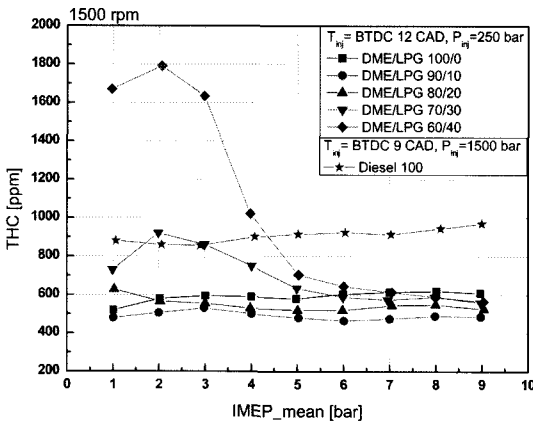


Fig. 8 Engine out THC emission as a function of engine loads

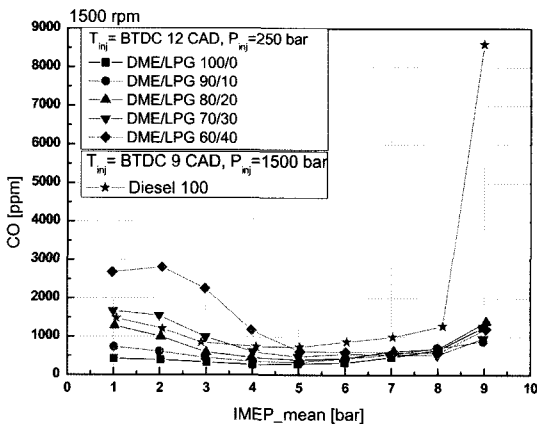


Fig. 9 Engine out CO emission as a function of engine loads

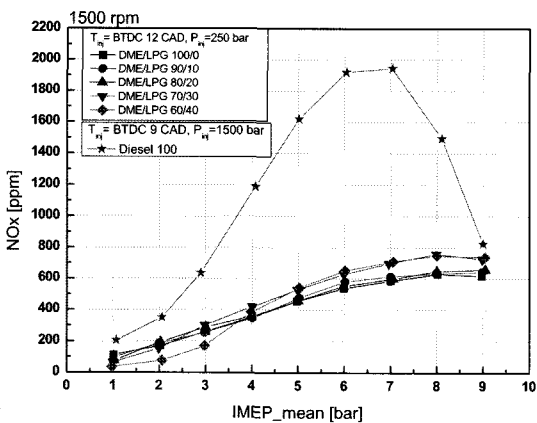


Fig. 10 Engine out NOx emission as a function of engine loads

배출량은 매우 높다. 이는 LPG 혼합율이 높고 부하가 낮은 경우 혼합연료의 점화지연시간이 길어져서

연료들이 자발화된 화염dusf전파에 의해서 완전 연소되기 전에 배기밸브를 통하여 미연탄화수소로 그대로 배출되기 때문이다.

CO의 경우 저부하 조건에서는 LPG 혼합율이 증가할수록 불완전연소에 의하여 배출량은 증가하며, 중부하 이상의 조건에서는 모든 연료의 배출량은 감소하였다. 고부하 조건에서는 연료량의 증가로 연소실이 농후해지므로 CO의 배출량은 증가하는 경향이 있으며 디젤의 경우 공기과잉률이 1.0이하로 매우 농후하므로 CO의 배출량은 급증하였다.

열방출을 결과에서 디젤 연료는 혼합연료에 비해서 연소실 압력상승이 가파르고 예혼합연소 영역에서의 열방출율이 많았는데 이는 결국 NOx 배출량이 높다는 것을 의미한다. NOx 배출량을 측정한 결과 모든 영역에서 디젤의 경우 혼합연료보다 배출량이 훨씬 많았다. 부하의 증가에 따라서 연소실 온도가 높아져서 열분해 반응으로 생기는 NOx (Thermal NOx)의 증가와 연소시기의 진각에 의해서 NOx의 생성량은 증가하였다. IMEP 7 bar 이상의 조건에서는 연소실이 농후한 분위기가 형성되어서 NOx 발생량은 감소하였다. LPG의 혼합율이 높은 경우 저부하 영역에서는 점화지연 시간이 길고 예혼합영역에서의 열방출량이 적어서 NOx의 배출량이 낮지만 고부하영역에서는 예혼합영역에서의 열방출량이 증가하여 LPG 혼합율이 낮은 경우에 비해 NOx의 배출량이 높았다.

Fig. 11에서는 디젤 및 혼합연료에 따른 CO₂ 배출량을 나타내었다. 부하의 증가에 따라서 연료소모량이 증가하므로 CO₂의 배출량도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 혼합연료보다 디젤을 사용하는 경우에서 CO₂ 배출량이 약간 더 높았는데 이는 DME, LPG, Diesel 연료 자체를 비교하였을 때 디젤연료가 다른 연료들에 비해서 수소원자 대비 탄소원자수의 비율이 1.87로 비교적 낮은데서 기인하는 것으로 판단된다.

디젤과 LPG-DME 혼합연료에서 배출되는 매연의 배출량을 측정한 결과를 Fig. 12에 나타내고 있다. IMEP 8 bar 이하의 영역에서는 디젤과 혼합연료 모두 10% 미만의 낮은 매연 배출특성을 보이고 있다. IMEP 8 bar 이상의 고부하 영역에서 디젤의 경우

4. 결론

DME에 LPG를 질량기준으로 10, 20, 30, 40 wt% 혼합한 혼합연료와 디젤연료를 압축착화기관에서 연소한 후 엔진의 성능과 배기가스 배출물을 측정하였으며, 이를 통하여 다음의 결론들을 얻을 수 있었다.

1) LPG/DME 혼합연료와 디젤연료의 분사시기는 각각 BTDC 12°, BTDC 9° 조건일 때 높은 출력과 안정적인 연소가 발생하였다.

엔진의 부하가 낮은 영역에서 LPG 연료의 혼합율이 증가하면 연료의 세탄가가 낮아져서 자발화특성이 떨어지므로 COV_{imep}는 증가하는 경향을 나타낸다.

2) LPG의 혼합율이 증가할수록 혼합연료의 세탄가가 낮아지므로 점화 지연 시간이 증가하는 경향을 나타낸다. 고부하영역에서는 연소실의 온도와 압력이 상승하여 자발화가 쉽게 일어날 수 있는 분위기가 만들어지므로 점화 지연 시기가 짧아지는 경향을 볼 수 있다.

3) 미연탄화수소의 배출은 엔진부하증가에 따라 감소하며, LPG/DME 혼합연료는 연료 자체의 빠른 증발특성으로 인하여 디젤과 비교하여 낮은 배출량을 나타낸다.

4) CO의 경우 저부하 조건에서는 LPG 혼합율이 증가할수록 불완전연소에 의하여 배출량은 증가하며, 중부하 이상의 조건에서는 모든 연료의 배출량은 감소하였다. 고부하 조건인 경우 연료량의 증가로 연소실이 농후해지므로 CO의 배출량은 증가하는 경향이 있다.

5) 디젤의 경우 예혼합연소 영역에서의 열방출량이 혼합연료에 비해 높으므로 전영역에서 NO_x 배출량이 높았다. 혼합연료의 경우 예혼합영역에서의 열방출량 변화로 인해 저부하 영역에서는 LPG 혼합율이 낮은 경우, 고부하 영역에서는 LPG 혼합율이 높은 경우 배출량이 높았다.

혼합연료의 경우 연료 자체의 빠른 증발 특성으로 인하여 연소실내 국부적으로 농후한 영역이 발생할 확률이 적으므로 디젤에 비해서 매연의 배출량이 적다.

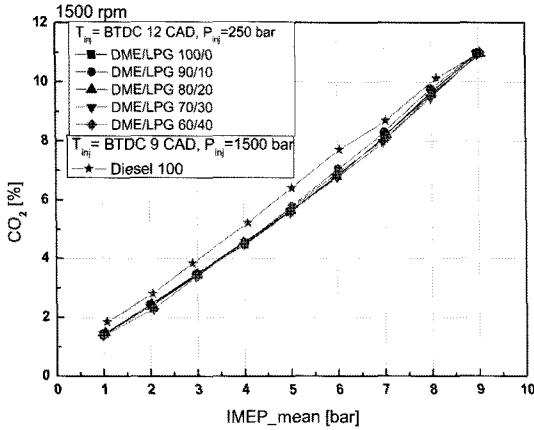


Fig. 11 Engine out CO₂ emission as a function of engine loads

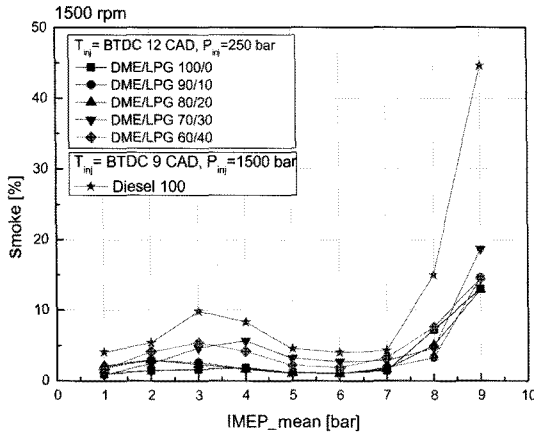


Fig. 12 Engine out smoke emission as a function of engine loads

매연의 배출량이 급격하게 증가하였다. 이는 공급되는 연료량의 증가로 인하여 연소실 내 국부적으로 농후한 영역이 증가한 결과이다. 혼합연료를 사용하는 경우 모든 영역에서 디젤보다 매연의 발생량이 적었으며 고부하 조건에서도 매연의 발생량은 디젤보다 훨씬 적었다. 압축착화엔진에서 매연은 고온의 분위기 조건에 농후한 연료가 존재하는 영역에서 발생하게 된다. 혼합연료의 경우 실린더에 분사하게 되면 빠르게 기상의 연료로 증발하면서 넓은 연료 분포 영역을 가지기 때문에 국부적으로 농후한 영역이 존재할 확률이 적다. 그러나 혼합연료의 경우에도 고부하 영역에서는 공급연료량의 증가로 인하여 국부적으로 농후한 영역이 발생하면서 매연의 배출량은 증가하는 경향을 보인다.

후 기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단에서 지원되는 “중소형 LPG 상용차 개발사업”의 연구비로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

References

- 1) S. Kajitani, C. L. Chen, M. Oguma, M. Alam and K. T. Rhee, “Direct Injection Diesel Engine Operated with Propane-DME Blended Fuel,” SAE 982536, 1998.
- 2) S. G. An, M. Y. Kim, S. H. Yoon, J. H. Lee and C. S. Lee, “Combustion and Exhaust Emission Characteristics of DME in a Common-rail Diesel Engine,” Transactions of KSAE, Vol.15, No.2, pp.74-80, 2007.
- 3) F. Maroteaux, G. Descombes and F. Sauton, “Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Running with DME,” 2001 ICE Spring Technical Conference, Vol.1, pp.73-81, 2001.
- 4) P. Kapus and H. Ofner, “Development of Fuel Injection Equipment and Combustion System for DI Diesels Operated on Dimethyl Ether,” SAE 950062, 1995.
- 5) B. I. An, Y. Sato, S. W. Lee and T. Takayanagi, “Effects of Injection Pressure of Combustion of a Heavy Duty Diesel Engine with Common Rail DME Injection System,” SAE 2004-01-1864, 2004.
- 6) M. Alam, S. Goto, K. Sugiyama, M. Kajiwara, M. Mori, M. Konno, M. Motohashi and K. Oyama, “Performance and Emissions of a DI Diesel Engine Operated with LPG and Ignition Improving,” SAE 2001-01-3680, 2001.
- 7) K. Sugiyama, M. Kajiwara, M. Iwama, M. Mori, M. Oguma, K. Kinoshita and S. Goto, “Performance and Emissions of a DI Diesel Engine Operated with LPG and Cetane Enhancing Additives,” SAE 2003-01-1920, 2003.
- 8) S. Goto, D. Y. Lee, N. Harayama, F. Honjo, H. Ueno, H. Honma, Y. Wakao and M. Mori, “Development of LPG SI and CI Engine for Heavy Duty Vehicles,” Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, pp.394-403, 2000.
- 9) K. Kitano, R. Nishiumi, Y. Tsukasaki, T. Tanaka and M. Morinaga, “Effects of Fuel Properties on Premixed Charge Compression Ignition Combustion in a Direct Injection Diesel Engine,” SAE 2003-01-1815, 2003.