

디젤엔진에서 디젤, GTL, 바이오디젤의 혼합유의 배기배출물 특성에 관한 실험적 연구

이 용 규¹⁾ · 문 건 필^{*2)} · 정 동 수¹⁾

한국기계연구원¹⁾ · 과학기술연합대학원대학교²⁾

Experimental Study on the Emission Characteristics of Diesel, GTL, and their Blends with Biodiesel in a Diesel Engine

Yonggyu Lee¹⁾ · Gunfeel Moon^{*2)} · Dongsoo Jeong¹⁾

¹⁾Engine Research Team, ECO Machinery Division, KIMM, 171 Jang-dong Youseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

²⁾Department of Clean Environmental System, UST, Daejeon 305-333, Korea

(Received 20 November 2009/ Accepted 21 December 2009)

Abstract : An experimental study was carried out to investigate the emission characteristics for various alternative fuels in a 2.0 liter 4-cylinder turbo-charged diesel engine. The conventional diesel fuel, neat GTL (Gas to Liquid), blends of diesel and biodiesel(BD20), and blends of GTL and biodiesel(G+BD20 and G+BD40) were applied, and their emission characteristics were compared at various steady-state engine operating conditions. A noticeable reduction of exhaust emissions compared to conventional diesel fuel, except for NO_x emission, was observed for G+BD40, where there is a maximum 30% averaged reduction for gaseous emissions (THC and CO) and 70% for PM mass concentrations. When comparing PM size distributions for biodiesel blended fuels, the PM number concentration in accumulation mode, where the diameter of PM is greater than 50 nm, decreased due to additional oxygen content in the biodiesel fuel; in nucleation mode, where the diameter of PM is less than 50nm, there was a slight increase or decrease in the PM number concentration depending on the amount of oxygen available in the combustion chamber.

Key words : Alternative diesel fuel(디젤대체연료), GTL(Gas to Liquid, 지티엘), Biodiesel(바이오디젤), Gaseous emissions(가스상 배출물), PM(Particulate Matters, 입자상 물질), Nucleation mode(핵형성 모드), Accumulation mode(축적모드)

1. 서론

기후변화 협약에 따른 온실 가스 저감에 대한 요구로 인해 수송용 엔진 연구 개발 분야에서 가솔린 엔진에 비해 열효율이 상대적으로 높은 디젤 엔진에 대한 연구가 그 흐름의 주도권을 장악하여 왔다. 그러나 압축착화 엔진 고유의 문제인 높은 NO_x (Nitrogen Oxides)와 입자상 물질(PM; Particulate

Matters) 배출 특성은 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다.

디젤 엔진의 연소 특성 상 필연적으로 발생할 수밖에 없는 이러한 유해 배기 배출물을 저감시키기 위한 연구는 실린더 내의 연소를 제어하는 기술, 연소 후 생성된 유해 배출물 처리 기술 등 다양한 분야로 확대되어 진행되어 왔다. 이러한 연구 중의 하나인 배기 가스 재순환 기술은 연소 온도를 낮춰 NO_x 배출물을 저감시킬 수 있는 방법으로 광범위하게

*Corresponding author, E-mail: gumpu822@kimm.re.kr

적용되고 있지만, EGR의 적용에 따른 연료 소비율의 증가와 NOx의 저감과 상반(trade-off)된 관계를 가지는 PM 배출물이 증가되는 단점을 가지고 있는 등, 연소 방식의 개선 만으로 PM과 NOx 유해 배출물의 동시 저감은 불가능하며 최종적으로 후처리 장치의 도움이 필요한 실정이다.

이러한 연소 특성 개선 연구와 병행하여, DME (Demethyl Ether), GTL(Gas to Liquid), BTL(Biomass to Liquid), CTL(Coal to Liquid) 등의 디젤 연료의 품질 향상을 통한 그 적용 연구 또한 활발히 진행되어 왔다. 이 중 GTL 연료는 가스화(gasification), Fisher-Tropsch 합성(FT-synthesis), 수소화 분해(hydrocracking) 등의 일련의 과정을 통해 제조된 액화 연료로서, 세탄가가 높고, 방향족 탄화수소 성분이 거의 없으며, 낮은 수준의 배기 배출물 특성 때문에 차세대 청정 연료로 주목받고 있다. 또한 황과 PAH (Polyaromatic Hydrocarbon) 성분의 함유량이 극히 적어 PM 생성을 원천적으로 줄일 수 있는 연료이며, EGR을 증가에 따른 PM 배출물의 증가량이 상대적으로 적기 때문에 NOx를 더욱 저감시킬 수 있는 디젤 대체연료로서 주목받고 있다.^{1,2)}

국내에서의 GTL연료 적용에 대한 연구로서, 2.0 리터 커먼레일 방식의 승용 디젤 차량에서 FTP 75 모드 시험을 한 결과, THC, PM, NOx 배출물은 일반 디젤 연료에 비해 각각 50%, 21%, 12% 저감되는 특성을 보였으며,³⁾ GTL 연료와 USLD(Ultra Low Sulfur Diesel) 혼합 비율에 따른 배기 배출물 특성과 연료 분사 시스템에 따른 배기 배출물 특성을 비교한 결과, GTL 연료의 적용만으로도 NOx와 PM을 동시에 저감시킬 수 있는 친환경 연료임을 확인하였다.⁴⁾

합성 가스(synthetic gas) 디젤 대체연료 외에, 폐식용유(waste cooking oil), 대두유(soybean oil), 유채씨유(rapeseed oil) 등의 다양한 원료로 제조 가능한 바이오디젤의 적용에 대한 연구 또한 활발히 이뤄지고 있다. 바이오디젤의 다양한 원료들 중, 가격 경쟁력을 가진 폐식용유가 그 제조 원료로 주로 이용되고 있으며, 바이오디젤 연료의 적용에 관한 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 일반적으로, 바이오디젤 내에는 10~11wt%의 산소를 함유하고 있으며,^{5,6)} 이러한 연료 내의 산소 성분 때문에, CO, THC,

PM 배출물을 저감시킬 수 있으며, 이산화탄소 중립 사이클(CO₂ neutral cycle) 특성으로 인해 대표적인 온실가스(GHG; Greenhouse Gas)인 CO₂ 배출물의 저감 효과를 가지고 있다.⁷⁾ 순수 바이오디젤을 연료로 직접 사용할 수 있지만, 장시간 사용 시, 인젝터 막힘, 링 소착, 인젝터 퇴적물 등의 문제 때문에,⁸⁾ 주로 기존 디젤 연료와 혼합하여 사용되어지고 있다.

GTL 연료의 경우, 일반 디젤 연료 대비, 배출물 저감 특성이 우수하다는 장점이 있으나, 기후변화 협약에 대응한 온실효과 가스 저감 효과가 상대적으로 낮은 특성을 나타내고 있다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 이러한 GTL 연료의 단점을 보완하기 위한 방편으로 CO₂ 배출물 저감 특성이 우수한 바이오디젤 연료와의 혼합을 통해 유해 배출물 및 온실효과 가스 추가적인 저감을 위한 기초 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 폐식용유와 대두유가 주성분인 바이오디젤(부피비 7:3)연료와 GTL 연료를 혼합하여 승용 디젤 엔진에 적용하여 그 배출물 특성을 비교하여 디젤 대체연료로서 GTL연료와 바이오디젤 혼합유의 적용을 위한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에 사용된 엔진은 2.0리터 승용 디젤 엔진으로서 커먼레일 방식의 연료 분사 시스템과 SOHC (Single Overhead Camshaft) 타입의 밸브 시스템을 가지고 있으며, VGT (Variable Geometry Turbocharger)를 장착하고 있는 EURO IV 규제 대응 엔진이다. 그러나 본 연구에서는 Engine-out 배기 배출물 특성을 살펴보기 위하여 후처리 장치를 장착하지 않은 상태에서 실험을 수행하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 엔진의 구체적인 사양을 나타내고 있으며, 실험장치 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

연소 상태 모니터링을 위하여 4번 실린더의 글로우 플러그 위치에 압력 센서(Kistler, 6052C)와 이의 설치를 위한 어댑터(Kistler 6542Q27)를 장착하여, 엔코더 신호와 동기시켜 연소실 압력을 크랭크각 1도 단위로 측정하였으며, 이를 바탕으로 열방생률을 계산하였다. 흡입 공기량 측정을 위해 흡기 레저버(Reservoir)의 상단에 층류 유량계(Meriam Inst.

Table 1 Specifications of experimental engine

Items	Specifications
Displacement volume	1996 cc
Bore × stroke	83mm × 92mm
Compression ratio	17.7
Intake system	Intercooled VGT
Valve system	SOHC 4 valves
Fuel supply system	Common rail direct injection
Rated torque	32kg · m/2,000rpm
Rated power	151ps/3,800rpm

Table 2 Properties of test fuels

Parameter	Diesel	GTL	Biodiesel
Density [kg/m ³ @15°C]	829.4	777.1	883
Viscosity [mm ² /s@40°C]	2.616	2.567	4.189
Cetane number	54 55(BD20)	86	76(G+BD20) 70(G+BD40)
Polyaromatic [wt%]	1.7	<0.1	-
Sulfur [mg/kg]	3	<1	1
CFPP [°C]	-28	-20	-3
LHV [MJ/kg]	42.78 41.8(BD20)	43.63	42.4(G+BD20) 40.8(G+BD40)
Flash point [°C]	50	89	182

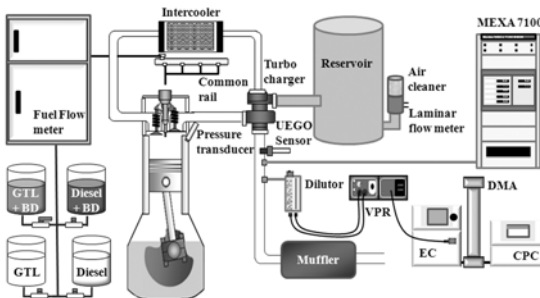


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

Co.)를 설치하였다. 가스상 배기배출물 분석을 위하여 배기가스 분석기(Horiba MEXA 7100 DEGR)를 사용하였고, 연료량과 공연비는 각각 코리올리 효과를 이용한 연료 유량계(DASAN R&D)와 광대역 공연비 센서(LA4, ETAS)를 이용하여 측정하였다. 또한 배기 매니폴더의 샘플링 프로브를 통해 포집된 배기가스를 회전 디스크 방식의 희석기(rotating disk diluter)를 통과시켜 EC(Electrostatic Classifier), DMA(Differential Mobility analyzer)와 CPC(Condensation Particle Counter)로 구성된 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)를 이용하여 입자상 물질의 수 농도 및 입자 크기 분포를 측정하였다. 이 때 휘발성 미연 탄화수소 성분을 제거하기 위해 VPR(Volatile Particle Remover)을 사용하였다.

엔진 회전 속도는 1,500, 2,000과 2,500 rpm, 각각의 운전 조건에서 BMEP(Brake Mean Effective Pressure) 기준 4, 8, 12, 16bar에서 실험을 수행하였으며, 각각의 운전 조건에서 디젤연료, 디젤과 바이오디젤 혼합유(디젤+바이오디젤), GTL연료, GTL과 바이오디젤 혼합유(GTL+바이오디젤)에 대해 실험을 수행하였다.

본 연구에 사용된 각 연료의 특성을 Table 2에 나타내었다. GTL연료는 세탄가와 저위 발열량(LHV; Lower heating value)이 디젤에 비해 높은 반면, 황 함량과 다중 방향성 탄화수소량은 극히 적었다. 바이오디젤의 경우, 점성이 가장 높았으며, 황 함량은 GTL보다 높았지만, 디젤 연료보다는 낮은 함량 수준을 나타내었다. 본 연구에서는 디젤 연료, GTL 연료, BD20(부피비, 디젤 80%+바이오디젤 20%), G+BD20(GTL 80%+바이오디젤 20%), G+BD40(GTL 60%+바이오디젤 40%)의 연료들을 사용하여 실험을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 엔진 하드웨어의 수정 없이 일반 디젤 연료, 디젤 대체연료로 주목받고 있는 GTL, 그리고 GTL 연료와 바이오디젤 혼합유 등, 연료에 따른 배기 배출물 특성을 살펴보았다.

3.1 연소 특성

엔진회전속도 1,500rpm, BMEP 12bar 조건에서 디젤, GTL, 바이오디젤 혼합유에 따른 연소실 압력과 열방생률 선도를 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구에 사용된 Euro IV 엔진의 경우, 상기의 실험 조건에서 3단 분사 방식(pre-injection, pilot injection, main injection)을 택하고 있었으며, pre-injection에 의한 최초 열방생률 곡선의 상승이 세탄가가 상대적으로 높은 GTL 연료와 G+BD20 연료의 경우 먼저 나타나고 있음을 알 수 있다. 연소실 최고 압력의 경우, G+BD40, G+BD20, BD20, 디젤, GTL 순으로 낮아지

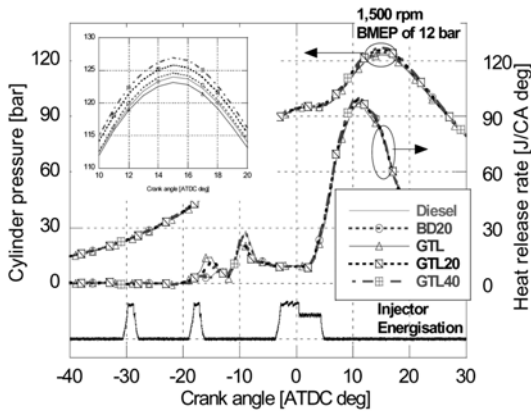


Fig. 2 Cylinder pressure and heat release rate history with fuels at the engine speed of 1,500 rpm and BMEP of 12 bar

고 있음을 확인할 수 있으며, 이러한 압력 상승의 원인은 바이오디젤에 함유된 산소 성분에 따른 결과로서 국부적인 소염(local quenching)이 발생하는 것을 방지하여 연소온도가 상승하기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 소염 방지에 의한 연소실 압력 상승은 NOx 배출물의 증가와 PM 배출물의 저감의 원인이 된다. 디젤과 BD20의 경우, 점화지연 특성은 유사한 것으로 나타났으나 연소실 최고 압력은 BD20의 경우 다소 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 연소실 압력 상승의 효과는 GTL 연료에 바이오디젤을 혼합한 경우에 더 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

본 연구에서 적용한 모든 실험 조건에서 연료소비율에 따른 CO₂ 배출 특성을 Fig. 3에 나타내었다. GTL 연료의 경우, 디젤보다 저위 발열량과 연료의 H/C비가 높기 때문에 CO₂-BSFC 라인은 동일 연비 조건에서 CO₂가 감소하는 방향으로 이동하였지만, 바이오디젤 혼합유의 경우 저위 발열량이 디젤연료와 GTL 연료보다 낮기 때문에, 동일 부하 조건에서 더 많은 연료를 필요로 한다. 따라서 바이오디젤 혼합유의 경우, CO₂-BSFC 라인은 연료소비율이 증가하는 방향으로 이동하였다. BD20 연료의 경우, 디젤 대비, CO₂ 배출 저감은 평균 2.9%로 나타났으며, G+BD40 연료의 경우, 디젤 대비 4.8% 향상되었다. 그러나 바이오연료의 CO₂ 사이클 특성(CO₂ neutral cycle)을 고려할 경우, 동등한 CO₂ 배출 특성

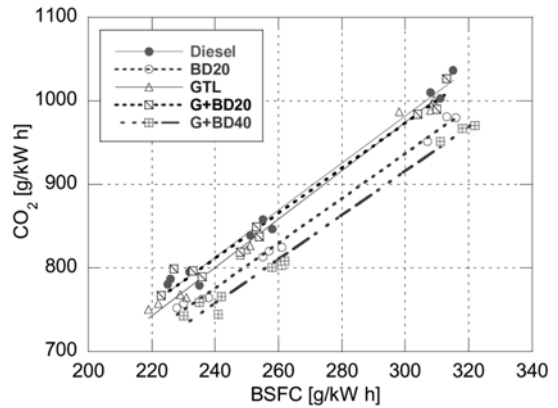


Fig. 3 Comparisons of CO₂ emissions with BSFC for various fuel blends

이라 할지라도 혼합비에 따른 저감 특성을 기대할 수 있다.

3.2 배기 배출물 특성

디젤, GTL, 바이오디젤 혼합유에 따른 전 운전 조건에서의 평균 배출물 특성을 Fig. 4에 나타내었다. THC와 CO 배출 특성의 경우, BD20은 디젤 연료 대비 평균 15~25% 저감되는 특성을 나타내었으며, G+BD40의 경우, 디젤 연료 대비 평균 저감율은 30% 수준을 나타내었다.

NOx 배출 특성의 경우, 바이오디젤의 함유량에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며 G+BD40의 경우, 디젤 연료 대비 평균 5% 증가하는 특성을 나타내

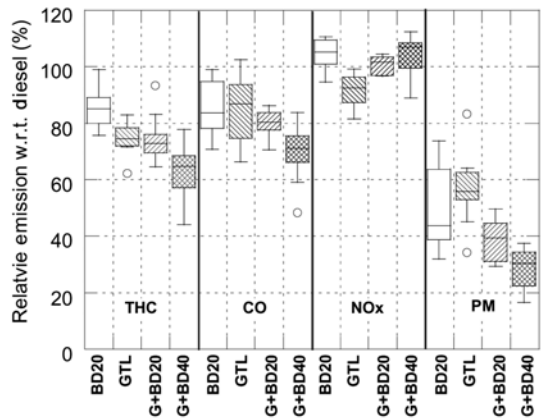


Fig. 4 Comparisons of engine-out exhaust emissions for various fuel blends based on diesel fuel

었다. GTL 연료의 경우, 높은 세탄가로 인한 짧은 점화지연으로 예혼합연소 영역의 비중이 상대적으로 감소함에 따라 NO_x 배출이 감소하는 특성을 나타내고 있으며, GTL 연료에 바이오디젤을 혼합한 경우, 디젤에 바이오디젤을 혼합한 경우와 유사한 NO_x 배출 특성을 보이고 있다.

PM 배출 특성의 경우, 바이오디젤유의 혼합에 따라, G+BD40의 경우 디젤 대비 평균 70%의 저감 특성을 나타내고 있으며, 이것은 바이오디젤 내에 함유된 산소 성분에 의한 PM 산화 촉진과 화염의 국부 소염 저감에 따른 결과로 판단된다. PM 발생이 적은 또 다른 이유는 확산화염구간의 감소 때문이다. Table 2에 나타난 것처럼, GTL 연료에 바이오디젤을 첨가함에 따라 세탄가가 감소하여 점화 지연 기간이 증가하게 된다. 이러한 점화 지연 기간의 증가는 예혼합 연소구간의 비율을 증가시키고, PM이 주로 생성되는 확산화염구간을 상대적으로 감소시켜 PM 생성이 저감되는 것으로 판단된다. 이러한 저감 효과는 바이오디젤을 연소 특성이 우수한 GTL 연료에 혼합한 경우의 GTL 연료 대비 저감 효과보다, 디젤 연료에 혼합한 경우 상대적인 저감 효과가 크게 나타남을 확인할 수 있으며, BD20의 경우, 디젤 연료 대비 평균 51%의 저감 특성을 나타내었다.

엔진 회전속도 1,500 rpm, BMEP 4 bar 운전 조건에서, EGR 적용 여부에 따른 입자상 물질 크기 분포 특성을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. EGR 율은 연료 별로 다소 차이가 있으나 ±3% 수준 이내이며, 이 조건에서 연료 분사는 3단 분사로 이뤄진다. EGR 제어가 적용되는 조건의 경우, 40~50nm 이하의 PM 수농도는 바이오디젤의 혼합에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으며 이러한 경향은 50nm 이상의 축적 모드 영역(accumulation mode)에서 반대의 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 축적 모드 입자들은 휘발성(volatile) 혹은 semi-volatile 성분들이 흡착되어진 탄소질 입자들의 덩어리화(agglomeration)에 의해 생성된다. 이러한 축적 모드 영역에서의 수농도 감소는 PM 수농도를 질량 단위로 환산할 경우 PM 배출량 저감 측면에서 더 큰 효과를 가져온다. 이러한 바이오디젤 함유에 따른 50nm 이하 영역(핵형성 모드, nucleation mode)에서의 수농도 증가는

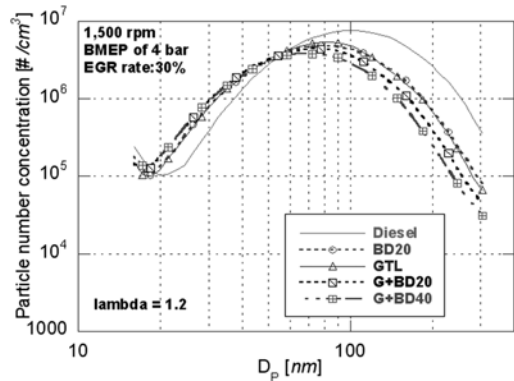


Fig. 5 Comparisons of particles size distributions for various fuels at the engine speed of 1,500 rpm and BMEP of 4 bar (with EGR)

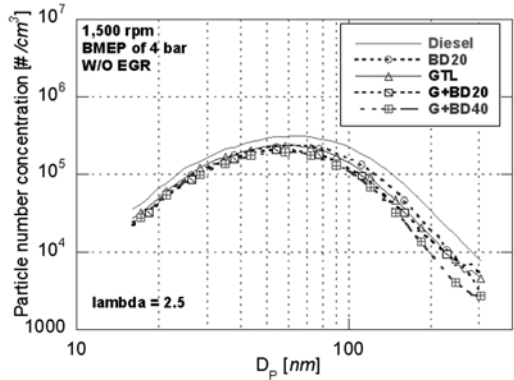


Fig. 6 Comparisons of particles size distributions for various fuels at the engine speed of 1,500 rpm and BMEP of 4 bar (without EGR)

입자 크기가 50nm 이상인 입자 축적 모드의 수농도 감소에서 기인된 것이다.^{9,10)} 즉, 축적 모드 입자들의 수농도 감소로 인해 흡착되지 못한 휘발성 혹은 semi-volatile 성분들의 핵형성에 의해 50nm 이하의 PM 수농도가 증가한 것으로 판단된다.

또 다른 이유로, 엔진 부하가 낮은 영역의 경우, 바이오디젤의 첨가에 따라 연료 내의 산소 함유량은 증가하지만, 점도 증가에 의한 연소실 내에서의 연료의 기화(vaporization) 및 무화(atomization) 특성이 저하되어, 50nm 이하의 영역에서 디젤, GTL 연료보다 바이오디젤 혼합유가 더 많은 입자상 물질의 수를 배출하는 것으로 판단된다.¹¹⁾ 하지만 입자의 크기가 작은 영역에서의 PM 수농도 증가는 Fig. 4

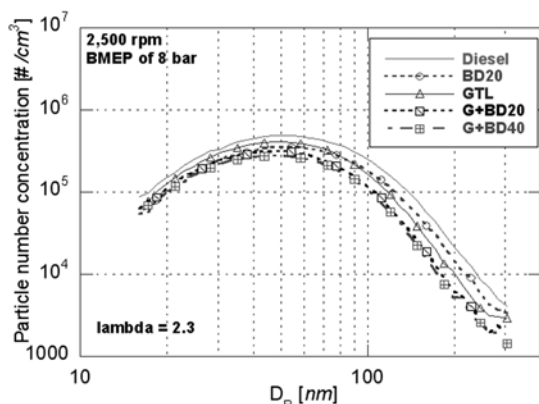


Fig. 7 Comparisons of particles size distributions for various fuels at the engine speed of 2,500 rpm and BMEP of 8 bar (without EGR)

에 나타난 것처럼, 전체 PM 질량 농도에는 크게 영향을 미치지 않았다.

동일 운전 조건에서 EGR을 적용하지 않는 경우의 PM 입자 분포 특성을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5와 같이 EGR 적용 경우와는 달리, PM 입자 크기의 전 영역에서 바이오디젤의 첨가에 따라 수 농도가 저감되는 현상을 나타나고 있다. 이것은 바이오디젤에 함유된 산소 성분에 의해 연소 및 산화가 촉진되고, 연소실 내부의 공연비가 희박하여 PM의 산화를 위한 가용 산소량이 증가했기 때문인 것으로 판단된다. EGR이 적용되지 않은 조건에서 연소실 내 평균 공기/연료비는 EGR이 적용된 조건에 비해 2배에 달하는 공연비를 가지는 조건으로, 연소 온도의 상승 및 바이오디젤 혼합비 증가에 따른 산소 함유량 증가로 크기가 작은 핵형성 모드의 입자들뿐만 아니라 축적 모드의 입자상 물질 또한 감소하는 것을 확인하였다.

이러한 현상은 Fig. 7에 나타난 것과 같이 실제 엔진 조건 상, EGR이 적용되지 않는 엔진 회전속도 2,500rpm, BMEP 8bar의 상대적으로 높은 회전속도·부하의 운전영역에서 바이오디젤 함유에 따른 입자상 물질의 저감 특성과 동일한 경향을 나타냄을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

승용 디젤엔진에서 기존 디젤 연료, 디젤 대체연

료인 GTL, 바이오디젤과의 혼합유를 사용하여, 연소 특성 및 배기 배출물 특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 디젤, GTL, 바이오디젤의 혼합유에 대한 배출물 특성 분석 결과, 디젤80%와 바이오디젤 20% 혼합유의 경우, 디젤연료 대비, THC와 CO는 15~25% PM의 경우, 50% 저감되는 특성을 나타내었으며, NOx는 5% 향상되는 특성을 나타내었다.
- 2) GTL 연료의 경우, 높은 세탄가와 낮은 황과 방향족 탄화수소 함유량으로 인해 바이오디젤을 20% 혼합한 경우, GTL 연료대비 가스상 배출물의 저감특성은 미비하였으나, 바이오디젤의 함산소 성분에 의한 PM의 저감 특성은 GTL 연료 대비 30% 저감되는 특성을 나타내었다.
- 3) GTL 연료에 바이오디젤 연료를 혼합할 경우, 바이오디젤의 부피비 기준 40% 수준으로 혼합비를 높일 경우, 가스상 배기 배출물 뿐만 아니라 입자상 물질 또한 가장 큰 저감을 이룰 수 있었다.
- 4) PM 수농도 및 크기 분포 특성의 경우, EGR 적용으로 연소실 공연비가 상대적으로 낮은 저 부하 운전 영역에서는 바이오디젤 함유에 핵형성 모드 영역에서의 수분포가 증가하는 특성을 나타내었으나, EGR을 적용을 하지 않는, 상대적으로 공연비가 높은 고부하 운전 영역에서는 함산소 성분에 의한 연소와 산화 촉진효과가 상대적으로 크게 나타나 전 영역에서 입자상 물질의 수분포가 감소하는 특성을 나타내었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 “미래형 자동차 배기가스 제로화 기술개발” 사업의 일부로 수행되었으며, EURO IV 규제 대응 엔진을 제공하여 준 현대자동차에 감사드립니다.

References

- 1) J. Czerwinski, Y. Zimmerli, T. Neubert, A. Heitzer and M. Kasper, “Injection, Combustion and (Nano) Particle Emissions of a Modern HD-Diesel Engine with GTL, RME & ROR,” SAE 2007-01-1515, 2007.

- 2) N. Uchida, H. Hirabayashi, I. Sakata, K. Kitano, H. Yoshida and N. Okabe, "Diesel Engine Emissions and Performance Optimization for Neat GTL Fuel," SAE 2008-01-1405, 2008.
- 3) Y. G. Lee, G. F. Moon, K. N. Choi, D. S. Jeong, B. J. Kim and K. O. Cha, "Emission Characteristics of GTL (Gas to liquid) Fuel in Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.16, No.5, pp.84-91, 2008.
- 4) S. C. Gwoak, C. Y. Seo, D. I. Kang, J. M. Park, Y. S. Yim, C. S. Hwan, M. D. Eom, J. C. Kim, Y. J. Lee, Y. D. Pyo, C. S. Jung and E. J. Jang, "The Characteristics of Exhaust Gas Emissions with GTL Fuel," Transactions of KSAE, Vol.15, No.6, pp.17-22, 2007.
- 5) M. Lapuerta, J. Rodríguez-Fernández and J. R. Agudelo, "Diesel Particulate Emissions from Used Cooking Oil Biodiesel," Bioresource Technology, Vol.99, pp.731-740, 2008.
- 6) R. A. Candeia, M. C. D. Silva, J. R. Carvalho Filho, M. G. A. Brasilino, T. C. Bicudo and I. M. G. Santos, "Influence of Soybean Biodiesel Content on Basic Properties of Biodiesel-diesel Blends," Fuel, Vol.88, pp.738-743, 2009.
- 7) M. Lapuerta, O. Armas and J. Rodríguez-Fernández, "Effect of Biodiesel Fuels on Diesel Engine Emission Emissions," Progress in Energy and Combustion Science, Vol.34, pp.198-223, 2008.
- 8) A. K. Agarwal, "Biofuels (Alcohols and Biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines," Progress in Energy and Combustion Science, Vol.33, pp.233-271, 2007.
- 9) X. Li, Z. Huang, J. Wang and W. Zhang, "Particle Size Distribution from a GTL Engine," Science of the Total Environment, Vol.382, pp.295-303, 2007.
- 10) W. Liu, Z. Huang, J. Wang, X. Qiao and J. Hou, "Effects of Dimethoxy Methane Blended with Gas-To-Liquids on Particulate Matter Emissions from a Compression-Ignition Engine," Energy & Fuels, Vol.22, pp.2307-2313, 2008.
- 11) F. Wu, J. Wang, W. Chen and S. Shuai, "A Study on Emission Performances of a Diesel Engine Fueled with Five Typical Methyl Ester Biodiesels," Atmospheric Envrionments, pp.1481-1485, 2009.