

GTL/바이오디젤 혼합 연료의 연소 및 배기배출물 특성에 관한 실험적 연구

문 건 필¹⁾ · 이 용 규^{*2)} · 최 교 남²⁾ · 정 동 수²⁾

과학기술연합대학원대학교¹⁾ · 한국기계연구원²⁾

An Experimental Study on the Combustion and Emission Characteristics of Blends of GTL / Biodiesel in Diesel Engine

Gunfeel Moon¹⁾ · Yonggyu Lee^{*2)} · Kyonam Choi²⁾ · Dongsoo Jeong²⁾

¹⁾Department of Clean Environmental System, UST, Daejeon 305-806, Korea

²⁾ECO Machinery Division, Engine Research Team, KIMM, 171 Jang-dong Youseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

(Received 12 January 2009 / Accepted 13 April 2009)

Abstract : An experimental research with 2.0 liter 4-cylinder turbocharged diesel engine was carried out to investigate the combustion and emission characteristics for various alternative fuels. The conventional diesel fuel, neat GTL, blends of 80% of GTL and 20% of biodiesel derived from waste cooking oil are utilized without any modification of engine hardware and ECU data. For GTL and blends of GTL/biodiesel fuel, the ignition delay decreased at the same operating conditions, and overall combustion duration increased slightly. Also, the peak cylinder pressure increased for blends of GTL/biodiesel compared to diesel and GTL fuel. THC and CO emissions with blends of GTL/biodiesel compared to other fuels decreased for the low and middle load conditions. But NO_x emission increased due to oxygen content in biodiesel. The number concentrations of PM are higher for blends of GTL/biodiesel than other test fuels in the nucleation mode, while it had an opposite tendency in the accumulation mode, which implies more reduction of PM for blends of GTL/biodiesel on the base of mass concentration.

Key words : Alternative diesel fuel(디젤 대체연료), GTL(Gas to Liquid, 지티엘), Biodiesel(바이오디젤), Ignition delay(점화 지연), Emission characteristics(배출물 특성), PM(Particulate Matters, 입자상물질)

1. 서 론

최근 자동차 관련 연구 분야는 한정된 화석연료의 고갈에 따른 에너지 안정성 확보를 위한 효율향상에 관한 연구와 점차 강화되고 있는 자동차 배기배출물 규제 대응을 위한 유해 배출물 저감 연구로 크게 나누어진다. 이러한 연구들은 전기점화(SI; Spark Ignition) 엔진에 비해 효율이 높은 압축착화(CI; Compression Ignition) 엔진 분야에서 보다 활발

하게 진행되고 있다. 그러나 압축착화 엔진 고유의 문제인 높은 수준의 질소산화물(Nitrogen Oxides) 배출물과 디젤 입자상물질(PM; Particulate Matters) 배출 특성은 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다.

이러한 높은 수준의 배기배출물을 줄이기 위한 노력으로 다양한 분야의 연구들이 진행되고 있는데, 첫째 방법은 원천적인 배출물 저감기술로서, 실린더 내의 연소 제어를 통해 배출물을 줄이는 방법이다. 균일예혼합 압축착화(HCCI; Homogeneous Charged Compression Ignition), 저온 연소(LTC; Low

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

Temperature Combustion), 고압 분사 제어(injection control), 배기 가스 재순환(EGR; Exhaust Gas Recirculation) 등의 연구가 그 예라 할 수 있다. 둘째 방법은 연소 후 생성된 유해 배출물 처리기술로서, 매연 여과 장치(DPF; Diesel Particulate Filter)와 선택적 촉매변환 시스템(SCR; Selective Catalytic Reduction)과 같은 후처리 시스템 적용에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 이와 병행하여 연료 품질향상을 통한 배출물 저감 연구로서, DME(Dimethyl Ether), GTL(Gas to Liquid), BTL(Biomass to Liquid), CTL(Coal to Liquid) 등의 디젤 대체연료에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 이 중 GTL은 가스화(gasification), Fisher-Tropsch 합성(FT-synthesis), 수소화분해(hydrocracking) 등의 일련의 과정을 통해 제조된 액화 디젤 대체연료로, 세탄가가 높으며, soot의 전구물질(precursor)인 황 성분 및 다방향족 탄화수소 성분이 거의 없고, 낮은 수준의 배기배출물 특성 때문에 차세대 청정연료로 주목받고 있다.¹⁾

GTL연료에 대한 국내의 선행연구로, GTL 연료를 이용한 2.0리터 커먼레일 디젤 차량에서의 FTP 75 모드 시험 결과, 디젤 연료 적용 시의 배기배출물에 비해, THC, PM, NOx는 50%, 21%, 12% 각각 저감되는 특성을 보였다.²⁾ 또한 GTL 연료의 분사 특성에 대한 연구³⁾와 GTL 연료와 USLD 혼합 비율 및 분사 펌프의 종류에 따른 배기배출물 특성에 관한 연구⁴⁾ 등, 국내에서도 최근 GTL 연료의 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 엔진 하드웨어의 수정을 통한 GTL 연료의 엔진 최적화를 위해 연소 및 배기배출물 특성을 개선하려는 시도가 있지만,⁵⁾ 일반 상용 디젤엔진에 ECU 맵 값의 변화 혹은 엔진 하드웨어상의 수정 없이 GTL 연료를 사용할 수 있는 장점이 있다.

이러한 합성 가스(synthetic gas) 대체연료 외에, 바이오에탄올-바이오디젤 같은 바이오 연료 또한 주목받고 있다. 이러한 바이오 연료들은 이산화탄소 중립 사이클(CO₂ neutral cycle) 특성을 가지고 있기 때문에, 연료특성상 기본적으로 대표적 온실효과 가스(GHG; Greenhouse Gas)인 CO₂의 저감 효과를 가지고 있다.⁶⁾ 바이오디젤의 주원료로는 대두유(soybean oil), 유채씨유(rapeseed oil), 폐식용유(waste

cooking oil), 야자유(palm oil) 등이 널리 이용되고 있으며, 기존 디젤 연료와 혼합하여 사용할 수 있고, 순수 바이오디젤 원유를 사용할 수도 있다. 하지만 장시간으로 바이오디젤 원유 사용 시, 인젝터 막힘(injector coking), 링 소착(ring sticking), 인젝터 퇴적물(injector deposits) 등의 문제 때문에,⁷⁾ 기존 디젤 연료와 바이오디젤 혼합유의 적용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 일반적으로 디젤/바이오디젤 혼합유의 적용 시 바이오디젤 내의 산소 성분 때문에 THC, CO 등의 가스상 배기배출물과 입자상 배기배출물이 줄어들지만, 비교적 높은 수준의 NOx 배기배출물 특성을 가진다.⁸⁾

GTL 연료를 사용할 경우, 가스상 배기배출물 특성뿐만 아니라 입자상물질 저감 특성은 디젤 연료에 비해 향상되지만, 대표적인 온실효과 가스(GHG; Greenhouse gas)의 하나인 CO₂ 배기배출물은 다른 배기배출물의 저감효과에 비해 상대적으로 낮은 특성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 GTL 연료와 CO₂ 배기배출물 저감 특성이 우수한 바이오디젤(20 vol. %)의 혼합을 통해, 유해 배기배출물 저감과 동시에 CO₂ 배출물의 추가적인 저감을 위한 연구를 수행하였다. 또한 GTL과 바이오디젤의 혼합에 따른 엔진 연소 특성 및 배기배출물 특성에 관한 연구는 디젤/바이오디젤 혼합유에 비해 아직 소수의 연구에 불과⁹⁾하고, 국내에서의 GTL/바이오디젤 혼합유 적용에 대한 연구는 전무한 실정에서, 디젤 대체연료의 적용에 관한 연구들에 중요한 기초자료를 제공할 것으로 판단된다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에 사용된 엔진은 2.0리터 승용 디젤 엔진으로서 CRDi(Common Rail Direct injection) 방식의 연료 분사 시스템과 SOHC(Single Overhead Camshaft) 타입의 밸브 시스템을 가지고 있으며, VGT(Variable Geometry Turbocharger) 터보차저를 장착하고 있는 EURO IV 규제 대응 엔진이다. 하지만 본 연구에서는 실린더 내의 연소 특성 및 배기 배출물 특성을 살펴보기 위하여 어떠한 후처리 장치도 장착하지 않은 상태에서 실험을 수행하였다. Table 1에 본 연구에 사용된 엔진의 구체적인 사양을 나타

Table 1 Specifications of experimental engine

| Items | Specifications |
|---------------------|------------------------------|
| Displacement volume | 1996 cc |
| Bore × Stroke | 83mm × 92mm |
| Compression ratio | 17.7 |
| Intake system | Intercooled VGT turbocharger |
| Valve system | SOHC 4 valves |
| Fuel supply system | Common rail direct injection |

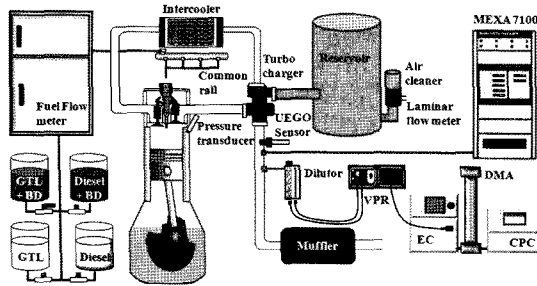


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

내었으며, 실험장치 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

연소 특성 분석을 위하여 4번 실린더의 글로우 플러그 위치에 압력 센서(kistler, 6052C)와 이의 설치를 위한 어댑터(kistler 6542Q27)를 장착하여, 엔코더 신호와 동기시켜 연소실 압력을 크랭크 각 1도 단위로 측정하였으며, 이를 바탕으로 열발생을 특성 살피보았다. 그리고 흡입 공기량 측정을 위해 흡기 레저버(reservoir)의 상단에 증류 유량계(meriam Inst. 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 회전형 방식의 희석기(rotary-type diluter)를 통과시켜 EC (Electrostatic Classifier), DMA (Differential Mobility analyzer)와 CPC (Condensation Particle Counter)로 구성된 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)를 이용하여 입자상물질의 수 농도 및 입자 크기 분포를 측정하였다. 이 때 휘발성 미연 탄화수소 성분을 제거하기 위해 VPR (Volatile Particle Remover)을 사용하였다.

Table 2 Properties of test fuels

| Parameter | Diesel | GTL | Biodiesel | |
|-------------------------------------|--------|-------|-----------|-------|
| Element | C | 85.22 | 84.48 | 77.26 |
| | H | 14.02 | 15.24 | 11.95 |
| Density [kg/m ³ @15°C] | 829.4 | 777.1 | 886.4 | |
| Viscosity [mm ² /s@40°C] | 2.616 | 2.567 | 4.189 | |
| Cetane number | 54 | 86 | - | |
| Polyaromatic [wt%] | 1.7 | <0.1 | - | |
| Sulfur [mg/kg] | 3 | <1 | 2 | |
| Cold filter pugging point [°C] | -28 | -20 | -2 | |
| LHV [MJ/kg] | 42.78 | 43.63 | 36.85 | |
| Flash point [°C] | 50 | 89 | 65 | |

엔진 운전 조건은, 엔진 회전 속도, 1,500 rpm 과 2,500 rpm이며, 저중부하 조건인 BMEP(Brake Mean Effective Pressure) 기준 4, 8, 12bar에서 실험을 수행하였으며, 각각의 운전 조건에서 디젤, GTL 연료, GTL과 폐식용유를 이용하여 제조한 바이오디젤 혼합유에 대해 실험을 수행하였다. 본 연구에 사용된 각 연료의 특성을 Table 2에 나타내었다. GTL연료는 세탄가와 저위 발열량이 다른 두 연료에 비해 높은 반면, 황 함유량과 다중 방향성 탄화수소량은 극히 적었다. 바이오디젤의 경우, 점성이 가장 높았으며, 황 함유량은 GTL보다 높았지만, 디젤 연료보다는 낮은 함량 수준을 나타내었다.

3. 실험 결과

본 연구에서는 엔진 하드웨어와 ECU 맵의 수정 없이 기존 디젤 연료, 차세대 디젤 대체연료인 GTL, 그리고 GTL 연료와 폐식용유를 이용하여 제조된 바이오디젤 혼합유 등, 세 종류의 연료에 따른 연소 특성 및 배기 배출물 특성을 살펴보았다.

3.1 연소 특성

상용 CRDi 디젤 엔진에서는 엔진 회전 속도와 부하에 따라 연료의 다중분사(multiple injection) 방식을 채택하고 있으며, Fig. 2의 운전조건에서는 삼단(triple injection; pilot injection, pre-injection and main injection) 연료 분사, Fig. 3의 운전 조건의 경우, 이단(double injection: Pilot injection and main injection)으로 연료 분사가 제어된다.

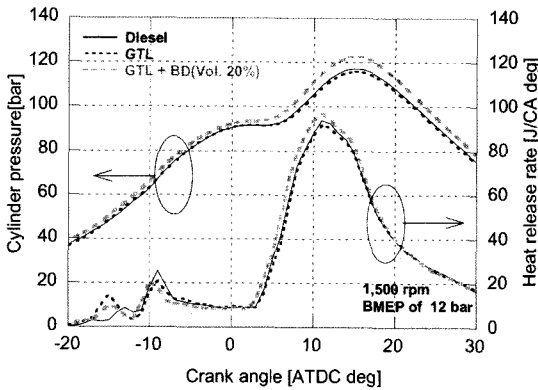


Fig. 2 Comparisons of cylinder pressure and heat release rate with various fuels at the engine speed of 1,500 rpm and BMEP of 12 bar

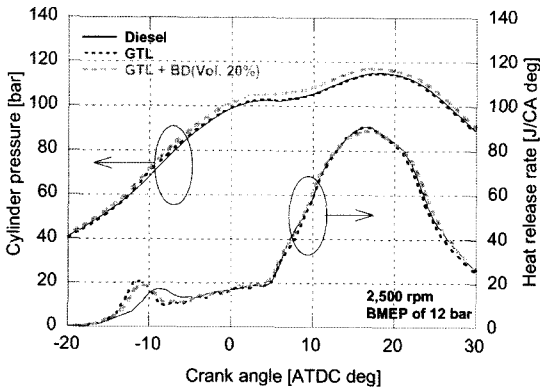


Fig. 3 Comparisons of cylinder pressure and heat release rate with various fuels at the engine speed of 2,500 rpm and BMEP of 12 bar

엔진 회전 속도 1,500 rpm, BMEP 12bar 조건에서 연료에 따른 실린더 압력과 열발생율 특성을 Fig. 2에 나타내었다. 동일한 파이롯 분사 시기에도 불구하고, GTL 연료의 높은 세탄가와 빠른 무화 특성으로 인해 열발생율의 상승 시점이 크랭크 각도로 2~3도 진각되는 것을 확인하였고, GTL/바이오디젤 혼합유의 경우 또한, GTL 연료의 영향으로, 열발생율 곡선이 디젤 연료에 비해 먼저 상승함을 확인하였다. 반면 pre-injection 구간과 주 분사시기에서 GTL/바이오디젤 혼합유의 경우, 열발생율 곡선의 상승이 가장 먼저 일어났는데, 이는 Table 2에 나타낸 바와 같이 바이오디젤의 높은 점도와 체적 탄성률 (bulk modulus) 등과 같은 연료 특성에 의한 분사 시

기의 진각 때문으로 판단되며, 이는 여러 선행 연구와 일치하는 경향을 보였다.^{6,10)}

또한 GTL/바이오디젤 혼합유의 경우 연소실 최고 압력이 다른 연료에 비해 높음을 알 수 있었으며, 이는 바이오디젤의 높은 점성으로 인해 분사되는 연료량의 증가 때문으로 판단된다. 연소기간 또한 다른 연료에 비해 다소 증가하였는데, 이는 연소실 온도의 상승을 의미하며, 높은 수준의 NOx 배기 배출 특성을 예상할 수 있었다.

Fig. 3은 엔진 회전속도 2,500 rpm, BMEP 12bar 조건에서의 결과로, Fig. 2의 결과와 동일하게, GTL 및 GTL/바이오디젤 혼합유의 경우 열발생율 곡선의 상승이 먼저 일어남을 확인할 수 있었고, GTL/바이오디젤 혼합유의 적용 시, 연소실 압력이 다른 연료에 비해 높은 수준을 보였다.

3.2 가스상 배기배출물 특성

배기분석기를 사용하여 가스상 배기배출물에 대한 신호들을 90초 동안 측정·평균하여 데이터 취득 시스템에 기록하였으며, 각 측정 조건에 대해 배기 온도가 일정할 경우 측정을 시작하였다. 엔진 회전 속도 1,500 rpm과 2,500 rpm, 저·중부하 조건에서, 연료에 따른 가스상 배기배출물 특성 결과를 살펴보았다.

THC와 CO 배기배출물 특성을 Fig. 4, 5에 각각 나타내었다. GTL연료의 경우, 엔진 회전 속도에 상관없이, THC와 CO 배기배출물은 GTL의 높은 세탄가와 빠른 무화 특성 때문에 기존 디젤 연료에 비해 탁월한 저감 효과를 확인할 수 있었다. 반면, 엔진 회전 속도 1,500 rpm에서, 바이오디젤 혼합유의 경우 순수 디젤 연료 혹은 GTL 연료보다 우수한 저감 특성을 보였는데, 이는 바이오디젤 내의 산소성분에 의해 나타난 우수한 연소 특성 때문으로 판단된다. 엔진 회전 속도 2,500 rpm에서도 GTL 연료의 경우, THC와 CO 배출물은 우수한 저감 효과를 보였으며, 저속에 비해 바이오디젤 혼합유 적용에 따른 저감 효과는 상대적으로 적게 나타났다.

Fig. 6에 나타낸 연료 소비율과 직접적으로 관련된 CO₂ 배출특성의 경우, GTL 연료 사용 시 디젤 연료에 비해 최대 10%까지 저감되는 특성을 나타내었

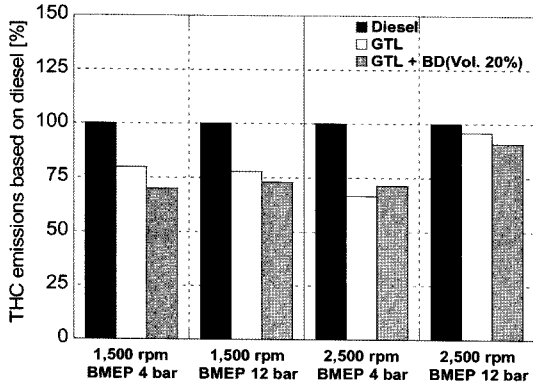


Fig. 4 Comparisons of THC emissions with various fuels at the engine speed of 1,500 rpm

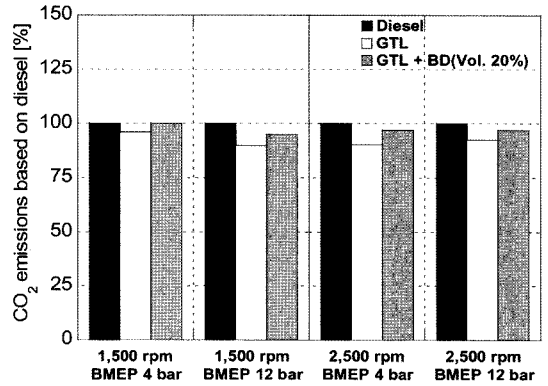


Fig. 6 Comparisons of CO₂ emissions with various fuels at the engine speed of 1,500 rpm

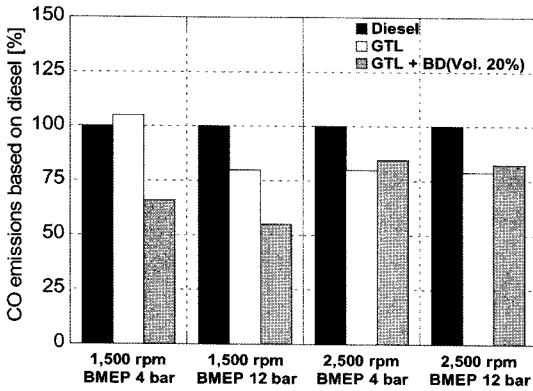


Fig. 5 Comparisons of CO emissions with various fuels at the engine speed of 1,500 rpm

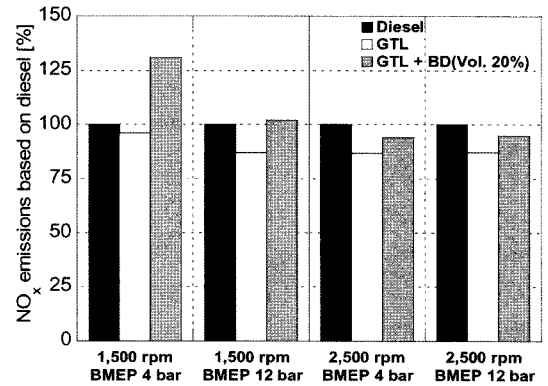


Fig. 7 Comparisons of NO_x emissions with various fuels at the engine speed of 1,500 rpm

다. GTL/바이오디젤 혼합유의 경우, GTL연료와 비교하였을 경우, 다소 높은 수준의 CO₂ 배출 특성을 보였고, 기존 디젤 연료와 비교하였을 경우, 거의 동등하거나 다소 감소되는 경향을 보였다. 하지만, 바이오디젤이 바이오 연료의 특성인 CO₂ neutral cycle에 의한 기본적인 CO₂ 저감 특성을 감안하면, 디젤 연료에 비해 CO₂저감 측면에서의 우수한 효과를 확인할 수 있었다.

Fig. 7에 연료에 따른 NO_x 배출물 특성을 나타내었다. GTL 연료와 바이오디젤 혼합유의 사용 시, 모든 조건에서 GTL 연료보다 높은 수준의 NO_x 배출 특성을 보였는데, 이는 바이오디젤 연료의 산소 함유량과 분사시기의 진각 때문인 것으로 판단되며, Fig. 2, 3에 나타낸 것과 같이, 높은 연소 압력 및 상대적으로 긴 연소 기간 때문에 높은 수준의 NO_x 배

출 특성을 보인 것으로 판단된다. 2,500 rpm의 경우, GTL/바이오디젤 혼합유의 사용에도 불구하고, 기존 디젤 연료보다 낮은 NO_x 배기배출물 특성을 확인할 수 있었으며, 이는 GTL/바이오디젤 혼합유 적용에 따른 배기배출물 저감 가능성을 확인할 수 있는 결과로 판단된다.

3.3 입자상 배기배출물 특성

일반적으로 디젤 에어로졸은 입자 크기 분포와 성분에 따라 세 모드로 나누어진다. 핵형성 모드 (nucleation mode)는 입자 크기 분포 영역이 5~50nm이며, 휘발성 입자와 탄소성분과 금속 성분 등의 혼합물로 구성되어 있다. 수 농도 기준으로 디젤 입자 상물질의 대부분을 차지하지만, 질량 기준으로는 1~20% 정도에 불과하다. 이에 반해, 탄소 성분의 덩

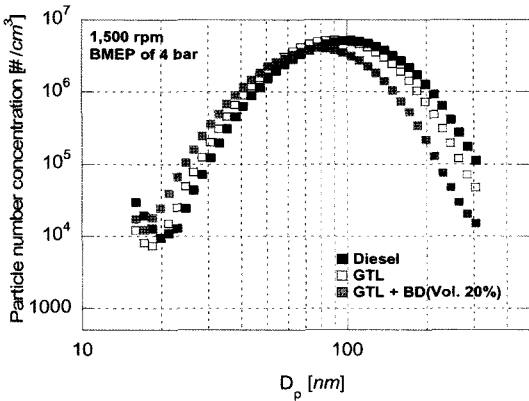


Fig. 8 Comparisons of PM number concentration and size distributions with various fuels at the engine speed of 1,500 rpm, BMEP of 4 bar

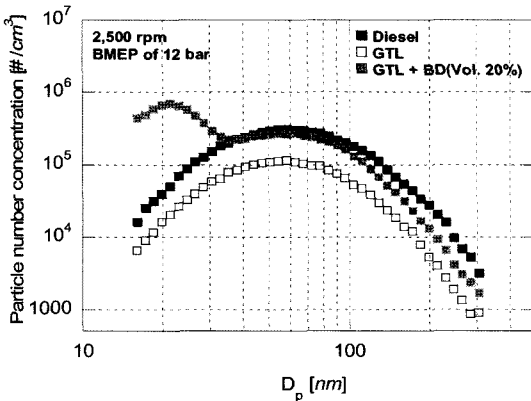


Fig. 9 Comparisons of PM number concentration and size distributions with various fuels at the engine speed of 2,500 rpm, BMEP of 12 bar

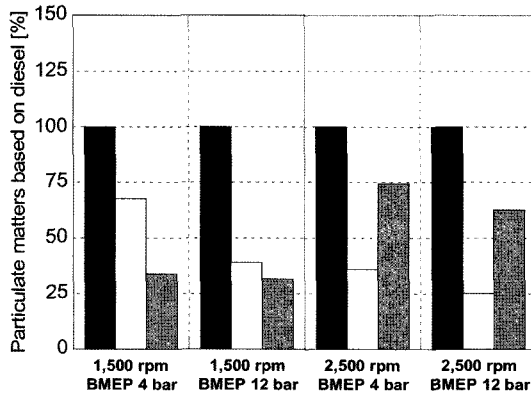


Fig. 10 Comparisons of PM mass concentration with various fuels at the engine speed of 1,500 rpm and 2,500 rpm

어리들(agglomerates)과 그것들의 표면에 부착된 휘발성의 물질로 구성되는 축적 모드(accumulation mode)는 50.0nm~0.1 μ m의 입자 크기 분포 영역을 가지며, 질량기준으로 디젤 엔진에서 배출되는 입자 상물질 질량 대부분을 차지한다. 마지막으로 1 μ m보다 큰 영역대의 입자 분포 영역을 가지는 coarse mode로 구성된다.¹¹⁾

연료에 따른 디젤 입자상물질의 수 농도 및 입자 크기분포를 Fig. 8, 9에 나타내었다. 엔진 회전 속도 1,500rpm, BMEP 4bar 조건의 경우, 핵형성 모드에서, GTL/바이오디젤 혼합유, GTL, 기존 디젤 연료 순으로 수 농도 분포를 보였으며, 축적 모드에서는 핵형성 모드와 역순으로 수 농도 분포를 가졌다. 이러한 수 농도의 역전 현상은 질량 단위로 환산할 경우, Fig. 10에 나타낸 것처럼 1,500 rpm의 경우, GTL/바이오디젤 혼합유의 저감 효과가 가장 우수하였다. 반면 Fig. 9와 Fig. 10의 2,500 rpm 조건의 결과를 살펴보면, 핵형성 모드에서 GTL/바이오디젤의 수 농도가 급격하게 증가하였다, 이는 엔진 회전 속도가 높아짐에 따라 바이오디젤 연료 사용에 따른 입자상물질들의 순간 응축과 바이오디젤 내에 함유된 SOC(Soluble Organic Carbon) 성분에 의한 것으로 판단된다.

4. 결론

승용 디젤엔진에서 기존 디젤 연료, 디젤 대체연료인 GTL, 폐식용유를 재활용하여 제조한 바이오디젤과 GTL의 혼합유를 사용하여, 연소 특성 및 배기배출물 특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일한 파이롯 분사 시기에서, GTL 연료와 GTL/바이오디젤 혼합유의 경우, 열발생을 곡선의 상승 시점이 진각되는 것을 확인할 수 있었고, pre-injection 구간과 주 분사시기에서 GTL/바이오디젤 혼합유의 경우, 바이오디젤의 높은 점도와 체적 탄성률(bulk modulus) 등의 영향으로 분사 시기의 진각을 확인하였다.
- 2) GTL/바이오디젤 혼합유 사용 시, 바이오디젤내의 함 산소 성분 영향으로, THC와 CO 배출물의 저감 특성이 기존 연료들에 비해 우수하였다.

NOx 배출물의 경우, 바이오디젤의 산소 성분과 높은 연소실 압력에 기인하여 높은 배출 특성을 보였다. CO₂ 배출물은 디젤, GTL/바이오디젤 혼합유, GTL 연료 순이었지만, 바이오디젤의 CO₂ neutral cycle을 고려한다면 우수한 저감 특성을 가질 것으로 판단된다.

- 3) 엔진 회전 속도 1,500rpm, 저 부하 조건의 경우, 핵형성 모드에서 GTL/바이오디젤 혼합유, GTL, 일반 디젤 연료 순으로 수 농도 분포가 많았으며, 축적 모드에서는 핵형성 모드와 역순이었다. 이를 질량 기준으로 환산할 경우, GTL/바이오디젤 혼합유가 가장 우수한 저감 특성을 가졌으며, 2,500 rpm의 경우, 핵형성 모드에서의 급격한 수 농도 증가를 보였는데, 이는 바이오디젤 첨가에 따른 입자상물질의 순간적인 응축 때문으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 “미래형 자동차 배기가스 제로화 기술개발” 과제의 일부로 수행되었으며, EURO IV 규제 대응 엔진을 제공해준 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 2007-01-2015.
- 2) Y. Lee, G. Moon, K. Choi, D. Jeong, B. Kim and K. Cha, “Emission Characteristics of GTL (Gas to liquid) Fuel in Diesel Engine,” Transactions of KSAE, Vol.16, No.5, pp.84-91, 2008.
- 3) S. Gwoak, C. Seo, D. Kang, J. Park, Y. Yim, C. Hwan, M. Eom, J. Kim, Y. Lee, Y. Pyo, C. Jung and E. Jang, “The Characteristics of Exhaust Gas Emissions with GTL Fuel,” Transactions of KSAE, Vol.15, No.6, pp.17-22, 2007.
- 4) K. S. Kim, V. Beschieru, D. S. Jeong and Y. Lee, “Experimental Investigation and Comparison of Spray and Combustion Characteristics of GTL and Diesel Fuels,” Int. J. Automotive Technology, Vol.8, No.3, pp.275-281, 2007.
- 5) Koji Kitano, Seitara Misawa, Masaaki mori, Ichiro Sakata and Richard H. Clark, “GTL Fuel Impact on DI Diesel Emissions,” SAE 2007-01-2004, 2007.
- 6) M. Lapuerta, O. Armas, J. Rodríguez-Fernández, “Effect of Biodiesel Fuels on Diesel Engine Emissions,” Progress in Energy and Combustion Science, Vol.34, pp.198-223, 2008.
- 7) 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.
- 8) Md. Nurun Nabi, Md. Shamim Akhter, Mhia Md. Zaglul Shahadat, “Improvement of Engine Emissions with Conventional Diesel Fuel and Diesel-biodiesel Blends,” Bioresource Technology, Vol.97, pp.372-378, 2006.
- 9) D. Lamprecht, “Elastomer Compatibility of Blends of Biodiesel and Fischer-Tropsch Diesel,” SAE 2007-01-0029, 2007.
- 10) A. L. Boehman, D. Morris and J. Szybist, “The Impact of the Bulk Modulus of Diesel Fuels on Fuel Injection Timing,” Energy and Fuels, Vol.18, pp.1877-1882, 2004.
- 11) J. M. Desantes, V. Bermúdez, J. V. Pastor and E. Fuentes, “Methodology for Measuring Exhaust Aerosol Size Distributions from Heavy Duty Diesel Engines by Means of a Scanning Mobility Particle Sizer,” Meas. Sci. Technol. Vol.15, No.10, pp.2083-2098, 2004.