

바이오디젤 혼합연료를 적용한 커먼레일 디젤엔진에서 파일럿 분사에 따른 연소 및 배기 특성

정규수* · 이동곤* · 노현구** · 이창식****

Effect of Pilot Injection on Combustion and Exhaust Emissions Characteristics in a Biodiesel Fueled Diesel Engine

Kyusoo Jeong, Donggon Lee, Hyun Gu Roh and Chang Sik Lee

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the effect of pilot injection strategy on the combustion and emissions characteristics in a four cylinder common-rail direct injection diesel engine fueled with biodiesel(soybean oil) blend. The tested fuel was mixed of 20% biodiesel and 80% ULSD(Ultra low sulfur diesel) by volume ratio. The experiments were performed under two load conditions, and results were compared with those of single injection. The experimental results showed that the ignition delay of BD20 was shorter than compared to that of ULSD in the case of low load condition. Also, the fuel consumption of BD20 was more higher than that of ULSD. Fuel consumption by applied pilot injection strategy were generally decreased compared with that of single injection. In the case of pilot injection, the exhaust emissions such as CO and HC emissions were decreased compared to the single injection.

Key Words : Biodiesel(바이오디젤), Pilot injection(파일럿 분사), Combustion characteristics(연소 특성), Emission characteristics(배기 특성)

기 호 설 명

m_p : pilot injection quantity
 P_{inj} : injection pressure

t_m : main injection timing
 t_p : pilot injection timing

1. 서론

디젤엔진은 연소실내 분사된 연료가 고온, 고압의 상태에서 자기착화를 통해 연소하기 때문에 엔진에서 발생하는 열에너지가 일로 변환하는 과정이 빠르고 이를 통하여 높은 열효율과 우수한 성능을 얻을 수 있다. 또한, 연소 후 배출되는 가스도 가솔린 엔진과 비교하여 이산화탄소(CO₂)와 미연탄화수소(HC)가 적게 배출되는 장점이 있다. 그러나 연소과정에서 발생하는 다량의 질소산화물(NO_x)과 입자상 물질(P.M. Particulate matter)이 대기에 배출되어 대기오염이 점차 심화되고 있으며, 결과적으로 인체의 호흡기 질환에

악영향을 미치게 된다. 이에 많은 연구자들은 디젤엔진의 단점으로 지적되고 있는 NO_x와 PM배출량의 동시저감 및 대체에너지 적용에 관한 연구를 수행하고 있다[1-3].

여러 재생에너지 중에서 대표적으로 사용되고 있는 바이오디젤(biodiesel)은 동·식물성 자원들로부터 메틸에스테르 변형과정을 거쳐 쉽게 얻을 수 있는 장점을 가지고 있으며, 기존의 엔진 구조 변경 없이 사용 가능하다. 그리고 바이오디젤은 연료 사용 후 배출되는 CO₂가스가 바이오매스의 생산과정에서 재 회수되어 대기 중의 온실가스 양을 대폭 줄여주는 역할을 함에 따라 CO₂배출 규제에 대처할 수 있는 연료이다. 이외에도, 생분해도가 높아 연료 내 독성이 비교적 낮고, 취급 및 운반이 편리하여 국내외에 보급이 확대되고 있다[4-6].

현재 진행 중인 바이오디젤 관련 연구 중에서 Lee 등[7]은 바이오디젤 혼합연료를 적용한 디젤엔진에

* 한양대학교 대학원

** 인덕대학교 기계자동차과

***한양대학교 기계공학부

† 연락저자, cslee@hanyang.ac.kr

서 엔진 회전속도와 분사압력의 변화에 따른 연소 및 배기특성에 대해 연구를 수행하였다. 그 결과, 연소 실내 분사압력이 증가할수록 바이오디젤 혼합연료의 연소압력 및 열 발생률은 점차 증가하였으며, 디젤연료를 적용한 경우와 비교하였을 때에도 열 발생률은 급격하게 발생한 것으로 보고하였다. 또한, 엔진회전속도가 증가할수록 전 구간에서 열 발생률이 감소함에 따라 NO_x 배출은 감소되었으나, 반대로 soot의 배출은 증가하여 NO_x 와 soot 배출량 사이에는 상반관계(trade-off)가 있음이 지적되었다. 또한, Zhang 등[8]과 Chen[9]은 커먼레일 시스템이 적용된 디젤 엔진에서 다양한 분사전략을 사용하여 바이오디젤의 NO_x 와 PM의 동시저감이 가능하다는 것을 입증하였다.

바이오디젤 연료를 사용하면 연소 후 발생하는 유해 배출가스 저감 등 친환경적인 장점들이 많고, 점차 대두되고 있는 화석연료 사용 증가분에 대해서도 쉽게 대응할 수 있다. 그러나 디젤 엔진에 완벽히 적용하기 위해서는 기존 연료를 적용한 경우와 마찬가지로 기본 분사 전략 및 각 부하별 조건에서 연소 특성 및 배기특성에 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구의 목적은 4기통 커먼레일 디젤 엔진 시스템에서 바이오디젤 혼합연료를 사용하여, 부하별 조건에서 파일럿 분사 전략을 함께 적용하여 연소 안정성 및 배기 배출물의 저감특성을 실험적으로 규명하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험 장치

본 연구에서는 바이오디젤 혼합연료를 적용하였을 때, 각 부하별 조건에서 파일럿 분사시기에 의한 연

소 및 배기특성을 알아보하고자 Fig. 1과 같은 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치는 4기통 직접 분사식 커먼레일 디젤엔진과 연료 공급 장치, 엔진의 부하를 제어하기 위한 EC 동력계, 엔진 제어 장치, 연소 및 성능을 분석하기 위한 데이터 취득 장치 및 배기가스 분석 장치로 구성하였다. 본 연구에 사용된 엔진은 배기량이 1.582 L이고 최고 분사압력은 160 MPa까지 제어할 수 있으며, 그 밖의 주요 제원은 Table 1

Table 1. Specification of test engine

Engine type		4-stroke VGT DI Diesel
Number of cylinder		4
Bore × Stroke (mm)		77.2 × 84.5
Displacement volume (L)		1.582
Fuel injection system		Bosch common rail
Valve type		DOHC 4 Valve per cylinder
Compression ratio		17.3
Engine management system		Bosch EDC 16
Intake valve	Open(deg. BTDC)	6
	Close(deg. ABDC)	34
Exhaust valve	Open(deg. BBDC)	46
	Close(deg. ATDC)	4
Max. Power (kW/rpm)		86/4,000
Max. Torque (Nm/rpm)		260/2,000
Max. Speed (rpm)		4,750

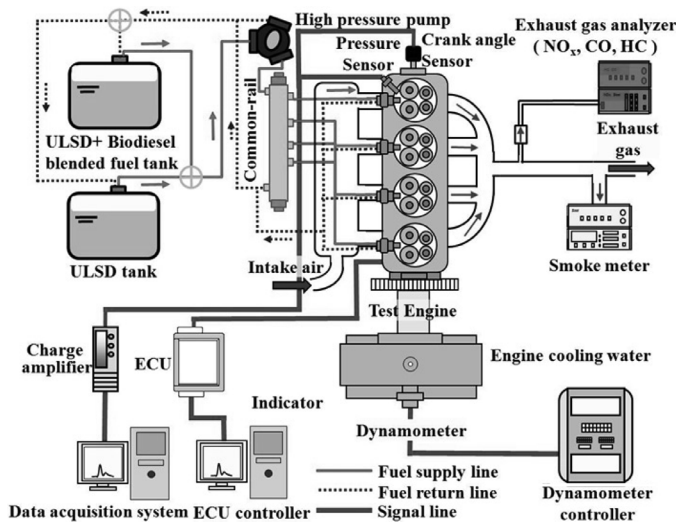


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup.

Table 2. Property of ULSD and Biodiesel fuel

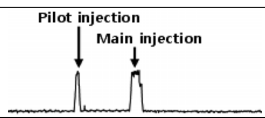
Characteristic	Diesel (ULSD)	Biodiesel (Soybean)
Cetane number	54	48~65
Carbon content (wt%)	87	77
Hydrogen content (wt%)	0.01	0
Oxygen content (%)	-	11
Sulfur content (wt%)	0.01	0
Viscosity at 40 °C (cSt)	3.11	4.75
Liquid density at 20 °C (kg/m ³)	828	884
Cloud point temp. (°C)	0	-1
Flash point temp. (°C)	59	186
Low heating value (MJ/kg)	42.5	37.4
Stoichiometric A/F ratio	14.6	14.1

과 같다. 연료는 디젤연료와 바이오디젤 혼합연료(이하 “BD20”, 바이오디젤 20%, 디젤 80%, 체적비)를 사용하였다. 또한, 엔진제어는 제어프로그램(ETAS, INCA V5.4)과 ECU(Bosch, EDC16 ETK ECU)를 사용하였고 엔진의 연소특성을 파악하기 위해 예열 플러그식 압전소자 센서(Kistler, 6057ASP)와 크랭크각 센서를 장착하고, DAQ보드(NI, PCI6251 & SC2345)와 소프트웨어(NI, Labview 8.2)를 사용하여 실시간으로 데이터를 취득하였다. 또한 엔진에서 배출되는 배기가스를 분석하기 위해 배기가스 분석 장치(Horiba, ME XA-554JK)와 매연 측정기(AVL, Smoke meter 407)를 사용하였다. Table 2는 초저유황 디젤(Ultra low sulfur diesel)과 바이오디젤(soybean oil)을 비교한 것으로 바이오디젤은 세탄가가 디젤과 비교하여 상대적으로 높기 때문에 연소 시 착화성이 우수하고 연료 분사구조 내에 산소성분이 포함되어 있어 연소과정에서 유해 배출가스가 저감되는 효과를 얻을 수 있다[10].

2.2. 실험 방법

본 실험은 파일럿 분사전략이 각 부하에 따라 연소 및 배기특성에 어떤 영향을 미치는 지 분석하기 위해 다음 Table 3과 같은 실험조건에서 실험을 수행하였다. 엔진회전속도는 1,500 rpm로 유지하였으며, 부하조건은 저부하 조건인 20%와 중부하 조건인 60% 두 가지의 조건에서 수행하였다. 분사방식은 1회 파일럿 분사를 적용하여 파일럿 분사량을 1.8 mg/cycle로 일정하게 분사하였다. 또한 파일럿 분사 시기는 BTDC 10°부터 50°까지 10°간격으로 진각하였으며, 주분사 시기는 BTDC 3°, TDC, ATDC 3° 세 구간에서 실시하였다. 그리고 파일럿 분사의 전략을 비교하기 위해 단일분사를 BTDC 9°에서 TDC까지 3°간격으

Table 3. Experimental conditions

Fuels		BD20, ULSD
Injection pressure (MPa)		50
Injection method		
Engine speed (rpm)		1,500
Cooling water temp. (K)		353 ±3
Intake temp. (K)		314 ±3
Load (%)		20, 60
Pilot quantity (mg/cycle)		1.8
Injection timing (deg. ATDC)	Main	-3°, 0°, 3°
	Pilot	-50, -40, -30, -20, -10

로 실시하였으며, 이외의 실험조건들은 파일럿 분사를 실시하였을 때와 마찬가지로 동일하게 유지하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 연소 특성

Fig. 2는 엔진 부하를 20%와 60%의 조건으로 유지한 상태에서 파일럿 분사전략에 따른 BD20연료의 연소 특성을 ULSD와 비교하여 나타낸 그래프이다.

Fig. 2(a)는 부하 20% 조건에서 파일럿 분사시기를 BTDC 30°로 고정된 상태에서 주분사 시기를 ATDC 3°부터 BTDC 3°까지 3°간격으로 진각하였을 때 따른 연소압력과 열 발생률을 나타낸 것이며, 본 연구에서는 착화지연기간을 주분사 시기부터 총 누적 열 발생량의 5% 발생시점까지로 정의하였다. 실험결과 주분사 시기를 진각할수록 연소압력과 열 발생률은 상승하는 것을 알 수 있으며, 전반적으로 BD20의 착화지연기간이 ULSD의 경우와 비교하여 다소 감소한 것을 확인할 수 있었다(TDC 분사기준 : BD20 = 8.7 °CA, ULSD = 9.6 °CA) 또한, 열 발생률은 주분사 시기가 BTDC 3°인 경우에 열 발생 기간은 29.9°이고, 주분사 시기가 TDC인 경우는 30.7°이고, 주분사 시기가 ATDC 3°인 경우는 34.2°로 나타났다. 이와 같이 주분사 시기가 늦어질수록 연소기간이 길어지는 것은 파일럿 분사와 주분사의 시간 간격이 길어질수록 파일럿 분사의 영향이 적어져서 착화된 후에 연소시간이 길어지기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 2(b)는 중부하 영역인 부하 60% 조건에서 파일럿 분사전략에 따른 연소압력과 열 발생률을 나타낸 그래프이다.

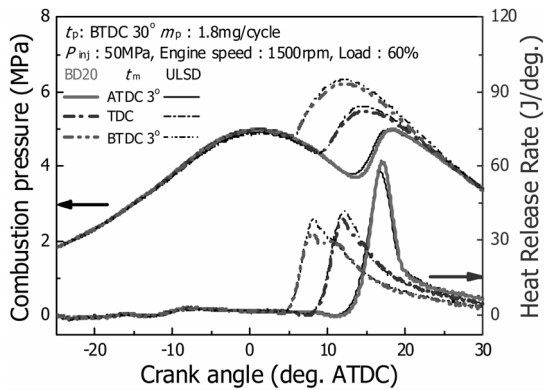
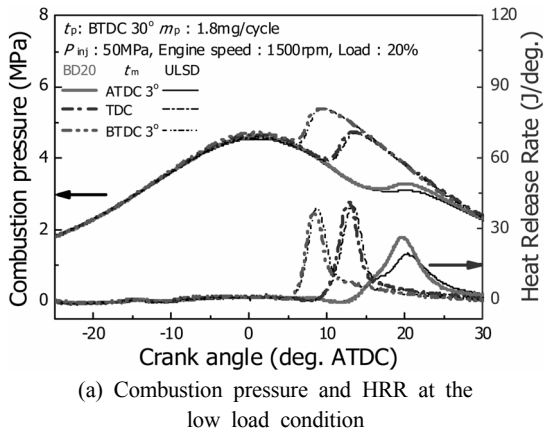


Fig. 2. Effect of pilot injection strategy on combustion characteristics.

연소 특성의 결과로는 착화지연기간의 경우 BD20과 ULSD 모두 비슷하게 나타났다. 그리고 연료에 따른 열 발생률의 결과로는 BD20을 적용하였을 때 ULSD의 경우와 비교하여 분사시기가 ATDC 3°에서 분사한 경우를 제외하고 전반적으로 열 발생률이 낮아지는 경향을 나타내었으며, 연료의 주분사 시기가 진각할수록 연소압력은 증가하지만, 열 발생률은 주분사 시기에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 주분사 시기가 BTDC 3°, TDC인 경우, 부하 60% 조건에서는 TDC 이후 분사량이 증가하여 어느 정도 열 발생에는 효과적이거나 실제 압력상승은 이미 피스톤이 하향행정 중이므로 압력은 열 발생에 상응하는 양만큼 증가하지 못하는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 BD20과 ULSD를 사용하였을 때 연소실내 연소 안정성을 분석하기 위해 파일럿 분사에 따른 최고 연소압력 변동률($COV_{P_{max}}$)과 도시유효평균압력 변동률(COV_{IMEP})을 나타낸 것이다.

Fig. 3(a) 그래프는 연소 안정성의 척도를 나타내는 최고 연소압력 변동률($COV_{P_{max}}$)으로써 부하 20% 조건에서 파일럿 분사전략을 실시하였을 때 단일분사만 실

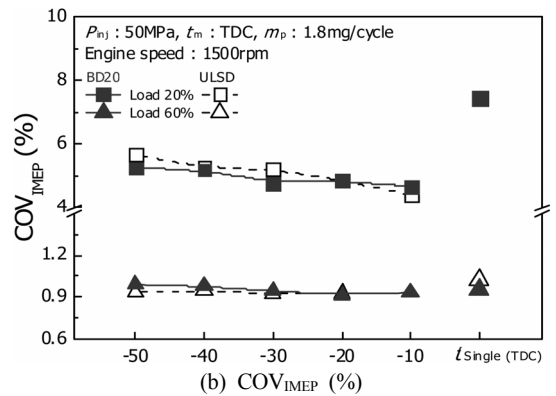
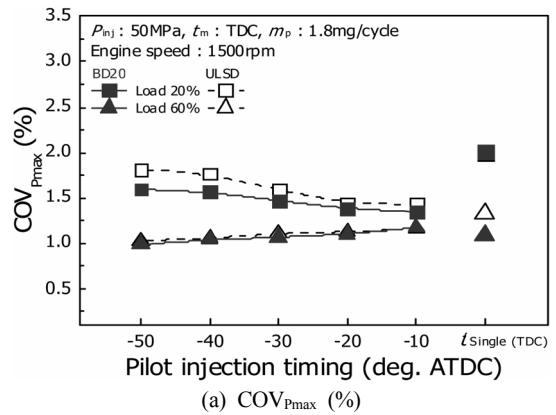


Fig. 3. Effect of pilot injection strategy on $COV_{P_{max}}$ and COV_{IMEP} .

시한 경우보다 낮게 범위에서 형성되는 것을 볼 수 있고, 파일럿 분사시기를 진각하면 $COV_{P_{max}}$ 은 점차적으로 증가되어 변동률의 범위는 약 1.3~1.8% 사이로 나타났다. 따라서 파일럿 분사시기와 주분사 시기의 간격이 가까울수록 파일럿 연료가 연소실내 안정적으로 연소가 이루어질 수 있도록 분위기 압력 및 온도조성에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이와 달리 부하 60% 조건에서의 $COV_{P_{max}}$ 은 ULSD의 경우 단일분사를 적용한 경우와 비교하여 파일럿 분사를 적용하였을 때 $COV_{P_{max}}$ 은 감소하였지만 BD20은 뚜렷한 차이를 볼 수 없었다. 또한, 파일럿 분사를 실시한 경우 $COV_{P_{max}}$ 의 범위는 1~1.2% 사이로 부하 20% 조건일 경우보다 보다 낮은 변동률 범위에서 연소가 이루어지는 것으로 나타나고 있다. 이와 같이 파일럿 분사시기의 진각에서 나타났던 경향은 문헌 [11,12]의 결과와 유사한 경향을 볼 수 있었다.

Fig. 3(b)의 도시유효평균압력 변동률(COV_{IMEP})의 경우 부하 20% 조건에서 $COV_{P_{max}}$ 와 마찬가지로 단일분사와 비교하여 파일럿 분사를 적용하는 경우 COV_{IMEP} 은 감소한 것을 볼 수 있었다. 또한, 파일럿 분사

시기를 진각할수록 COV_{IMEP} 은 점점 증가하는 것으로 나타났으며, 그 범위는 4~6% 사이로 높은 범위의 변동률을 나타내었다. 반면에 부하 60% 조건에서의 단일분사를 적용한 경우를 제외한 나머지 실험 조건 모두 0.9~1.0%의 낮은 범위의 변동률을 나타내었다. 이로써 COV_{IMEP} 은 부하 60% 조건에서 안정된 경향을 보이고 있으며, 이는 엔진의 안정된 연소실내 연소가 이루어지고 있는 것으로 판단할 수 있었다.

3.2. 엔진 성능 특성

Fig. 4는 부하별 조건에서 파일럿 분사전략에 따른 도시 출력과 도시연료소비율을 도시한 것이다. Fig. 4(a)에서 부하 20%의 경우 도시출력은 파일럿 분사를 적용하였을 때 바이오디젤 혼합연료와 디젤연료 사이에는 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나 부하 60% 조건에서는 단일분사의 도시출력과 파일럿 분사를 적용한 경우 도시출력의 변동 폭이 대체적으로 0.5 kW 이내의 범위에서 나타남에 따라 확실한 성능차이가 없는 것으로 판단된다. 부하 20% 영역의 경우 BD 20의 도시 출력은 주분사만 실시한 경우 ULSD의 결

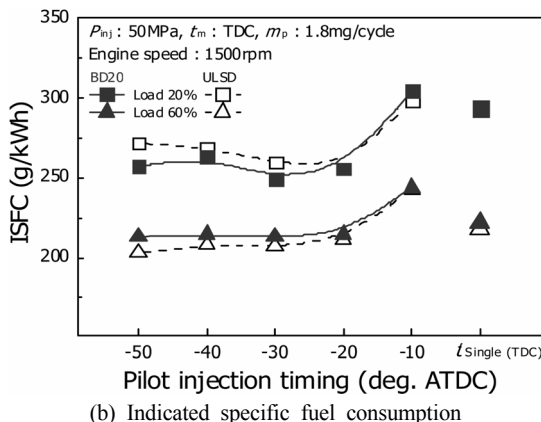
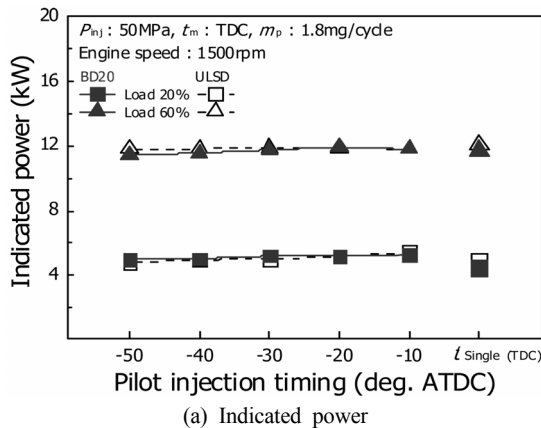


Fig. 4. Effect of pilot injection strategy on indicated power and indicated specific fuel consumption.

과에 비해 뚜렷하게 낮았으나, 파일럿 분사를 실시한 경우에는 BD20과 ULSD 모두 비슷한 경향을 보였다. 반면에, 부하 60% 영역에는 BD20의 도시 출력이 ULSD의 결과와 비교하여 점점 낮아지는 것으로 나타내었다.

Fig. 4(b)의 도시연료소비율(ISFC, indicated specific fuel consumption) 그래프에서는 단일분사만 실시한 경우, BD20과 ULSD를 모두 결과는 비슷하였으며, 부하 20% 조건에서 파일럿 분사전략을 적용한 경우에는 BTDC 10°의 결과를 제외한 전 구간에서 두 연료 모두 250~280 g/kWh의 높은 연료소비를 보였지만, 부하 60%의 조건에서 200~220 g/kWh의 범위 내에 안정된 ISFC를 나타내었다. 그리고 부하 60%의 경우 BD20의 ISFC은 ULSD의 결과와 비교하여 약 10% 정도 높은 것을 알 수 있었다. 이러한 이유는 연료량의 증가로 인한 바이오디젤의 높은 점도의 영향으로 미립화 특성이 원활하지 못하여 연료가 기화되는 시간이 증가하였고, 그 결과 연소를 위한 공기-연료 혼합기의 형성시간이 길어진 것과 BD20의 낮은 발열량으로 인해 엔진의 부하를 유지하기 위해 BD20의 낮은 발열량으로 인해 엔진의 부하를 유지하기 위해 BD20의 연료 분사량이 1 mg/cycle 증가됨에 따라 ISFC가 증가하는 것으로 판단된다[13]. 그러나 부하 20%의 경우에는 부하 60%의 경우보다 상대적으로 적은 연료 분사량에 의하여 점도의 영향보다는 바이오디젤 연료내의 산소성분에 의해 연소가 활발히 일어난 것으로 판단되며, 이로 인해 BD20의 연료소비는 ULSD의 경우보다 상대적으로 적게 이루어진 것으로 판단된다.

3.3. 배기 특성

Fig. 5는 NO_x 와 soot의 배기특성의 결과로써, 실험은 저·중부하 조건에서 ULSD와 BD20 두 연료를 사용하여 1회 파일럿 분사를 적용한 경우의 배기특성 결과를 단일분사의 결과와 비교 분석하였다.

Fig. 5(a) 그래프에서 부하 20%와 60% 조건 모두 파일럿 분사시기를 진각 할수록 동시에 NO_x 의 배출량이 감소되는 특성을 보였으며, 부하 20% 조건에서 BD20의 NO_x 배출량은 ULSD의 결과와 비교하여 바이오디젤의 미립화 특성이 낮아 분사된 연료의 연소가 활발히 이루어지지 못함에 따라 다소 낮게 배출되는 경향을 보였다. 반면에, 부하 60% 조건에서는 단일분사와 비교하여 BD20연료의 연소시 NO_x 배출량은 약 40% 정도 감소되는 것으로 나타났으며, 파일럿 분사시 BD20의 NO_x 배출량은 ULSD와 비교하여 약 34% 증가한 경향을 보였다. 이는 BD20의 ULSD에 비하여 낮은 저위발열량으로 인해 동일한 출력을 유지하기 위해서 BD20이 ULSD보다 평균 1 mg/cycle 더 분사되

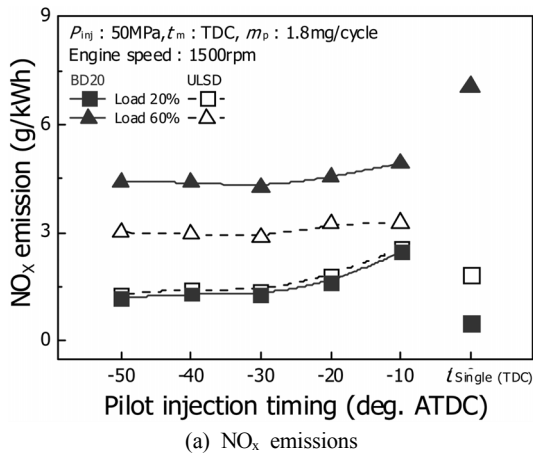
어 연소시 연소실내 높은 분위기 온도가 형성되었으며, 이 때 배기온도는 BD20이 ULSD보다 10°C 이상 증가를 보였다. 또한 연소시 합산소의 영향으로 연소가 촉진되어 NO_x 생성이 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 5(b)의 soot 배기특성의 결과에서는 BD20과 ULSD 모두 부하별 조건에서 단일분사의 soot배출 결과와 비교하여 파일럿 분사를 적용하였을 때 주 분사의 분사시기와 멀어질수록 배출량은 감소되는 것으로 나타났다. 또한 BD20을 적용하였을 때의 soot 배출량은 전 구간에서 ULSD 대비 적게 배출되는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 바이오디젤 연료 분자구조 내에 포함되어 있는 약 11%의 산소 성분에 의해 연소과정이 원활하게 작용하고, 연소실내 농후한 혼합기 영역이 감소함에 따라 ULSD의 경우보다 적게 배출된 것으로 판단된다.

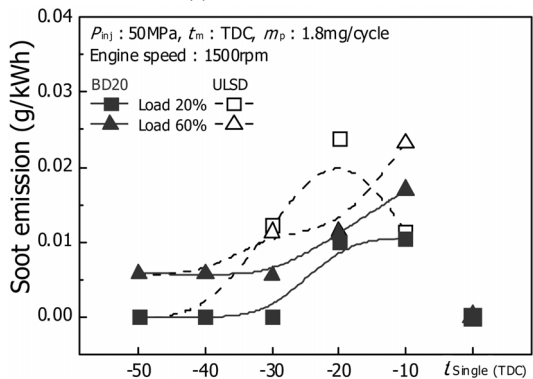
Fig. 6은 CO와 HC의 배기특성을 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에서 부하 20%의 경우 CO배출량은 파일럿 분사를 적용하였을 때 단일분사를 적용한 경우와 비교하여 CO배출량이 감소한 것으로 나타나지만, 부하

60%에서는 단일분사만 실시한 경우와 비교하여 파일럿 분사시기가 BTDC 30°에서 50°까지의 CO배출량은 점차적으로 증가한 것을 볼 수 있었다. 이는 조기 분사로 인해 연료가 피스톤 상단부에 분사됨에 따라 피스톤 연소실 표면에 분사되지 못하고 연소실 벽면에 부착되는 벽면흡착(wall wetting) 현상으로 인해 원활한 연소가 이루어지지 못한 것으로 판단된다. 또한, 부하 20% 조건에서 CO배출량은 파일럿 분사시기를 진각할수록 BD20의 배출량이 ULSD의 경우보다 증가되었지만, 부하 60% 조건에서는 BD20과 ULSD 모두 같은 양이 배출하는 것으로 나타났다.

Fig. 6(b)에서 HC의 배출량은 부하 60% 조건에서 파일럿 분사를 실시한 경우, 단일분사의 결과와 비교하여 파일럿 분사시기가 진각할수록 BD20과 ULSD 모두 HC의 배출량 감소폭이 약간 감소하였다. 그리고 부하 20%에서 단일분사를 적용한 배출량과 비교하여 파일럿 분사를 실시한 경우 BD20을 적용하였을 때 약 35%, ULSD를 적용하였을 때에는 약 68% 정도 감소된 것을 확인할 수 있었다.

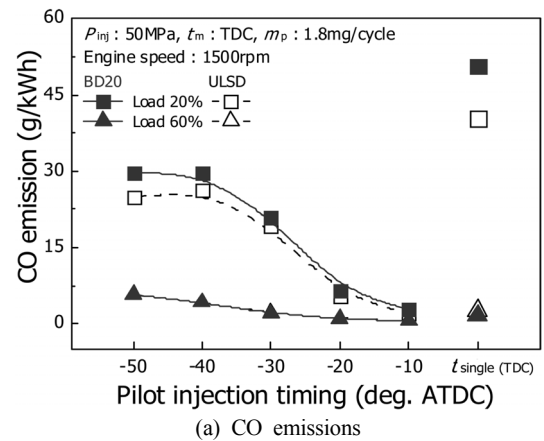


(a) NO_x emissions

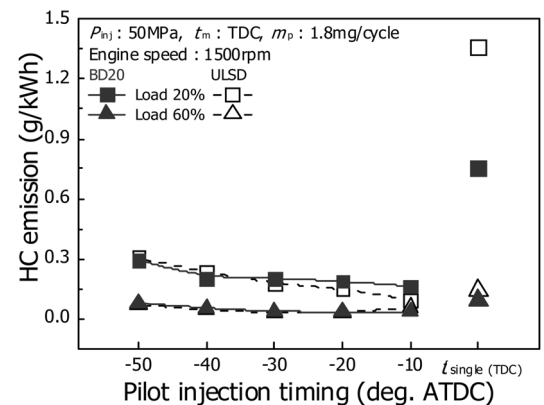


(b) soot emissions

Fig. 5. NO_x and soot emission characteristics according to pilot injection strategy.



(a) CO emissions



(b) HC emissions

Fig. 6. CO and HC emission characteristics according to pilot injection strategy.

4. 결론

본 연구에서는 바이오디젤 혼합연료를 적용한 4기통 직접분사식 커먼레일 디젤엔진에서 파일럿 분사 전략을 사용한 연구 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 부하 20% 조건에서 주 분사시기를 ATDC 3°에서 BTDC 3°까지 진각하는 경우에 연소 압력과 열 발생률은 증가하였고, 부하 60% 조건에서는 부하 20% 조건의 결과와 반대로 분사시기가 진각할수록 연소압력은 증가하였지만, 열 발생률은 감소하는 경향을 나타내었다.

2) 부하 20%의 경우 최고연소압력 변동률과 평균 유효압력 변동률은 파일럿 분사시기가 진각함에 따라 증가하였고, 부하 60% 조건에서는 그 변동이 작아지는 안정성을 보였다.

3) 도시출력의 결과는 파일럿 분사를 적용한 경우 연소 특성의 개선에 따라 출력이 향상되는 것을 볼 수 있었다. ISFC의 경우 BTDC 10°의 결과를 제외한 전 구간에서 두 연료 모두 부하 20% 조건에서 250~280 g/kWh의 높은 연료소비율을 보였지만 부하 60%의 조건에서 200~220 g/kWh의 범위 내에 안정된 연료소비율을 나타내었다.

4) NO_x와 soot 배출 특성은 부하 60% 영역에서 파일럿 분사시기를 진각할수록 배출량은 점차적으로 감소되었다. 특히, BD20을 적용한 경우 NO_x는 ULSD 보다 배출량이 증가하였고, soot은 적게 배출된 것으로 확인되었다. CO와 HC의 배기특성은 파일럿 분사를 적용하였을 때 배출량이 감소하였고, 파일럿 분사시기가 진각할수록 CO와 HC 배출량은 증가하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지원으로 수행한 클린 신연료(DME) 동력 시스템 개발사업과 2단계 두뇌한국 21 사업의 지원으로 진행되었으며, 연구를 지원하여 주신 기관에 감사드립니다.

참고문헌

[1] Y. Lee, G. Moon, D. Jeong, "Experimental Study on the Emission Characteristics of Diesel, GTL, and their Blends with Biodiesel in a Diesel Engine", Transactions of KSAE, Vol. 18, No. 4, 2010, pp. 140-146

[2] M. K. Veltman, P. K. Karra and S. Kong, "Effects of Biodiesel Blends on Emissions in Low Temperature Diesel Combustion", SAE technical paper, 2009, No. 2009-01-0485

[3] S. A. Blomberg, A. Paria, S. Stenfors, T. sandstrom,

S-E. Dahlen, "Health effects of diesel exhaust emissions", Eur Respir Journal, Vol. 17, 2001, pp. 733-746

[4] M. Park, M. Kim, "Study on Performance and An Exhaust Emission by Bio-Diesel Deterioration and Engine Load Rate at Heavy-Duty Diesel Engine", Transactions of KSMTE, Vol. 16, No. 3, 2007, pp. 56-63

[5] J. Sheehan, V. Camobreco, J. Duffield, M. Grabowski, H. Shapouri, "An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles", National Renewable Energy Laboratory, 1998, TP-580-24772

[6] A. K. Babu and G. Devaradjane, "Vegetable Oils And Their Derivatives As Fuels For CI Engines : An Overview", SAE technical paper, 2003, No. 2003-01-0767

[7] D. Lee, H. G. Roh, S. C. Choi and C. S. Lee, "Combustion and Emission Characteristics of 4 Cylinder Common-Rail DI Diesel Engine with Biodiesel Blended Fuel", Transactions of KSME Part. B, Vol.35, No. 2, 2011, pp. 137-143

[8] Y. Zhang and A. L. Boehman, "Impact of Biodiesel on NO_x Emissions in a Common Rail Direct Injection Diesel Engine", Energy & Fuels, Vol. 21, 2007, pp. 2003-2012

[9] S. K. Chen, "Simultaneous Reduction of NO_x and Particulate Emissions by Using Multiple Injections in a Small Diesel Engine", SAE technical paper, 2000, No. 2000-01-3084

[10] S. H. Yoon, M. Y. Kim, S. I. Kwon, H. S. Jeon, C. S. Lee, "Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel derived from Soybean in a Common-Rail Diesel Engine", KSAE spring Conference proceeding, Vol. 3, 2006, pp. 1922-1928

[11] M. Y. Kim, D. J. Lee, H. G. Roh, J. H. Lee and C. S. Lee, "Effect of Injection Parameters on Combustion and Exhaust Emission Characteristics in a Small Common-rail Diesel Engine", Transaction of KSAE, Vol. 12, No. 6, 2004, pp. 9-15

[12] H. G. Roh, C. S. Lee, "The Effect of Multiple Injections on the Stability of Combustion and Emissions Characteristic in a Passenger Car Diesel Engine", Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 4, 2007, pp. 76-82

[13] X. Zhang and G. Gao, L. Li, Z. Wu, H. Zongjie and J. Deng, "Characteristics of Combustion and Emissions in a DI Engine Fueled with Biodiesel Blends from Soybean Oil", SAE technical paper, 2008, No. 2008-01-1832