

4실린더 커먼레일 디젤엔진에서 바이오디젤 혼합연료와 EGR율에 따른 연소 및 배기특성

정 규 수¹⁾ · 이 동 곤¹⁾ · 연 인 모¹⁾ · 노 현 구²⁾ · 박 성 옥³⁾ · 이 창 식^{*3)}

한양대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 인덕대학 기계자동차과²⁾ · 한양대학교 기계공학부³⁾

Combustion and Emission Characteristics of Biodiesel Blended Fuel by EGR Rate in a 4-cylinder CRDI Diesel Engine

Kyusoo Jeong¹⁾ · Donggon Lee¹⁾ · In Mo Youn¹⁾ · Hyun Gu Roh²⁾ · Sungwook Park³⁾ · Chang Sik Lee^{*3)}

¹⁾Graduate School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾Department of Mechanical & Automotive Engineering, Induk University, Seoul 139-749, Korea

³⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received 29 December 2010 / Accepted 8 March 2011)

Abstract : This study describes the effect of EGR rate on the combustion and emissions characteristics of a four cylinder CRDI diesel engine using biodiesel (soybean oil) blended diesel fuel. The test fuel is composed of 30% biodiesel and 70% ULSD (ultra low sulfur diesel) by volumetric ratio. The experiment of engine emissions and performance characteristics were performed under the various EGR rates. The experimental results showed that ignition delay was extended, the maximum combustion pressure and heat release gradually were decreased with increasing EGR rate. Comparing biodiesel blended fuel to ULSD, the injection quantity of biodiesel blended fuel was further increased than ULSD. The emission results showed that NO_x emission of biodiesel blended fuel becomes higher according to the increase of EGR rate. However, in the case of biodiesel blended fuel, HC, CO and soot emissions were decreased compared to ULSD.

Key words : Biodiesel(바이오디젤), Exhaust gas recirculation(배기가스 재순환), Alternative fuel(대체연료), BD30(바이오디젤 30% 혼합연료), Oxygenated fuel (함산소연료)

Nomenclature

t_m	: main injection timing [degree]
t_p	: pilot injection timing [degree]
P_{inj}	: injection pressure [MPa]
m_p	: pilot injection quantity [mg/cycle]
BD	: biodiesel
BDC	: bottom dead center
ISFC	: indicated specific fuel consumption
TDC	: top dead center
ULSD	: ultra low sulfur diesel

1. 서론

전 세계적인 에너지 소비 급증 및 원유 가격 상승과 함께 급속도로 진행되고 있는 환경오염을 저감시키기 위하여 주요 자동차 생산국을 비롯한 여러 나라에서 배기가스 배출을 점차 강력하게 규제하고 있다. 이와 같은 환경 규제에 대응하기 위해서 새로운 엔진 시스템 및 청정 연료 개발에 연구를 집중하고 있다. 특히 디젤엔진 연소시 유해 배출물을 저감시킬 수 있는 대체 에너지 기술로 함산소연료인 DME(Dimethyl Ether), 바이오에탄올(Bioethanol), 바이오디젤(Biodiesel)등을 적용하는 다양한 연구가

*Corresponding author, E-mail: cslee@hanyang.ac.kr

많은 연구자들에 의하여 진행되고 있다.

디젤엔진에 적용 가능한 대체연료 중 하나인 바이오디젤(Biodiesel)은 동·식물성유지인 바이오메스와 알코올을 반응시켜 만든 지방산 메틸에스테르(Fatty acid methyl ester)이며, 메틸에스테르화와 같은 화학변형과정을 거쳐 디젤 연료와 물성치가 유사한 연료로 변환할 수 있어 기존연료를 대체할 수 있는 연료이다. 또한, 높은 세탄가로 인하여 착화성이 우수하여 압축착화 디젤엔진에 적용이 용이하며, 분자구조 내 산소를 포함하고 있는 합산소연료로서 연소과정에서의 생분해도가 높아 디젤과 비교하여 유해오염 물질인 매연(Soot), 탄화수소(THC), 일산화탄소(CO)의 저감, 그리고 산성비원인의 하나인 황산화물(SO_x)을 대폭 저감할 수 있어 국내외에서 보급이 확대되고 있다.¹⁻⁴⁾

그리고 바이오디젤 연구 중 Lim⁵⁾등은 실온에서 12종의 식물성 오일을 메탄올과 알칼리성 촉매인 수산화칼륨(KOH)을 80°C에서 환류 기법을 이용하여 바이오디젤 특성에 대한 연구를 수행하였으며, 이들의 연료특성과 윤택성을 분석한 결과 대두유부터 합성된 바이오디젤이 가장 윤택성이 좋은 것으로 분석되었다. 또한, 대두유로부터 합성된 바이오디젤은 1.5%의 혼합비율만으로도 윤택향상 정도가 뛰어나다는 결과를 얻을 수 있었다.

Seo 등⁶⁾은 커먼레일식 분사 시스템을 사용하여 디젤 연료와 바이오디젤 연료의 분사압력과 분위기압력 그리고 혼합비에 따른 분무 거동 및 미립화 특성을 실험적으로 비교 연구하여 바이오디젤 연료의 미립화 특성을 디젤과 비교하였다. Park 등⁷⁾은 바이오디젤의 고압 다단 분사 및 다양한 분사시기에서 분무 및 미립화 특성에 미치는 영향을 연구한 결과, 바이오디젤은 디젤에 비해 분무 도달거리와 반경 방향거리는 감소되나 분무 후반부로 갈수록 그 차이는 감소하는 것으로 보고하였다. 또한, 바이오디젤은 파일럿 분사하였을 경우 초기의 짧은 분사기간과 증발 등에 의해 소량으로 분사된 연료량이 주 분사했을 때 보다 입경이 작고, 높은 운동 에너지로 인한 미립화가 잘되어 주 분사가 시작되기 전에 거의 소멸됨을 보여주었다.

그리고 Roh⁸⁾등은 4기통 커먼레일 디젤엔진을 이

용한 다양한 분사방법을 적용하여 이에 따른 배기 특성을 연구하였으며 그 결과, 분사시기를 진각 시킬 때 주 분사 보다 파일럿 분사에서 연소 압력이 더욱 완만하게 형성됨을 실험을 통해 규명하였다. 또한, 주 분사와 파일럿 분사 시기가 근접한 경우 Soot은 증가하며, 질소산화물(NO_x)은 파일럿 분사시기를 진각 하였을 경우 감소한다고 보고하였다. 또한 Carlucci⁹⁾등은 파일럿 분사는 자기착화에 크게 영향을 미치며 NO_x배출량은 주로 파일럿 분사의 영향을 크게 받는 것으로 지적하였다.

단기통을 이용한 연구로는 직접분사식 디젤엔진에 바이오디젤 혼합 비율을 증가시킬수록 연소실 최고 온도, 연소 압력 그리고 열 발생률의 감소와 함께 NO_x, CO 또한 감소된다고 Acharya¹⁰⁾는 보고하였다. 이외에도 다수의 연구자들은 바이오디젤을 디젤엔진 시스템에 적용하는 다방면으로 연구를 활발히 진행 중에 있다.

바이오디젤의 여러 가지 장점에도 불구하고, 상용 디젤엔진에 적용할 경우 저온에서의 냉시동성 및 상용 디젤엔진의 복잡한 구조로 인한 연소실 구조 변경의 어려움 등, 여러 문제점이 발생하기 때문에 디젤(이하 ULSD라 칭함)과 혼합하여 사용해야 한다. 따라서 본 연구는 4기통 커먼레일 디젤엔진 시스템에 바이오디젤(Soybean biodiesel)을 ULSD와 혼합한 바이오디젤 혼합연료를 적용하고 NO_x를 저감하기 위한 EGR기술을 함께 적용하여 연소의 안정성 및 배기 배출물 저감 효과를 분석하고 바이오디젤의 디젤엔진 적용특성을 실험적으로 규명한 것이다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 바이오디젤의 파일럿 분사 및 배기가스 재순환 과정에 의한 연소 특성을 알아보기 위해 Fig. 1과 같은 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치는 다기통 전자 제어식 디젤엔진과 연료 공급 장치 시스템, EC 동력계(AG150), 엔진 제어 장치, 배기가스 분석 시스템으로 구성하였다.

본 연구에서 사용한 실험엔진은 배기량 1.58L인 4기통 직접분사식 커먼레일 디젤엔진이며 연료 분

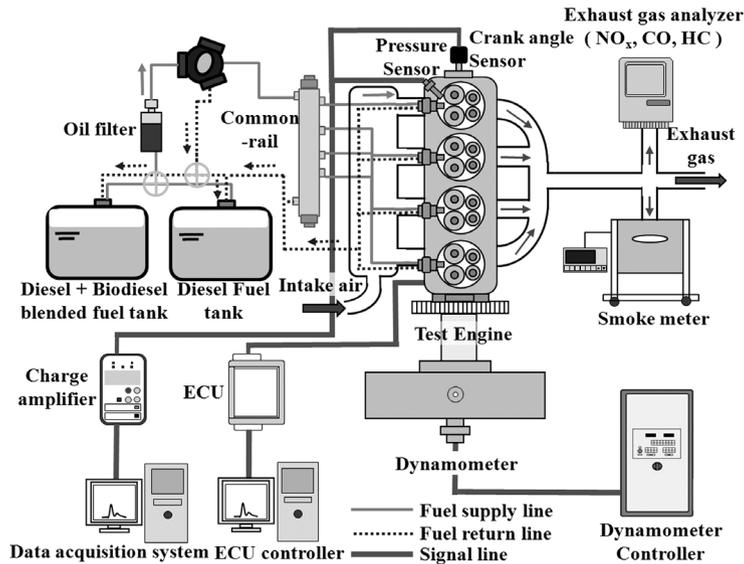


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

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	

사 최고 압력은 160MPa까지 제어할 수 있도록 구성하였다. 그리고 시험 엔진의 주요 제원은 Table 1과 같다. 또한, 연료공급 장치는 바이오디젤 혼합연료 (이하 “BD30”으로 칭함, ULSD : BD = 7 : 3)탱크와 ULSD탱크를 따로 설치하였으며, 3방향 밸브를 이용하여 엔진에 공급하였다. 그리고 엔진을 제어하기 위해 ETAS사의 INCA V5.4 프로그램과 ECU (Bosch, EDC16 ETK ECU)를 사용하였다. 또한, 엔진의 연소특성을 파악하기 위해 예열 플러그와 동일

Table 2 Property of ULSD and biodiesel fuel

Characteristic	Diesel (ULSD)	Biodiesel (Soybean)
Cetane number	40~55	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)	-15~5	-3~12
Flash point temp. (°C)	60~80	100~170
Low heating value (MJ/kg)	42.5	37.4
Stoichiometric A/F ratio	14.6	14.1

한 형성의 연소 압력 센서(Kistler, 6057ASP)와 크랭크 각 센서를 부착하였으며, 입력되는 데이터를 실시간 취득 및 분석을 위해 DAQ보드(NI, PCI 6251 & SC2345)와 소프트웨어(NI, Labview 8.2)를 사용하였다.

Table 2는 본 연구에 사용된 ULSD와 바이오디젤의 특성을 비교한 것으로 바이오디젤은 ULSD에 비교하여 세탄가가 높아 디젤기관 구조변경 없이 사용이 가능하며, 분자 내에 약 11%의 산소를 함유하고 있어 연소시 도와주는 역할을 하게 된다. 그리고 유해 배출물도 저감되는 장점이 있으며, 이 밖에

도 독성이 없고 저장 및 수송이 간편하여 취급이 편리한 장점이 있다.

2.2 실험 방법

본 실험은 BD30과 ULSD의 두 가지 연료를 사용하여 수행하였으며 실험은 파일럿 분사량 1.6mg/cycle, 분사 압력 70MPa, 엔진회전속도 1500rpm, 엔진의 부하는 30%로 유지하여 실시하였다. 그리고 기타 조건은 Table 3과 같다. 주 분사를 TDC에 고정된 상태에서 파일럿 분사를 BTDC 10°부터 40°까지 10° 간격으로 진각시켰으며, 배기가스 재순환(EGR)율을 0~40%까지 10%씩 증가시켜 수행하였다.

본 연구에서 EGR 제어시 EGR 유량을 계측하기 위해 흡기 통로에 열막식 공기유량센서를 설치하였으며, 신속하고 정밀한 EGR 유량 확보를 위해서 수냉식 전자 EGR 밸브를 설치하였다.

Table 3 Experimental conditions

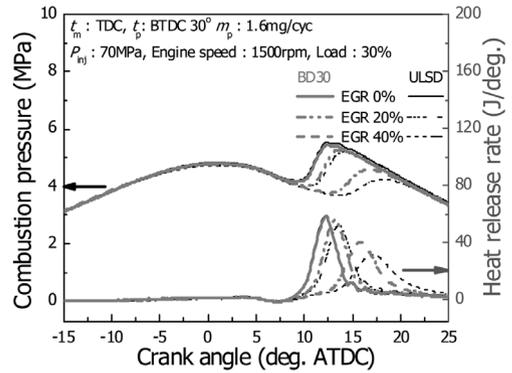
Fuels		ULSD, BD30
Injection pressure (MPa)		70
Engine speed (rpm)		1500
Cooling water temp. (K)		353 ±3
Intake temp. (K)		320 ±3
Load (%)		30
Pilot quantity (mg/cycle)		1.6
Injection timing (deg. BTDC)	Main	0
	Pilot	10, 20, 30, 40
EGR rate (%)		0, 10, 20, 30, 40

3. 실험 결과 및 고찰

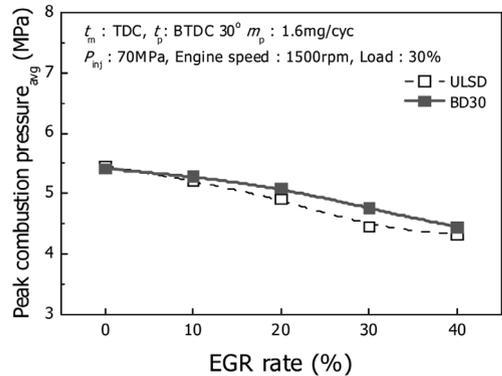
3.1 바이오디젤 혼합연료의 연소특성

Fig. 2는 분사시기가 BTDC 30°에서 파일럿 분사를 실시하였을 때 EGR율에 따른 연소특성을 나타낸 그래프이다.

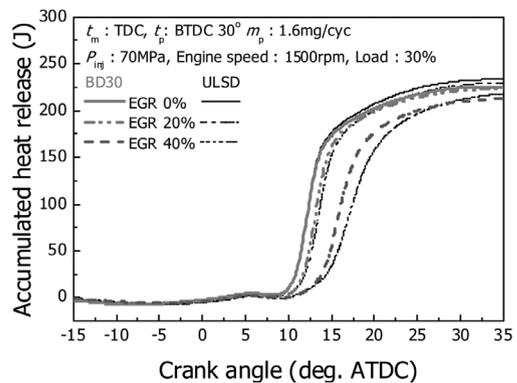
연소압력 및 열발생율은 EGR율이 증가함에 따라 BD30과 ULSD 모두 낮아지는 경향을 Fig. 2(a)와 같이 보였다. 또한, BD30의 경우 EGR율이 증가할수록 ULSD에 비해 착화지연기간이 점차 짧아지는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 BD30 내에 바이오디젤성분의 높은 세탄가로 인하여 착화가 빨라짐과 동시에 연료 내에 산소성분이 연소를 원활하게 할



(a) Combustion pressure and heat release rate



(b) Peak combustion pressure



(c) Accumulated heat release

Fig. 2 Combustion characteristics according to the EGR rate

수 있도록 도와 연소특성을 개선시킨 것으로 판단된다.

Fig. 2(b)와 (c)는 최고연소압력 및 누적열발생율을 나타낸 그래프이다. EGR율이 증가할수록 두 연료의 최고연소압력과 누적 열발생율 모두 낮아지는

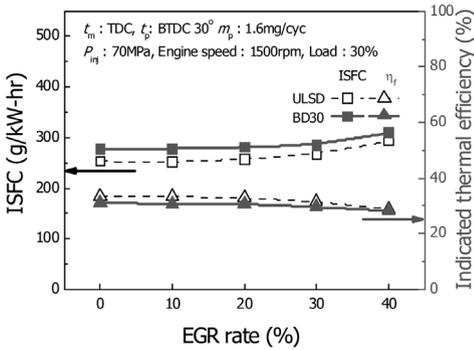


Fig. 3 Indicated specific fuel consumption and indicated thermal efficiency

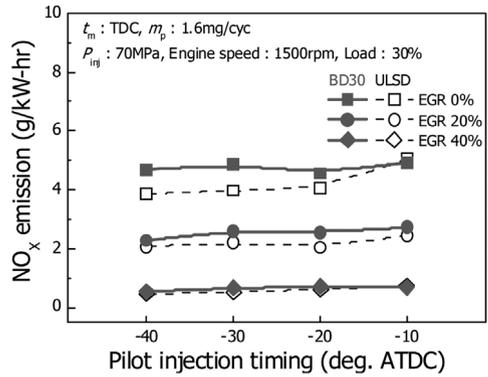
경향을 나타내었다. 특히, EGR율이 적용되는 20% 및 40% 구간에서 BD30이 ULSD에 비해 높게 나타났다. 이는 BD30의 경우 바이오디젤의 함산소성 영향으로 연소가 비교적 원활하게 이루어졌으나 ULSD의 경우 연소실내 들어오는 흡입공기 중 연료와 예혼합 조성을 이루는 산소량이 부족하고, EGR의 영향에 따라 연소실내 유입된 불활성 기체로 인해 연소가 발생하는데 불리하게 작용하여 최고연소압력 및 누적 열발생율은 BD30 경우보다 더 낮아진 것으로 판단된다.^{11,12)}

Fig. 3은 두 연료의 도시연료소비율(ISFC)과 도시열효율을 비교한 그래프로 EGR율 전 구간에서 BD30의 ISFC값은 ULSD보다 높은 경향을 나타내었다. 이러한 경향이 나타난 이유는 바이오디젤의 낮은 저위발열량과 분사된 연료의 증발특성이 미립화가 촉진되지 못하면서 동일한 출력을 얻기 위해 BD30의 연료량이 ULSD에 비하여 10~11% 더 많이 분사된 것을 의미한다.^{6,14)} 또한, EGR율을 점차 증가시킨 경우 두 연료 모두 ISFC값이 점차 증가하는 경향을 보였다. 특히, EGR 40% 구간에서 불완전 연소가 일어나기 때문에 다른 EGR구간에 비해 연료가 더 많이 분사된 것으로 보인다.

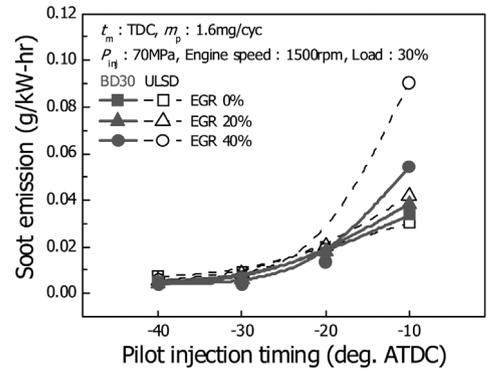
도시열효율은 ISFC의 영향을 받아 전 구간에서 BD30는 ULSD와 비교하여 약 3~5% 낮은 경향을 보였으며 EGR율이 증가할수록 BD30과 ULSD의 열효율 차이는 점차 감소하는 것으로 나타났다.

3.2 바이오디젤 혼합연료의 배기특성

Fig. 4(a)는 NO_x 배출특성으로 BD30, ULSD 모두



(a) NO_x emission



(b) Soot emission

Fig. 4 Effect of EGR rate on NO_x and Soot emission

EGR 0%의 조건에서 파일럿 분사시기 BTDC 10° 이후 감소한 것을 알 수 있었다. 또한 EGR율을 증가시킨 경우 NO_x배출량은 BD30의 경우 약 52%, ULSD는 약 47% 감소되는 것으로 확인되었으며, 특히 EGR 40%의 경우에서 BD30과 ULSD의 배출량은 최대 81%, 75%까지 감소되는 것으로 나타났다.

한편, BD30은 EGR 0%, 20%의 조건에서 ULSD보다 NO_x 배출량이 높게 배출되었는데, 이는 동일한 출력을 얻기 위해서 연료 분사량이 증가함과 동시에 연료내의 함산소의 영향으로 ULSD보다 연소압력이 증가되어 NO_x배출량 또한 증가된 것으로 판단된다. 그러나 EGR 40%의 경우에는 BD30과 ULSD의 배출량 모두 비슷한 경향을 나타내었다.

Fig. 4(b)는 Soot 배출특성을 나타낸 그래프로 파일럿 분사시기를 BTDC 40°까지 전진 할수록 BD30과 ULSD의 Soot 배출량은 각각 75%, 85% 감소되는

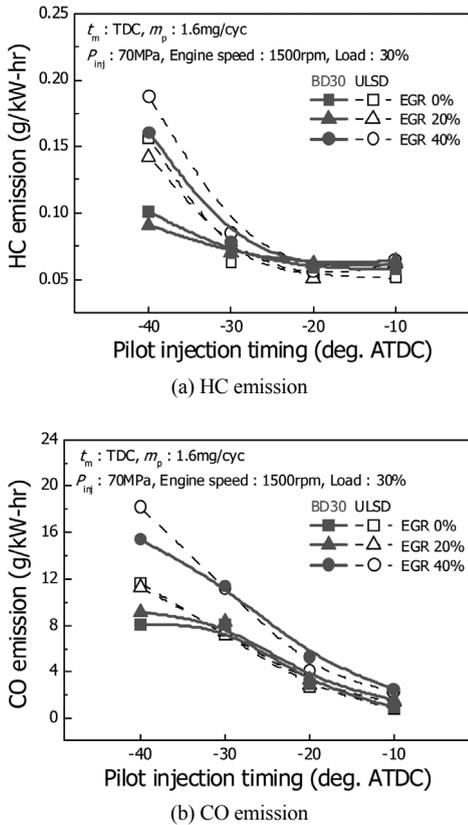


Fig. 5 Effect of EGR rate on HC and CO emission

것으로 확인할 수 있었다. 한편, BTDC 10°의 분사 조건에서는 Soot 배출량이 다른 조건들에 비해 높게 배출되는 경향을 확인할 수 있었는데, 이는 파일럿 분사의 연소로 인한 주분사의 자기착화가 촉진되어 주 분사 연료가 확산연소를 함에 따라 Soot이 증가한 것으로 판단된다.⁸⁾ 또한, EGR율이 증가할수록 BD30의 Soot 배출량은 ULSD보다 감소되었으며 특히 파일럿 분사시기가 BTDC 10°, EGR 40%일 때 ULSD 대비 약 45%정도 감소된 것을 알 수 있다. 이는 바이오디젤내 약 11%의 산소성분으로 인하여 연소실내 상대적으로 농후한 혼합기 영역이 감소하므로 산소와의 결합이 ULSD에 비교하여 유리함에 따라 BD30의 배출량은 감소한 것으로 판단된다.

Fig. 5(a), (b)는 EGR 변화에 따른 HC, CO의 배기 특성을 나타낸 그래프이다. HC와 CO는 파일럿 분사시기를 진각할수록 두 연료 모두 증가하는 경향을 보이며, 이는 국부적으로 농후한 혼합기가 형성

되어 HC와 CO가 증가한 것으로 판단된다.¹³⁾ 한편, 파일럿 분사시기 BTDC 40°일 경우 모든 EGR율 조건에서 BD30이 ULSD보다 HC와 CO가 많은 감소된 것을 확인할 수 있었다. 이는 바이오디젤의 높은 세탄가로 인해 착화지연기간이 짧아지고, 이 기간에 공기-연료 혼합기가 연소하는데 충분한 시간을 가질 수 있었기 때문에 HC와 CO의 배출이 ULSD에 비해 적게 배출된 것으로 판단된다.¹⁵⁾

4. 결론

4기통 직접분사식 커먼레일 디젤엔진에서 바이오디젤 혼합연료를 적용하고 EGR량 변화가 연소 및 배기특성에 미치는 영향에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) BD30과 ULSD 모두 EGR율이 증가함에 따라 연소압력 및 열발생율은 낮아지는 경향이 확인되었다. 특히, BD30의 경우 ULSD에 비해 연소압력과 열발생율이 높고 착화지연기간이 짧아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 최고연소압력 및 누적열발생율에서도 같은 경향을 나타냄에 따라 BD30의 바이오디젤 성분이 연소특성을 개선시킨 것으로 판단된다.
- 2) 도시연료소비율은 BD30의 경우가 ULSD보다 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 또한, EGR율을 점차 증가시킨 경우 두 연료 모두 ISFC값이 점점 증가하는 경향을 나타내었으며 특히, EGR 40% 구간에서 불완전 연소가 일어나기 때문에 다른 EGR구간에 비해 연료소비가 더 증가한 것으로 판단된다. 열효율은 ISFC의 영향을 받아 BD30이 ULSD보다 낮았으며, EGR율이 증가할수록 두 연료의 열효율 차이는 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 두 연료 모두 EGR율이 증가할수록 NO_x는 점차 감소되는 것으로 확인되었으며, BD30의 경우 EGR 0%, 20%조건에서 ULSD에 비하여 배출량이 증가하였다. 또한, EGR율이 40%에서는 두 연료의 배출량은 비슷한 경향을 보였다. Soot의 경우 파일럿 분사와 주 분사사이가 근접할수록 배출량이 많아졌으며, EGR율이 증가할수록 BD30의 Soot 배출량은 ULSD보다 크게 감소되는 경향

이 확인되었다.

- 4) HC와 CO는 파일럿 분사시기를 진각 할수록 두 연료 모두 증가하였으며, BTDC 40°에서는 BD30이 ULSD 보다 많은 감소를 나타내었다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지 인력 양성사업 및 환경부 Eco-STAR project(무-저공해 자동차 사업단), 2단계 두뇌한국 21사업의 지원으로 진행되었으며 연구를 지원하여 주신 기관에 감사드립니다.

References

- 1) A. Birgel, N. Ladommatos, P. Aleiferis, S. Zülch, N. Milovanovic, V. Lafon, A. Orlovic, P. Lacey and P. Richards, "Deposit Formation in the Holes of Diesel Injector Nozzles : A Critical Review," SAE 2008-01-2383, 2008.
- 2) C. S. Lee, S. W. Park and S. I. Kwon, "An Experimental Study on the Atomization and Combustion Characteristics of Biodiesel-blended Fuels," Energy&Fuels, Vol.19, No.5, pp.2201-2208, 2005.
- 3) G. Kim, Y. Pyo and Y. Lee, "Effect of Blending Ratios of Biodiesel to Diesel Oil on Fuel Economy and Exhaust Emissions of Diesel Vehicles," Fall Conference Proceedings, KSAE, Vol.1, pp.346-351, 2004.
- 4) N. Kumar, Varun and A. Kumar, "Biodiesel as an Alternative Fuel for CI Engines: Environmental Effect," Indian Journal of Science and Technology, Vol.3, No.5, pp.602-606, 2010.
- 5) Y. Lim, J. Kim, E. S. Yim, D. Kim and C. Jung, "Synthesis of Biodiesel and Determination of Their Lubricity," KSTLE Fall Conference Proceeding, pp.65-71, 2009.
- 6) Y. T. Seo, H. K. Suh and C. S. Lee, "A Study on the Injection Characteristics of Biodiesel Fuels Injected through Common-rail Injection System," Transactions of KSAE, Vol.15, No.5, pp.97-104, 2007.
- 7) S. H. Park, H. J. Kim, S. H. Kim and C. S. Lee, "Spray-atomization Characteristics of Biodiesel Fuel with Multiple Injection," Transactions of KSAE, Vol.18, No.4, pp.40-47, 2010.
- 8) H. G. Roh and 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, pp.76-82, 2007.
- 9) P. Carlucci, A. Ficarella, and D. Laforgia, "Effects of Pilot Injection Parameters on Combustion for Common Rail Diesel Engines," SAE 2003-01-0700, 2003.
- 10) K. Acharya, M. Dahodwala, W. Bryzik, N. Henein and N. Sova, "Effect of Different Biodiesel Blends on Autoignition, Combustion, Performance and Engine-out Emissions in a Single Cylinder HSDI Diesel Engine," SAE 2009-01-0489, 2009.
- 11) X. Zhang, G. Gao, L. Li, Z. Wu, Z. Hu and J. Deng, "Characteristics of Combustion and Emissions in a DI Engine Fueled with Biodiesel Blends from Soybean Oil," SAE 2008-01-1832, 2008.
- 12) K. W. Scholl and S. C. Sorenson, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, 1993.
- 13) G. Stiesch, Modeling Engine Spray and Combustion Process, Springer-verlag, Berlin, 2003.
- 14) D. K. Bora, L. M. Das and M. K. G. Babu, "Experimental Evaluation of Mahua based Biodiesel as Supplementary Diesel Fuel," SAE 2009-01-0479, 2009.
- 15) A. Monyem and J. H. V. Gerpen, "The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions," Biomass&Bioenergy, Vol.20, Issue 4, pp.317-325, 2001.