

바이오디젤 연료 압축착화 엔진의 당량비 변화가 연소 및 배출물특성에 미치는 영향

강민구* · 권석주* · 차준표* · 임영관** · 박성욱*** · 이창식****

Effect of Equivalence Ratio on the Combustion Characteristics in a CI Engine Fueled with Biodiesel

Mingu Kang, Seokjoo Kwon, Junepyo Cha, Young-Kwan Lim, Sungwook Park and Chang Sik Lee

ABSTRACT

The purpose of this paper is to investigate the effect of equivalence ratio on the combustion and emission characteristics of a compression ignition engine fueled with biodiesel. In this research, a single-cylinder direct injection engine with 373.3 cc of displacement volume was tested on DC dynamometer. In order to investigate the effect of biodiesel equivalence ratio on combustion characteristics, the experiments were conducted at various equivalence ratios and injection pressures of 40~120 MPa. For investigating engine performance, lambda meter was connected and equivalence ratios was varied from 0.6 to 1.0. In addition, the exhaust emissions such as oxides of nitrogen(NO_x), hydrocarbon(HC) and carbon monoxide(CO) were measured by exhaust gas analyzer under the various air/fuel ratios. The experimental results show that maximum IMEP was measured at the 0.8 of equivalence ratio. Furthermore, NO_x emission was rapidly decreased as the increase of equivalence ratio. However soot emission was significantly increased according to the increase of equivalence ratio.

Key Words : Air/fuel ratio, Equivalence ratio, Exhaust gas recirculation, Stoichiometric combustion, Particulate matter, Biodiesel

1. 서론

점차 강화되는 배기규제에 대응하기 위한 디젤엔진의 배출물 저감 기술로는 연소실 형상 및 압축비 최적화, 가변 스윙과 EGR(Exhaust gas recirculation), 연료분사 압력 및 시기를 제어하는 등의 기술이 개발되고 있다.

디젤엔진은 희박 연소와 압축 착화 방식으로 열효율이 높으며 가솔린 엔진에 비해 상대적으로 압축비가 높아 우수한 연비로 인해 CO_2 를 감소시키는데 효과적이다. 독일, 영국 등 유럽 국가들은 디젤엔진을 장착한 승용차들의 비중이 지속적으로 높아지고 있다. 또한 높은 연소 효율 때문에 배기가스 중 일산화탄소(Carbon monoxide)와 탄화수소(Hydrocarbon)의 양이 적다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점

도 불구하고 연료가 연소실 내로 직접 분사되는 디젤엔진의 특성으로 인해 높은 연소온도에 의한 질소산화물(NO_x)과 혼합기 형성시간이 짧아 불균일한 혼합기가 형성되어 입자상 물질(particulate matter, PM)의 배출이 많다는 문제점을 가지고 있다[1,2].

Schommers[3] 등은 연료 분사시스템으로 고압의 연료를 커먼레일에 압축하여 전자 제어로 분사함으로써 분사시기, 분사압력 및 분사량을 정밀하게 조절할 수 있어 소음 및 배기 저감에 유리하다고 보고를 하였으며, Maiboom[4] 등은 EGR을 사용하여 디젤엔진의 연소 및 배기특성에 미치는 영향을 실험하여 엔진 내에서 배출물 생성을 억제하는 연구를 하였다. 또한 EGR을 변화에 따라 NO_x 의 배기특성을 실험적으로 연구하였다. 이외에도 디젤엔진에서 배출되는 PM을 매연여과장치(DPF : diesel particulate filter trap)를 이용하여 정화하고, 질소산화물을 물과 질소 등으로 분해시키는 SCR(Selective Catalytic Reduction) 등과 같은 후처리장치 또한 디젤엔진의 배출물을 저감시키는 방법으로 널리 사용되고 있다

* 한양대학교 대학원

** 한국석유관리원 녹색기술연구소

*** 한양대학교 기계공학부

† 연락처자, cslee@hanyang.ac.kr

[5,6]. 본 실험은 대두유의 식물성 기름을 원료로 하여 만들어진 바이오디젤을 사용하여 수행되었다. 바이오디젤은 일반 디젤과 달리 연료 성분 중 산소를 포함하고 있어서 soot 배출물의 저감을 도모하는데 주로 사용되며, 현 정부는 배기 배출물 저감을 목적으로 일반경유에 바이오 디젤의 혼합량을 매년 0.5% 늘려 2012년까지 바이오디젤 혼합량을 3%까지 늘리는 계획에 있다. 바이오디젤연료의 연소와 배출물에 관한 연구로 Cha[7] 등은 바이오디젤을 사용하여 EGR률이 증가함에 따라 착화지연기간이 길어지는 현상과 최대 연소 압력 및 최대 열발생률이 낮아짐을 증명하였다. soot 배출물은 EGR률이 증가함에 따라 급격하게 증가하였으나, TDC 근처의 분사시기에서는 함산소 연료인 바이오디젤의 영향으로 매우 감소함을 증명하였다. 또한 Gomgping[8] 등은 바이오디젤연료와 디젤연료의 분무특성과 거동을 비교하기 위해 커먼레일식 분사시스템을 적용하여 실험적으로 분석한 것과 수치적으로 분석한 것을 비교하여 보고하였다.

본 연구에서는 CI 엔진에서 이론공연비 부근에서 연소시의 배출물 특성에 관한 기초연구를 수행하였다. CI엔진은 공연비가 희박한 영역에서 운전되므로 이론공연비에서 연소할 경우 연소 및 배출물 특성을 규명하는 것은 매우 중요하다. 이러한 이유로 인해 이번 연구의 목적은 압축착화 엔진에서 당량비 변화에 따른 바이오디젤의 출력성능, 연소 압력, 열발생률, 평균유효압력과 배기가스의 배출량을 비교, 분석하여 당량비의 영향을 실험적으로 규명한 것이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험 장치

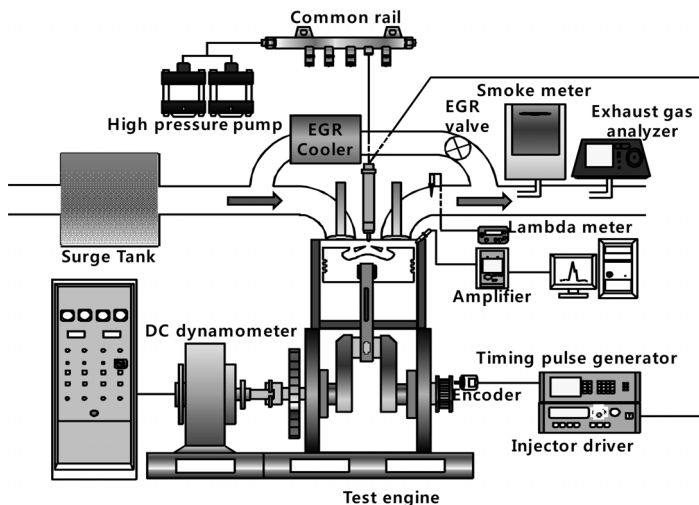


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Specifications of the test engine

Description	Specification	
Type	Single-cylinder DI engine	
Displacement volume(cc)	373.3	
Bore×Stoke(mm)	75×84.5	
Compression ratio	17.8	
Fuel injection system	Bosch common-rail	
Number of injection hole	6	
Nozzle hole diameter(mm)	0.128	
Spray angle(deg.)	156	
Valve type	DOHC 4	
Intake valve	Open	BTDC 8o
	Close	ATDC 52o
Exhaust valve	Open	BTDC 8o
	Close	ATDC 38o

본 실험에 사용된 실험엔진의 주요 제원은 Table 1 과 같으며 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같다. 실험 장치는 단기통 실험엔진, 압력 제어장치, 연료공급 및 연료분사 제어장치, 연소 및 배기분석 장치로 구성하였다. 연료 분사시스템은 분사공이 6개(각 홀의 직경은 0.128 mm, 분사각은 156°)인 인젝터와 커먼레일을 사용하였다. 연료분사 제어장치로는 엔진크랭크축에 부착된 엔코더(HYRE-A-1800 ABZ-N)로부터 크랭크축의 신호를 받아 타이밍 펄스 발생기(Timing pulse generator)와 인젝터 드라이버(TDA-3300, TEMS)를 이용하여 연료분사시간 및 분사시기를 제어하였다. 연료공급 장치로는 고압의 펌프(HSF-300, Haskel)를 병렬로 연결하여 체임버 내 연료를 가압하고 이를 이용하여 커먼레일(Common-rail, Bosch) 내에

분사압력을 제어하였다. 또한 흡기관 내 맥동(fluctuation)을 방지하기 위하여 공기가 유입되는 흡기관 전단에 서지탱크(surge tank)를 설치하였다. 연소실에서 가까운 흡기매니폴드와 배기매니폴드에 1개씩 온도센서를 부착하여 흡기와 배기의 온도를 측정하였다.

연소특성을 알아보기 위해 연소실 내에 압력센서(6057A80, Kistler)를 장착하였으며 압력센서로부터 나오는 신호가 증폭기를 거쳐 증폭된 후 DAQ보드(PCI-MIO-16E-1, NI)와 Labview 소프트웨어를 사용하여 실시간으로 압력데이터를 취득하였다. 또한 바이오디젤 공연비 변화에 따른 배기가스 특성을 살펴보기 위하여 연소 과정에서 발생하는 대표적인 배출물의 농도를 측정하였다. soot의 농도를 측정하기 위하여 AVL사의 매연측정기(415S Smoke Meter, AVL)를 사용하였고, NO_x, HC 그리고 CO의 농도를 검출하기 위하여 휴대용 배기가스 분석기(MEXA-554JKNO_x, HORIBA)를 사용하여 측정하였다.

2.2. 실험 방법 및 조건

본 실험에서 흡입공기 유량을 일정하게 제어하기 위하여 솔레노이드식 유량제어밸브(GFC67, AALBORG)를 설치하였으며, 배기가스를 재순환(EGR)을 위하여 엔진의 배기유로를 흡기유로와 연결하고, 배기가스의 온도를 저하시키기 위해 수냉식 Cooled EGR을 사용하여 흡기 온도가 일정하게 유지되도록 하였다. EGR제어는 흡기관 전단에 설치된 유량제어밸브를 통해 유입되는 공기의 양을 조절하면서 배기가스에서 흡입하는 방식으로 EGR을 구현하였다. 배기관에 설치된 램다미터(LA4-E, ETAS)를 통해 공연비를 측정하면서 실험을 수행하였다.

구체적인 실험 조건은 Table 2에 나타내었다. 공연비 변화에 따른 기초 특성을 파악하기 위해 연료량을 15 mg으로 동일하게 분사하였을 때, 당량비를 0.6~1.0으로 변화시켜가며 각각의 연소 및 배기특성을 살펴보았다. 엔진의 회전속도는 1,200 rpm으로

Table 2. Experimental conditions

Item	Experimental condition
Engine speed(rpm)	1200
Coolant temperature(°C)	70
Oil temperature(°C)	70
Air mass flow rate(kg/h)	5.4~12.3
Injection pressure(MPa)	40~120
Start of energizing(°BTDC)	0~40
Mass of fuel injection(mg)	15($\Phi=0.6\sim 1.0$)
Test fuel	Biodiesel

Table 3. Fuel properties used in the experiment

Fuel	Bio-diesel (Soybean Oil)
Density(g/L @ 15°C)	0.886
Kinematic viscosity(mm ² /s @ 40°C)	4.207
Heating value(MJ/kg)	39.111
Derived Cetane Number(DCN)	54.640
Cloud point(°C)	0
CFPP(°C)	-1

으로 고정시키고 분사 압력을 변화에 따른 특성도 알아보기 위해 40~120 MPa로 다양하게 분사하였다. 또한 각 당량비 조건에서 분사시기를 TDC~BTDC 40°까지 진각 시켜가며 실험을 수행하였다. 분사시기는 인젝터 드라이버의 구동신호에 의해 인젝터에 전류가 인가되는 시점(SOE, start of energizing)을 기준으로 표시하였다.

또한 이번 실험에 사용된 연료는 대두유로부터 제조된 바이오디젤이며, Gas chromatography 방법을 이용하여 바이오디젤의 지방산메틸에스테르(FAME)의 성분을 분석하였다. 그리고 지방산메틸에스테르를 이용하여 머무름 시간을 통한 정성분석과 면적비를 이용하여 정량분석을 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 엔진 성능

3.1.1. 당량비 변화에 따른 엔진성능

Fig. 2는 당량비를 0.6에서 이론 당량비까지 변화시켰을 경우 엔진성능을 알아보기 위해 IMEP를 비교한 그래프이다. 모든 조건에서 TDC 부근인 BTDC 0°에서 5°사이의 분사시점에서 가장 큰 IMEP 값이 나타났으며, 분사시기가 진각 될수록 조기분사로 인

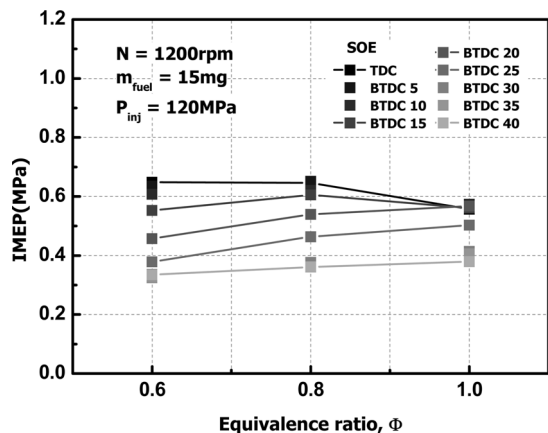


Fig. 2. Effect of equivalence ratio on IMEP.

한 압축과정에서 연소가 진행되어 IMEP가 감소하였다. 또한 이론 당량비에서는 최고 IMEP값은 BTDC 5°에서 나타났으며, 전 과정에서 최고치를 나타낸 0.8 당량비의 BTDC 5°분사조건과 비교하여 약 15% 정도 감소하였다. 당량비가 증가함에 따라 IMEP는 다소 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 당량비를 증가시키기 위하여 EGR를 과다하게 사용하였고 그로인해 연료와 산소의 혼합비가 농후해졌지만 완전한 연소를 위한 산소의 양이 부족해지게 되어 불완전 연소가 증가되어 IMEP가 소폭 감소한 것으로 판단된다[9].

3.1.2. 분사시기 변화에 따른 엔진성능

Fig. 3은 분사시기 변화에 따른 엔진성능을 살펴 보기 위해, 분사압력을 120 MPa로 고정시킨 후 분사 시기를 TDC에서 BTDC 40°까지 진각 시켜가며 실험을 수행하였다. 전체적으로 분사시기를 진각 시킬 수록 IMEP가 감소하는 일반적인 특성이 나타났다. 이는 분사시기를 진각 시킬수록 연소위상이 TDC이전으로 앞당겨져 이는 곧 IMEP의 감소에 영향이 미친 것으로 판단 판단된다[10]. 당량비가 0.6과 0.8일 경우 TDC에서 BTDC 10°의 분사시기에서는 이론 당량비 조건과 비교하여 IMEP가 다소 높았으나 분사시기가 진각 될수록 IMEP가 큰 폭으로 감소하여 이론 당량비 조건보다 낮은 경향을 나타내었다. 이론 당량비인 당량비가 1.0인 조건에서는 TDC에서 BTDC 20°까지 고른 IMEP의 분포가 나타나 분사시기 변화에 대하여 IMEP가 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

3.2. 연소 특성

3.2.1. 당량비 변화에 따른 연소특성

Fig. 4는 분사압력이 120 MPa일 때 분사시기를 BTDC 5°로 고정시킨 후 당량비를 변화시켜가며 연소 압력과 열발생률을 나타낸 그래프이다. 열발생률

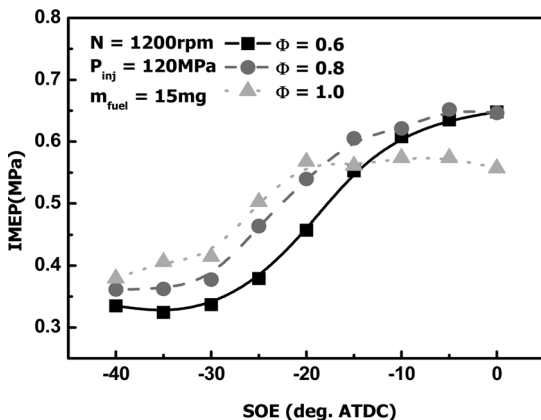


Fig. 3. Effect of injection timing on IMEP.

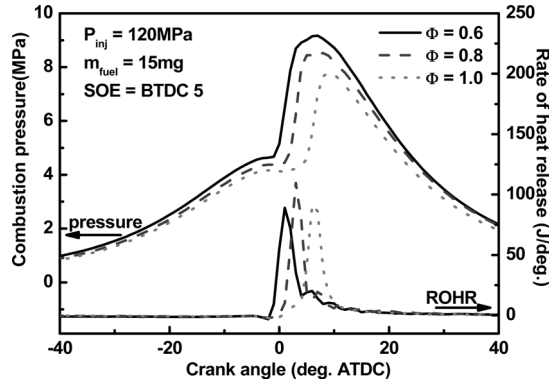


Fig. 4. Combustion characteristics according to equivalence ratio($P_{inj} = 120$ MPa)

(ROHR) 데이터를 살펴보면 당량비가 0.8일 때 최고 값이 나타남을 알 수가 있었다. BTDC 5°로 동일한 시점에 분사를 하여도 당량비가 0.8인 경우 열발생률이 TDC에서 증가함이 나타났고 이로 인하여 연소가 가장 급격하게 일어났음을 알 수 있었다. 당량비가 1.0에서는 연소실이 농후해지기 위하여 과다한 EGR를 사용하였고 이로 인하여 착화지연이 야기되어 가장 늦게 열발생률이 나타났으며, 당량비가 0.6일 때는 열발생률 데이터를 분석한 결과 TDC 이전인 압축과정에서 착화가 발생하여 그로 인한 열발생률의 감소가 나타난 것으로 판단된다.

3.2.2. 분사시기 변화에 따른 연소특성

Fig. 5는 당량비가 1.0일 때, 연료분사압력 120 MPa에서 분사시기를 변경시켜가며 취득한 바이오디젤 연료의 연소압력과 열발생률을 나타낸 그래프이다. 연소특성을 살펴보면, BTDC 5°와 BTDC 15°에서 분사했을 경우, 전형적인 디젤엔진의 연소특성이 나타났으며 BTDC 15°에서 연소압력의 최고 값이 가장 높았다. 또한 열발생률 곡선을 살펴보면, BTDC 25~5° 구간에서 급격하게 열이 발생한 것을 알 수 있다. 이는 연소실 내 피스톤이 상사점으로 올라가는 압축과정 중에 연소가 일어나면서 높은 온도와 압력이 발생하였다고 판단된다.

BTDC 25°와 BTDC 35°의 경우 최고연소압력과 열발생률이 급격하게 감소하게 되며, BTDC 25°의 경우 최고 연소압력 뿐만 아니라 TDC 이후에서의 압력도 낮아져 IMEP가 낮아진 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 조기분사가 되었을 경우 상대적으로 연소실 내 압력과 밀도가 낮아 연료가 연소실 내에서 분무도달거리가 길어져 연소실 벽면에 연료의 벽면 부착현상(wall wetting)이 발생하게 되고, 불완전연소 증대로 인하여 따라 열손실이 커져 연소압력이 급격히 감소하는 것으로 판단된다.

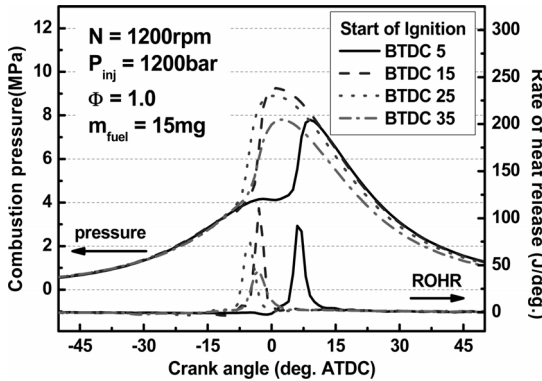


Fig. 5. Combustion characteristics according to injection timing.

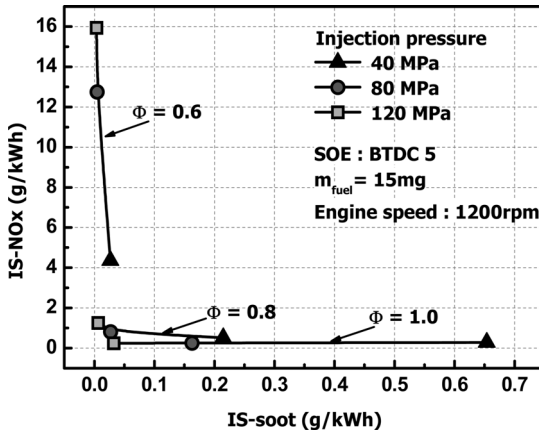


Fig. 6. Effect of equivalence ratio on NO_x and soot emission characteristics.

3.3. 배기 특성

3.3.1. 당량비 변화에 따른 배기특성

본 논문에서 당량비 변화에 따른 배기특성을 알아보기 위해 연료의 분사량을 15 mg으로 동일하게 분사하였고, 분사시기를 BTDC 5°와 엔진회전속도를 1,200 rpm로 고정시킨 운전조건에서 당량비를 0.6에서 1.0으로 변경시켜가며 40, 80, 120 MPa의 압력으로 바이오디젤연료를 분사하였다.

Fig. 6은 당량비 변화에 따른 NO_x와 soot의 배출량을 분사압력의 변화에 따라 측정한 결과이다. NO_x의 경우, 당량비가 높을수록 연소온도가 낮아져 NO_x의 배출량이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 분사 압력 변화에 따른 배기특성을 살펴보면, 분사 압력이 높을수록 인젝터에서 분사되는 연료 액적의 미립화가 잘 이루어져 예혼합연소 구간에서 급격한 연소가 일어나게 된다. 따라서 분사 압력이 높을수록 급격한 열발생으로 인해 NO_x의 배출량이 증가한 것으로 판단된다.

NO_x는 연소온도에 가장 큰 영향을 받으므로 이를 저감시키기 위해 연소온도를 낮추어야 한다. 본 연구에서는 분사량을 동일하게 하고 EGR시스템을 사용하여 당량비를 조절하였다. EGR은 재순환된 배기가스에 의한 혼합기의 열용량이 증가하여 연소온도를 낮출 뿐만 아니라, 연소실 내 산소 농도의 저감을 통하여 NO_x를 감소시킨다[11]. 또한 soot의 경우를 살펴보면, 분사 압력이 동일한 경우 당량비가 높을수록 soot의 배출이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 당량비가 높아짐에 따라 연소실 내 국부적인 부분에 혼합기 형성이 농후해져 불완전연소에 의한 soot의 배출이 증가한 것으로 판단된다. 또한 동일한 당량비에서 분사 압력을 변경시켰을 때 분사 압력이 높을수록 적은 양의 soot을 배출하였다. 이는 연료가 분사될 때 압력이 높을수록 미립화특성을 향상시켜 예혼합연소가 증가하고 확산연소구간이 감소하기 때문으로 판단된다.

당량비 변화에 따른 CO와 HC의 배기특성을 Fig. 7에 나타내었다. HC의 경우, 당량비가 0.8 부근에서 HC의 배출량이 가장 적게 배출되었으며 당량비가 이것보다 높거나 낮을 경우 HC의 배출량이 증가하였다. 이는 연소실 내 혼합기가 농후해질수록 공기가 부족하여 불완전 연소로 인해 HC 배출이 증가한 것으로 판단된다. 또한 과도하게 희박해질 경우 연료와 공기의 혼합기의 일부가 자발화를 일으키지 못해 HC의 배출이 다소 증가하는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 4에서 알 수 있듯이 열발생률이 가장 높은 당량비 0.8지점에서 배출량이 가장 낮은 것을 관찰할 수 있다.

CO의 경우는 연료와 산소의 혼합비 변화에 따라 영향을 크게 받는 것을 알 수 있다. 희박할 경우에는 CO는 거의 배출되지 않지만, 농후한 영역으로 갈수록 배출량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 연

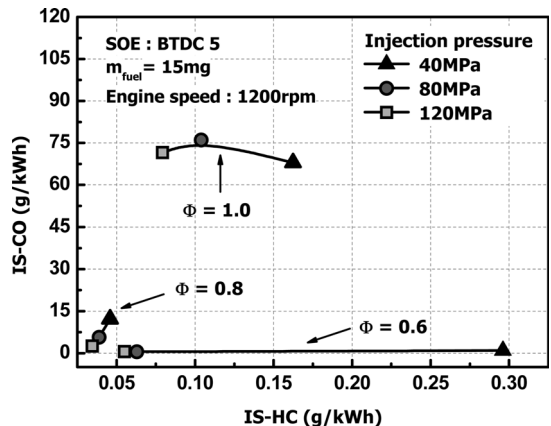


Fig. 7. Effect of equivalence ratio on HC and CO emission characteristics.

소 시 이산화탄소로 변화시키기에 산소공급이 충분하지 못해 불완전연소로 인한 CO의 발생량이 증가하는 것을 볼 수 있다[12]. 분사 압력에 따른 CO 발생량을 살펴보면, 분사 압력을 변화시켰음에도 불구하고 CO의 배출량은 거의 비슷한 경향을 나타냈다. 이는 연료가 분사되는 분사 압력은 CO발생에 그다지 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 디젤엔진에 바이오디젤 연료를 공급한 경우 당량비 변화가 엔진성능, 연소 및 배기특성에 미치는 영향을 연구한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분사시기를 진각 시킬수록 IMEP는 낮아졌으며, 공연비 변화에 따른 IMEP를 비교하면, 이론공연비일 경우 IMEP는 당량비 0.8일 때(IMEP가 가장 높은)의 값과 비교하면 약 15%가 감소하였다.
- 2) 당량비가 높을수록 최고 연소압력은 감소하였으며, 당량비가 0.8일 때 TDC부근에서 연소가 일어나 열발생률의 최고 값이 가장 높았다.
- 3) NO_x는 당량비가 높을수록 연소온도가 낮아져 배출량이 급격히 감소하였으며, 분사 압력이 증가할수록 급격한 열발생으로 인해 배출량이 증가하였다. 반면 soot의 경우, 당량비가 높을수록 soot의 배출은 증가하였고, 분사 압력이 높을수록 soot의 배출량은 감소하였다.
- 4) HC는 당량비가 0.8 부근에서 가장 적은 양을 배출하였으며, 이보다 농후하거나 희박할 경우 HC의 배출은 증가하였다. 또한 희박할 경우, CO는 거의 배출되지 않지만, 농후해질수록 CO의 배출량은 증가하였다.

후 기

본 연구는 2단계 두뇌한국 21사업(BK21)의 지원과 2010년도 한국연구재단의 지원으로 수행된 연구(2011-0004384)로서 연구를 지원해주신 관계기관에 감사드립니다.

참고문헌

[1] Brian Scamegie, William R. Miller, Bernd Ballmert, Winfried Doelling and Stefan Fischer 2003, Recent DPF/SCR Results Targeting US2007 and EURO 4/5 HD Emissions, SAE 2003-01-0774.
 [2] Yongjin Jung, Jungwoo Lee, Jinyoung Jang, Jungseo Park, Choongsik Bae, Duksang Kim, The

Effect of Injector Configuration on the Low Temperature Diesel Combustion and Emissions in a Heavy Duty Diesel Engine, Transactions of KSAE, KSAE10-B0020, 2010, pp. 115-120
 [3] Joachim Schommers, Frank Duvinage, Marco Stotz, Arndt Peters, Stefan Ellwanger, Katsuyoshi Koyanagi and Helmut Gildein, 2000, Potential of Common Rail Injection System for Passenger Car DI Diesel Engines, SAE 2000-01-0944.
 [4] Alain Maiboom, Xavier Tauzia, Jean-Francois He'tet, Experimental study of various effects of exhaust gas recirculation(EGR) on combustion and emissions of an automotive direct injection diesel engine, Energy, 33, 2008, pp. 22-34
 [5] Subhasis Biswas, Vishal Verma, James J. Schauer, Constantinos Sioutas, Chemical speciation of PM emissions from heavy-duty diesel vehicles equipped with diesel particulate filter(DPF) and selective catalytic reduction(SCR) retrofits, Atmospheric Environment, 43, 2009, pp. 1917-1925
 [6] Cristian Ciardelli, Isabella Nova, Enrico Tronconi, Daniel Chatterjee, Brigitte Bandl-Konrad, Michel Weibel, Bernd Krutzsch, Reactivity of NO/NO₂ - NH₃ SCR system for diesel exhaust aftertreatment: Identification of the reaction network as a function of temperature and NO₂ feed content, Applied Catalysis B: Environmental, 70, 2007, pp. 80-90
 [7] Junepyo Cha, Seung Hyun Yoon, Sung Wook Park, Chang Sik Lee, Combustion and nano-particulate emissions characteristics of a compression ignition engine fueled with biodiesel according to EGR ratio, KSAE 2009 Annual Conference, 2009, KSAE 09-A0091.
 [8] Mao Gongping, Wang Zhong, Yang Dianyong and Yuan Yinnan, Numerical Simulation and Experimental Research on the Free Spray Characteristics of Bio-diesel Fuel, 2008, SAE 2008-01-1598
 [9] Sangsuk Lee, Manuel A. Gonzalez D. And Rolf D. Reitz, Effects of Engine Operating Parameters on Near Stoichiometric Diesel Combustion Characteristics, 2007, SAE 2007-01-0121
 [10] Youngsoo Park, Choongsik Bae, Effect of Simulated EGR and Boosting on the Performance and Emission of Diesel Partial PCCI Engine, KSME, 2010, pp. 157-164
 [11] Junepyo Cha, Seung Hyun Yoon, Chang Sik Lee, Combustion and Nano-particulate Emissions Charac-

- teristics of a Compression Ignition Engine Fueled with Biodiesel according to EGR Ratio, Transactions of KSAE, Vol. 18, No. 6, 2010, pp. 98-104
- [12] Jeong Yun Heo, Seung Hyun Yoon, Sung Wook Park, Chang Sik Lee, Effect of EGR Ratio on Combustion and Emission Characteristics in a Single-

Cylinder Diesel Engine with Common-Rail Direct Injection, KSAE 2009 Annual Conference, KSAE09-A0060, 2009, pp. 346-351

접수일 : 2011. 06. 30
심사완료일 : 2011. 08. 07