

압축 착화 엔진의 중부하 운전 영역에서 디젤 및 폐식용유 바이오디젤 연소 시 발생하는 입자상 물질에 관한 특성 비교

황준식* · 정용진* · Donghui Qi · 배충식*

Comparison of Particulate Matters in a Compression Ignition Engine under Mid-load Condition Fuelled with Diesel and Biodiesel fuel

Joonsik Hwang*, Yongjin Jung*, Donghui Qi*, Choongsik Bae*

ABSTRACT

In this study, the characteristics of particulate matters (PM) from diesel and biodiesel fuel combustion was experimentally investigated. The experiment was performed in a single cylinder common-rail compression ignition engine. The fuels were injected at -5 CAD (Crank angle degree) ATDC (After top dead center) with 80 MPa injection pressure. Size distribution of PM was measured by scanning mobility particle sizer (SMPS) and morphology of PM was studied by transmission electron microscopy (TEM). PM from biodiesel shows lower emission level and smaller primary particles.

Key Words : Waste cooking oil biodiesel, Oxygenated fuel, Particulate matter (PM), Transmission electron microscopy (TEM)

석유자원의 고갈 및 지구 온난화 등의 환경문제로 인하여 가솔린 엔진 대비 열효율이 높은 디젤 엔진에 대한 관심이 높아지고 있다. 디젤 엔진은 높은 열효율과 토크 특성을 가짐으로 건설기계, 선박 등과 같은 중대형 장비부터 소형 승용차에 이르는 넓은 범위에 사용이 되고 있다. 하지만 디젤 엔진 또한 환경문제와 석유자원의 고갈문제에 직면하고 있으며 이를 극복하고자 디젤 엔진의 대체연료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 바이오디젤은 재생가능하고 친환경적이며 디젤 엔진에 별다른 변화 없이 적용할 수 있다는 장점 때문에 디젤의 대체연료로서 큰 각광을 받고 있는 추세이다 [1]. 바이오디젤은 유채유, 대두유, 팜유, 코코넛유, 자트로파 등과 같은 식물성 기름, 우지나 생선기름과 같은 동물성기름을 이용하여 알코올 및 촉매와 반응시켜 제조하는 에스테르화 기름으로써 물성치가 디젤과 매우 비슷하여 기존의 디젤을 대체하거나 디젤에 섞어서 사용할 수 있다 [2]. 이러한 바이오디젤은 재생가능한 자원에서 생산되므로 에너지 안보에 기인하며 분자 내에 산소를 포함하고 있으므로 엔진에 적용되어 연소가 일어날 때 불완전연소로 인해 발생하는 일산화탄소, 탄화수소, 입자상물질

을 저감할 수 있다는 가능성이 있다 [3].

대체연료에 대한 관심과 입자상 물질에 대한 규제 강화로 인해 관련 연구는 활발히 진행되고 있다. 최근에는 다양한 연료를 디젤 엔진에 적용하고 scanning mobility particle sizer (SMPS)나 투과 전자 현미경과 같은 장비를 이용하여 입자상 물질의 크기와 모양을 살펴보는 연구가 활발히 진행 중에 있다.

본 연구에서는 압축 착화 엔진에서 디젤과 폐식용유 바이오디젤의 연소 시 배출되는 배기물의 특징을 살펴보고 입자상 물질에 대하여 크기와 모양을 비교해 보고자 한다.

본 실험에서는 배기량이 980cc이며 압축비가 17.4인 단기통 직접분사식 디젤엔진을 사용하였고 엔진 회전수 1200 rpm에서 실험이 진행되었다. 연료 분사장치는 커먼레일 시스템(Common-rail system, Bosch)을 사용하였다. 연료 분사기는 분사각 150°, 분사공이 8개인 인젝터를 사용하였다. 연료의 분사압력과 분사량, 그리고 분사 시기는 전용 분사기 제어장치(peak and hold driver, Zenobalt i)와 분사 압력 조절 장치(PCV driver, Zenobalt i)를 사용하여 제어하였다. Table 1과 Fig. 1은 실험 장치에 대한 개략도와 엔진 제원을 각각 보여주고 있다. 연소실 내의 압력은 압전 방식의 압력 센서(Type 6052C, Kistler)를 이용하여 0.2 CAD(Crank angle degree) 간격으로 취득하였고, 배기 배출물은 배기가스 분석 장치(Horiba, ME

* 한국과학기술원 기계공학과

† 연락저자, csbae@kaist.ac.kr

TEL : (042)350-3044 FAX : (042)-350-5023

XA-1500d model)와 SMPS(Mobile CPC 5401)를 사용하여 분석하였다. 본 연구에서는 연료의 분사 압력을 80 MPa로 설정 하였으며 -5 CAD ATDC 에서 분사하였다. 연료의 분사량은 디젤의 경우 30 mg/cycle를 분사하였고 사이클당 실린더내로 주입되는 저위 발열량을 동일하게 하기 위하여 바이오디젤은 33.2 mg/cycle를 분사하였다.

실험 조건은 Table 2와 같고 실험에서 사용한 연료의 물성치는 Table 3과 같다.

Table 1 Engine specifications

Item	Specification
No. of cylinder	Single
Injection type	Direct injection
Valve per cylinder	4
Bore X Stroke [mm]	100 X 125
Injection system	Common-rail
Compression ratio	17.4 : 1
Displacement [cc]	980

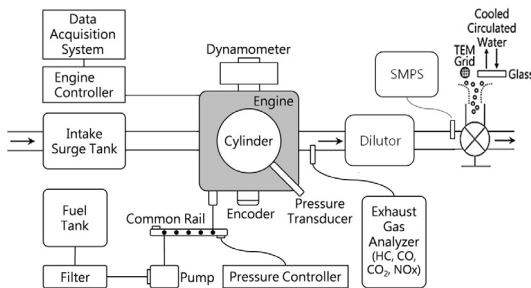


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

Table 2 Experiment conditions

Condition	Diesel	Biodiesel
Engine speed	1200 RPM	
Injection pressure	80 MPa	
Injection timing	-5 CAD ATDC	
Injection quantity [mg/cycle]	30	33.2
Fuel temperature	40 °C	
Coolant temperature	80 °C	

Table 3 Fuel Properties

Item	Diesel	Biodiesel
Cetane number	50.9	51.3
Density (15 °C) [kg/m ³]	820	878
kinematic viscosity (40 °C) [mm ² /s]	2.187	4.4
Flash point [°C]	55.5	190
LHV [MJ/kg]	42.98	38.85

Fig. 2는 배기 배출물 중 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소의 결과를 나타낸다. 그래프상의 수치는 디젤의 배기 배출물 결과를 기준(100)으로 두고 바이오디젤의 배기배출 결과를 나타낸 것이다.

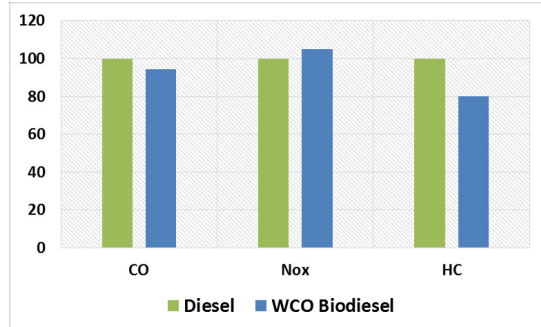


Fig. 2 Carbon monoxide(CO), NOx(Nitrogen oxides) and HC(Hydrocarbon) emissions result

Fig. 3은 입자상 물질의 크기에 따른 배출 개수에 대한 분포를 나타낸다.

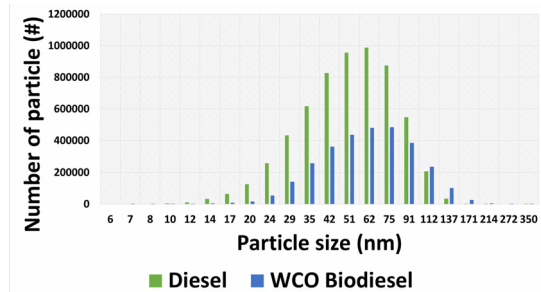


Fig. 3 Size distribution of particulate matters

배기 배출물 결과를 살펴보면, 폐식용유 바이오디젤의 일산화탄소 그리고 탄화수소 배출량이 디젤보다 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는, 바이오디젤에 포함되어있는 산소성분이 불완전연소로 인해 발생하는 물질의 산화를 촉진시키기 때문이다. 하지만, 질소산화물의 경우 폐식용유 바이오디젤의 배출량이 더 많았다. 질소산화물은 연소 온도에 비례하여 배출된다고 알려져 있다 [4]. 이와 관련하여 폐식용유 바이오디젤의 연소시에 발생하는 적은 입자상물질 때문에 실린더 외부로 열을 방출할 수 있는 매개체가 줄어들어 연소 온도가 높아졌기 때문에 더 큰 질소산화물 배출결과를 얻었다고 판단된다. 입자상 물질의 크기분포를 보면 두 연료 모두 약 60nm 크기에서 배출량이 가장 많았으며 배출 개수는 폐식용유 바이오디젤이 디젤에 비해서 약 50% 정도 수준이었다. 이는 바이오디젤이 포함하고 있는 산소성분이 연료가 농후한 지점에서 산소농도를 증가시켜 입자상 물질의 배출을 낮추었기 때문이다 [5].

두 연료의 입자상 물질 배출 특성을 가지적으로 살펴보기 위해서 Fig. 4와 Fig. 5에 입자상 물질의 전자 투과 현미경 이미지를 도시하였다.

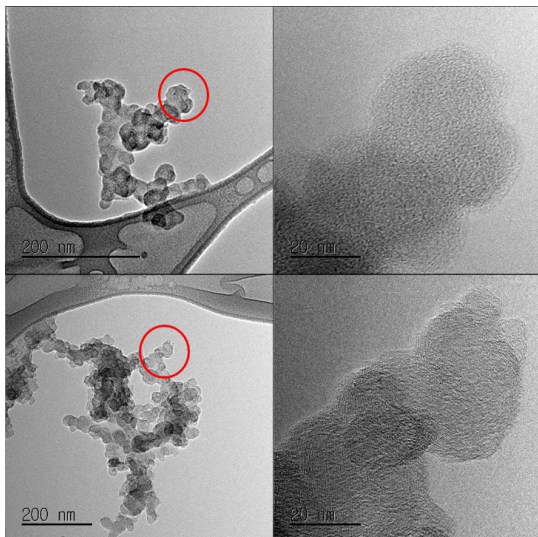


Fig. 4 Morphological characteristics of PM from diesel combustion

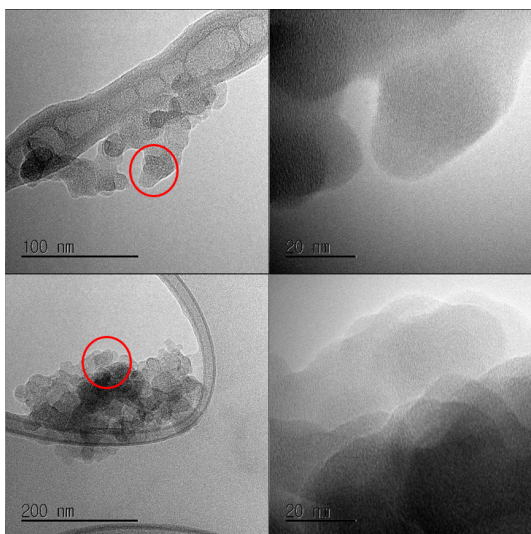


Fig. 5 Morphological characteristics of PM from WCO biodiesel combustion

입자상 물질의 전자 투과 현미경 이미지를 살펴보면 바이오디젤의 입자상 물질이 더 열고 테두리 부분이 희미한 것을 확인 할 수 있다. 이는, 바이오디젤에 포함되어있는 산소성분으로 인해 입자상 물질을 산화시킨 것으로 판단된다 [6]. 이미지를 기반으로 입자상 물질의 직경을 측정해본 결과 디젤의 경우 약 30 nm였으며 폐식용유 바이오디젤

의 경우 약 30 nm로 폐식용유 바이오디젤 연소 시 발생하는 입자상 물질의 크기가 더 작음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 “건설기계용 저온연소 엔진의 고효율/저배기 기술 개발” (10033440)의 일환으로 수행되었으며, 연구를 위하여 물심양면으로 도움을 주신 ㈜이맥바이오 임대제 대표이사님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

참고 문헌

- [1] S.Jaichandar, K.Annamalai, “The status of biodiesel as an alternative fuel for diesel engine-an overview”, *Journal of sustainable energy&environment* 2 (2011)71-75
- [2] Daisuke Kawano, Hajume Ishii, Yuichi Goto, Akira Noda, Yuzo Aoyagi, “Application of biodiesel fuel to modern diesel engine”, *SAE Technical Paper* 2006-01-0233
- [3] S.S. Gill, A. Tsolakis, J.M. Herreros, A.P.E. York, “Diesel emissions improvements through the use of biodiesel or oxygenated blending components”, *Fuel* 95 (2012) 578-586
- [4] Matthias K. Veltman, Prashanth K. Karra, Song-Chang Kong, “Effects of biodiesel blends on emissions in low temperature diesel combustion”, *SAE Technical Paper* 2009-01-0485
- [5] Xusheng Zhang, Haibin Wang, Liguang Li, Zhijun Wu, Zongjie Hu, Hui Zhao, “Characteristics of output performances and emissions of diesel engine employed common rail fueled with biodiesel blends from wasted cookong oil”, *SAE Technical Paper* 2008-01-1833
- [6] Wilson Merchan-Merchan, Sergio Granados Sammiguel, Stephen McCollam, “Analysis of soot particles derived from biodiesels and diesel fuel air-flame”, *Fuel* 102 (2012) 525-535