

바이오원유-에탄올/파일럿 디젤유 이중연료 혼소를 통한 디젤엔진의 연소 및 배출가스 특성에 관한 연구

김민재¹, 이석환², 조정권³, 윤준규⁴, 임종한^{*}

¹가천대학교 대학원 기계공학과, ²한국기계연구원, ³교통안전공단, ⁴가천대학교 기계공학과

A Study on Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fuelled with Pyrolysis Oil-Ethanol and Pilot Diesel

Min-Jae Kim¹, Seok-Hwan Lee², Jeong-Kwon Cho³, Jun-Kyu Yoon⁴, Jong-Han Lim^{*}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Gachon Univ.

²Dept. of Engine Research, Korea Institute of Machinery and Materials, KIMM

³Transportation Safety Specialist, TS

⁴Dept. of Mechanical Engineering, Gachon Univ.

요약 최근 화석연료의 고갈, 지구온난화 그리고 환경오염이 세계적인 공공의 문제로 대두됨으로써 신재생에너지에 관한 연구들이 많이 진행되고 있다. 이러한 신재생에너지들 중 바이오연료는 다루기 쉬운 뿐만 아니라, 낮은 가격과 풍부한 자원성이 미래에 화석연료를 대체할 수 있는 잠재성을 가지고 있다. 바이오연료 중 본 연구에서 사용한 급속 열분해유는 폐목재나 억새, 갈대와 같은 비식용작물에서부터 추출되었고, 이는 무한한 자원성 때문에 디젤엔진에서 디젤유를 대체할 신재생에너지로 주목받고 있다. 하지만 열분해유는 낮은 세탄가, 높은 점도, 높은 산도 그리고 낮은 발열량으로 인해 디젤엔진에 직접적으로 적용하기가 어렵다. 따라서 이러한 낮은 물질적 특성을 개선하기 위해서 본 연구에서는 에탄올과 같은 알코올계 연료와 혼합하여 투입하였다. 알코올계 연료인 에탄올이 열분해유의 저장 및 보관성에도 도움을 줄뿐 아니라 점도를 낮춰주어 엔진에 적용하기 수월하게 만들기 때문이다. 열분해유-에탄올 혼합연료를 파일럿 분사한 디젤유 이후 분사하여 연소시켜 이때의 연소 및 배기특성에 대해 고찰해 보았고, 그 결과로 미연탄화수소와 일산화탄소는 증가하는 경향을 띄지만 NOx와 PM이 현저히 줄어든 결과를 확인할 수 있었다.

Abstract Recently, the depletion of fossil fuels, global warming and environmental pollution have emerged as a worldwide problem, and studies of new renewable energy sources have been progressed. Among the many renewable energy sources, the use of bio fuel has the potential to displace fossil fuels due to low price, easy to handle, and the abundant sources. Pyrolysis oil (PO) derived from waste wood and sawdust is considered an alternative fuel for use in diesel engines. On the other hand, PO is limited to diesel engines because of its low cetane number, high viscosity, high acidity, and low energy density. Therefore, to improve its poor properties, PO was mixed with alcohol fuels, such as ethanol. Early mixing with ethanol has the benefit of improving the storage and handling properties of the PO. Furthermore, a PO-ethanol blended fuel was injected separately, which can be fired through pilot-injected diesel in a dual-injection diesel engine. The experimental results showed that the substitution of diesel with blended fuel increases the amount of HC and CO, but reduces the NOx and PM significantly.

Keywords : Combustion, Diesel Engine, Dual Fuel, Emission, Ethanol, Pilot Injection, Pyrolysis Oil

*Corresponding Author : Jong-Han Lim (Gachon Univ.)

Tel: +82-31-750-5650 email: kkjong@gachon.ac.kr

Received February 7, 2017

Revised March 10, 2017

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

1. 서론

최근 화석연료의 무분별한 사용으로 인해 환경에 유해하며 인체에 치명적인 손상을 일으키는 배출가스들이 다량으로 생성되고 있다. 따라서 화석연료를 대체할 수 있으며, 환경에 유해한 배출가스를 저감할 수 있는 신재생에너지원에 대한 중요성이 점점 부각되고 있다. 현재 신재생에너지를 개발하는 연구들 중 하나가 바이오매스를 통해 고체나 액체, 기체상의 연료를 제조하는 연구이다[1-4]. 현재 사용되고 있는 제1세대 바이오연료인 바이오에탄올, 바이오디젤은 콩이나 옥수수과 같은 식용작물에서 제조되기 때문에 부차적인 문제로 기아나 기근과 같은 윤리적인 문제를 야기할 수 있다. 하지만 본 연구에서 사용된 목질계 열분해유(Wood Pyrolysis Oil, WPO)는 제2세대 바이오연료로서 폐목재, 톱밥, 역새와 같은 비식용작물에서 제조되기 때문에 그 자원의 양이 무한에 가까우며 자유롭게 얻을 수 있다. 실제로 산림자원이 풍부한 북미나 북유럽에서는 이 목질계 열분해유를 난방용 연료로 사용하거나 발전용 보일러와 터빈에 성공적으로 이용하고 있으며, 정제과정을 통하여 좀 더 고품질의 오일로 제조하여 자동차나 선박과 같은 수송용 운송기관에 적용하려고자 하는 시도들이 진행되고 있다. 그러나 목질계 열분해유는 그 연료의 특성상 발열량과 자발화특성이 낮으며 연료내 고체입자들로 인해 연소특성이 저하되는 단점이 있다. 또한 높은 점도와 산도를 보유하고 있어 미립화특성을 저하시키고 연료분사계를 쉽게 손상시키는 단점이 있다. 하지만 세탄가 향상제를 첨가한 목질계 열분해유의 디젤엔진 적용 시 연소성능이 디젤유와 동등하다는 연구결과가 보고되었으며[4-5], 디젤유와 바이오원유의 혼합유로 디젤엔진에 적용한 결과 배출가스 중 미연탄화수소(THC)와 일산화탄소(CO)의 배출량은 증가하였지만, 입자상물질(PM) 저감에 많은 기여를 한 것으로 보고되었다[6-9]. 또한 목질계 열분해유의 높은 점도를 낮추고 중합작용을 억제하기 위해 에탄올, 메탄올과 같은 알코올계 연료와 혼합하여 연료의 엔진 적용성이 향상되는 연구 결과도 발표되었다[10].

따라서 본 연구에서는 목질계 열분해유와 에탄올을 질량비율 2 : 8 로 혼합한 혼합연료를 제조하여 이를 디젤유와 함께 이중분사가 가능한 디젤엔진에 적용하였다. 혼합연료와 디젤유를 혼합 연소하는 경우 혼합연료를 이루고 있는 목질계 열분해유와 에탄올은 상대적으로 디젤

유보다 자발화특성이 낮기 때문에 세탄가가 높은 디젤유를 파일럿 분사하여 발생한 화염으로 세탄가가 낮은 혼합연료를 연소시켰고 이때의 연소특성과 배출가스 특성을 파악하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 구성

본 실험에서 사용된 엔진은 대형 버스엔진의 한 부분을 개조하여 만든 실험용 단기통 디젤엔진으로 그 상세 제원은 Table 1에 나타내었다. 배기량은 1858 cc이며 보어와 스트로크는 각각 130 mm, 140 mm이다. 압축비는 피스톤에 따라 변경이 가능하나 엔진의 기본 압축비인 17.2 : 1을 선택하여 실험을 진행하였다. 연료는 커먼레일시스템을 구성하여 분사하였고, 분사압은 혼합연료가 20 MPa, 디젤유는 120 MPa로 분사하였다. 엔진회전수는 엔진의 안정성과 내구성을 고려하여 1000 RPM으로 고정하였다.

Table 1. Specification of the test engine

Item	Specifications
Displacement	1,858 cc
Engine speed	1000 RPM
Cylinders	1
Intake system	Natural aspiration
Injection pressure	Diesel 120 MPa Blended oil 20 MPa
Bore×Stroke	130×140mm
Compression ratio	17.2

Fig. 1은 본 연구에 필요한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험에서 사용된 엔진의 회전수 및 부하를 제어하기 위해 55 kW급 DC동력계(Shinwa사)를 사용하였으며, 실린더 내부의 연소특성을 분석하기 위해 압력센서(Kistler 6052C)와 압력센서 장착을 위한 어댑터(Kistler 6542Q27)를 설치하여 엔코더의 신호와 동기화하여 연소실 내부의 압력을 크랭크각 0.5° 단위로 측정하였고, 연소해석기(DEWE-800, Dewetron Co.)을 통해 열방출률을 계산하였다. 흡입되는 공기의 양을 측정하기 위해 흡기 Reservoir의 상단에 유량계(Meriam Inst. Co.)를 설치하였고, 공연비는 광대역 공연비센서(ETAS,

LA4)를 사용하여 측정하였다. 또한 배출가스측정은 배출가스분석기(AMA I-60, AVL Co.)를 사용하였으며, 연소과정 중에 발생하는 검댕(Soot)은 광투과 방식을 이용하는 Opacimeter(AVL Co.)로 측정하였다. 입자상물질의 개수농도와 입경별 개수농도는 우선 배출가스 회색장치인 DEED(Decati Co.)로 배출가스를 약 100배 희석한 후 FMPS(TSI Co.)로 측정하였다.

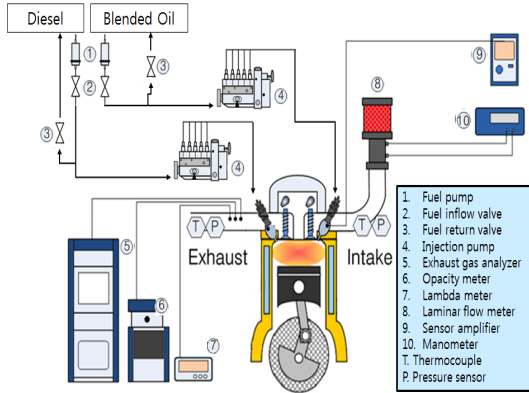


Fig. 1. Schematic diagram of engine experimental apparatus

2.2 실험방법

본 연구에서는 바이오원유-에탄올 혼합연료와 디젤유에 대해 각각 다른 전자식 분사기를 이중으로 장착하였으며, 독립적으로 연료분사가 가능케 하였다. 디젤유는 Bosch사의 솔레노이드 타입 분사기를 사용하였고 혼합연료의 경우는 BMW사의 피에조 전자 분사기를 사용하였다.

바이오원유는 디젤에 비해 연료물성치가 매우 저급하

고 점성이 높아 단독으로 사용하기엔 많은 제약이 있어 에탄올과 같은 알코올계 용매에 혼합하여 사용하였고 그 혼합비율은 질량비율로 바이오원유를 20% 혼합하였다. Table 2는 디젤유, 에탄올 및 바이오원유의 물성치를 나타내고 있으며, 목질계 열분해유의 발열량은 디젤유의 1/3 정도로 낮고 다량의 수분과 산소성분을 함유하고 있음을 알 수 있다.

엔진실험은 저부하영역인 IMEP 2 bar에서부터 고부하영역인 IMEP 8 bar까지 디젤유를 혼합연료로 대체하는 대체율을 높여가면서 실험을 진행하였다. 혼합연료의 대체율(Substitution Ratio, SR)은 실제 투입된 디젤 및 혼합연료의 에너지 비율로 계산하였다. 디젤유의 분사시기는 전 구간에서 파일럿 분사를 주분사의 크랭크각 10° 앞쪽에서 분사하였고, 바이오원유-에탄올 혼합연료는 고부하영역으로 갈수록 더 진작시켜 분사하여 다량의 혼합연료가 충분히 연소될 수 있도록 유도하였다. Table 3은 실험연료에 대한 분사시기 실험조건을 나타내었다.

그리고 연소안정성의 척도로 판별할 수 있는 변동계수(Coefficient of Variation, COV)값은 연료내부에서 연소 시 발생하는 도시평균유효압력(Indicated Mean Effective Pressure, IMEP)값의 표준편차를 평균값으로 나누어 계산하였다.

$$COV = \frac{\sigma_{IMEP}}{Avg_{IMEP}} \times 100(\%) \tag{1}$$

각 부하조건에서 단위 출력당 소비되는 연료를 보여 주는 도시연료소비율(Indicated Specific Fuel Consumption, ISFC)은 다음과 같이 정의하였다.

Table 2. Physical properties of test fuels

Fuels	Viscosity [cSt at 40°C]	LHV[KJ/g]	Water content[%]	C [wt.%]	H [wt.%]	O [wt.%]	Density [kg/m ³]	Cetane number
Diesel	2.7	45.8	-	85.0	12.6	-	821.0	52.6
Ethanol	1.07	26.9	<0.30	52.1	13.2	34.7	772.0	8-10
WPO	9.5	15.9	33.62	41.0	10.1	48.8	1193.5	5-25

Table 3. Injection timing conditions of test fuels

IMEP	Diesel	Blended Oil	SR	Blended Oil	SR	Blended Oil	SR	Blended Oil	SR	Blended Oil	SR
2bar	P17, M7	-	0%	BTDC 0°	12%	BTDC 2°	27%	BTDC 3°	42%	-	-
4bar	P16, M7	-	0%	BTDC 0°	25%	BTDC 3°	40%	BTDC 5°	54%	BTDC 4°	65%
6bar	P15, M6	-	0%	BTDC 4°	17%	BTDC 7°	42%	BTDC 7°	52%	BTDC 6°	66%
8bar	P15, M6	-	0%	BTDC 4°	12%	BTDC 4°	28%	BTDC 7°	48%	-	-

$$ISFC = \frac{\dot{m}_f}{HP_{IMEP}} \quad (2)$$

여기서 \dot{m}_f 는 실험연료의 연소과정 중 사용된 연료유량이며, HP_{IMEP} 는 도시평균마력이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 부하별 연소특성

Fig. 2는 엔진의 중부하 조건인 IMEP 4 bar에서의 연소실압력과 열방출률 특성을 나타낸 것이다. 연소특성 결과를 살펴보면 바이오원유-에탄올 혼합연료의 대체율을 높일수록 연소실 내부의 최대압력이 점점 낮아지는 양상을 볼 수 있다. 이는 대체율을 높이는 경우 혼합연료를 디젤 화염이 발생한 이후에 분사하므로 예혼합 영역의 연소량이 감소하기 때문이다. 열방출률 특성을 보면 확연히 디젤을 연소시켰을 때보다 혼합연료를 적용하여 대체율을 증가시키는 경우 예혼합 영역에서의 열방출률이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 대신 대체율을 증가시키면 많은 영의 혼합연료가 확산화염 영역에서 연소되므로 이 영역에서의 열방출량은 증가한다.

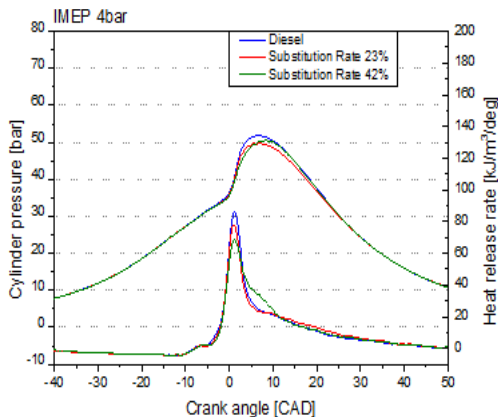


Fig. 2. Combustion characteristics according to test fuels at IMEP 4 bar

Fig. 3에서는 대체율에 따른 엔진부하별 연소안정성을 나타내는 변동계수(COV) 특성을 나타내고 있다. 일반적으로 COV가 5% 이내일 때 연소가 안정적이라고

판단하는데 저부하 조건인 IMEP 2 bar를 제외한 다른 부하영역에서는 5%이내의 안정적인 연소를 보여주고 있다.

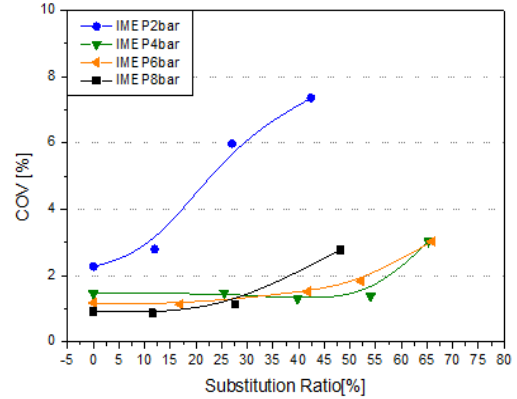


Fig. 3. COV characteristics according to blended oil substitution ratio

하지만 혼합연료의 대체율을 높일수록 변동계수 값이 점점 증가하는 경향을 볼 수 있는데 이는 세탄가가 상대적으로 디젤유보다 낮고, 자발화 연소가 잘 일어나지 않는 연료량이 많아질수록 불완전한 연소가 이루어지기 때문이라고 사료된다. 저부하 IMEP 2 bar에서는 대체율을 높일수록 확연히 변동계수 값이 증가하는 양상을 볼 수 있는데, 이는 투입되는 디젤의 연료량이 적어지면 후분사 되는 혼합연료를 연소시킬만한 충분한 양의 화염이 발생되지 않기 때문에 불완전 연소되는 혼합연료가 증가하기 때문이다.

Fig. 4에서는 혼합연료의 대체율에 따른 부하별 도시연료전환효율(Indicated fuel conversion efficiency)를 나타내고 있는데 도시연료변환효율은 전체 에너지입력에 대하여 사이클에서 수행된 일의 비율로 계산할 수 있다. 결과를 살펴보면 저부하 조건인 IMEP 2 bar에서 불완전연소로 인하여 효율이 가장 낮고 부하가 증가할수록 효율이 증가하다가 고부하영역인 IMEP 8 bar에서 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다. IMEP 8 bar에서 효율이 감소하는 이유는 대체율이 높아질수록 동일한 출력을 내기 위하여 연료분사량이 증가하고 이에 따라 연료분사기간이 길어지게 되면서 많은 연료들이 TDC 이후에 분사되어 효율이 감소하는 것으로 판단된다. 동일한 이유로 혼합연료의 대체율이 높아질수록 열효율이 점점 감소하는 경향을 나타내고 있다.

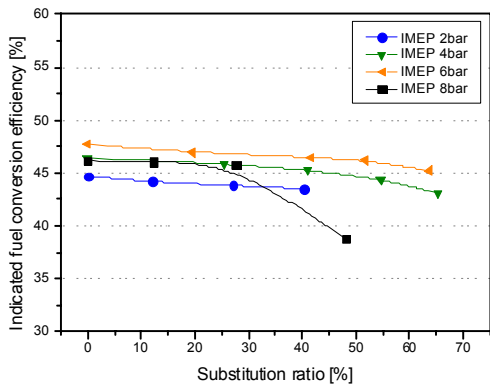


Fig. 4. Indicated fuel conversion efficiency according to blended oil substitution ratio

3.2 부하별 배출가스특성

혼합연료의 대체율에 따라서 부하별로 측정된 미연탄화수소(THC) 배출특성을 Fig. 5에 나타내었다. 저부하 조건인 IMEP 2 bar에서 다른 부하 조건에 비하여 다소 많은 양의 THC가 배출되는 것을 확인할 수 있다. 낮은 부하 조건에서는 연소실의 압력과 온도가 너무 낮기 때문에 점화 지연이 증가하고 미연된 연료의 양이 증가하므로 미연탄화수소가 다량 배출된다. 혼합연료 대체율을 높일수록 THC는 증가하며 특히 IMEP 2 bar 조건에서는 급증하는 결과를 보이는데 이는 대체율이 높아질수록 디젤연료량이 줄고 이로 인하여 디젤이 만드는 화염의 강도가 낮아 혼합연료의 연소가 잘 이루어지지 않으므로 미연되는 연료가 증가하기 때문이다.

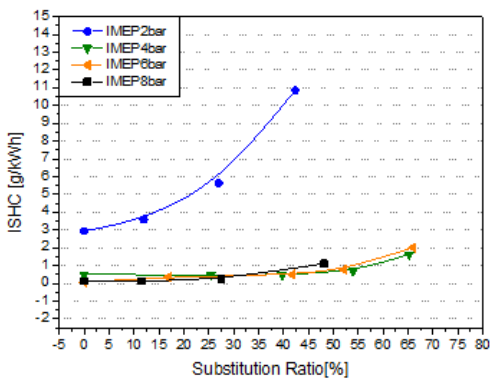


Fig. 5. HC characteristics according to blended oil substitution ratio

Fig. 6은 혼합연료의 대체율에 따른 부하별 일산화탄소(CO)의 배출특성을 나타낸 것이다. CO 배출특성은

THC 배출특성과 유사한 경향을 나타내고 있는데 저부하 IMEP 2 bar에서는 불완전연소로 인하여 다량의 CO가 배출되었지만 연료가 연소하기 적합한 조건인 중·고 부하영역에서는 배출량이 급감하였다. 혼합연료의 대체율을 높일수록 불완전 연소량이 많아져 CO 배출량이 증가하는 양상을 보였다.

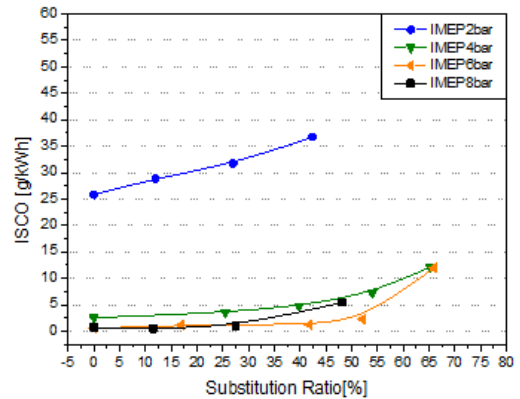


Fig. 6. CO characteristics according to blended oil substitution ratio

Fig. 7에서는 혼합연료의 대체율에 따른 부하별 질소산화물(NOx)의 배출특성을 나타내고 있다. 그 결과로 연소온도가 낮은 저부하영역에서는 NOx의 배출량이 현저히 낮은 것을 알 수 있었다. 전반적으로 부하가 증가할수록 NOx의 배출량이 증가하는 양상을 보이는데 이는 연료량의 증가로 인하여 연소실내 압력과 온도가 증가하여 다량의 NOx가 발생한 것이다. 모든 부하 조건에서 혼합연료의 대체율이 높아질수록 NOx의 배출량이 감소

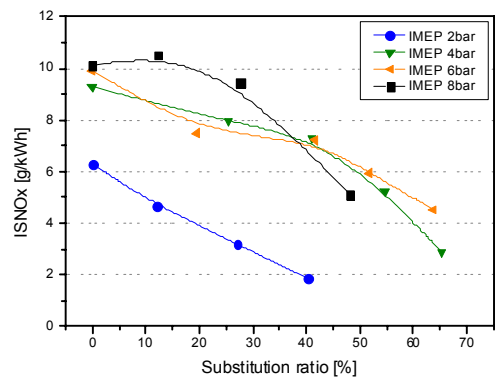


Fig. 7. NOx characteristics according to blended oil substitution ratio

하는 경향을 나타내는데 이는 바이오원유의 높은 수분함유량에 의하여 연소 시 연료내의 수분이 증발하면서 발생하는 증발잠열로 인하여 연소온도가 떨어지기 때문이라 사료된다. 또한 대체율이 증가할수록 Fig. 2에서 나타나는 연소실 압력과 예혼합 연소영역에서의 열방출량이 감소하기 때문에 NOx가 감소한다.

3.3 입자상물질 (PM) 배출특성 결과

Fig. 8은 혼합연료의 대체율에 따라 배출되는 입자상물질의 특성을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 입자상물질의 중량을 측정하기 위하여 광투과식 매연측정기(Opacimeter)를 이용하여 배출가스내의 검댕(soot)의 농도를 측정하였다. 디젤 입자상물질은 주로 연소에 의해서 생성되는 탄소계 물질(Soot)로 구성되는데 다환 방향족 탄화수소(PAHs)나 아세틸렌과 같은 불포화 탄화수소는 Soot를 생성하기 위한 전구체로 작용하게 된다. 대체율이 0%인 디젤연소의 경우 부하가 증가함에 따라 연료량이 증가하고 공연비가 농후한 영역이 증가하므로 많은 양의 검댕이 배출되고 있다. 하지만 혼합연료의 대체율이 높아질수록 에탄올과 열분해유의 높은 산소함유량으로 인하여 국부적인 농후한 영역을 희박한 영역으로 바뀌주며 연소과정에서 생성된 탄화수소를 산화시켜주게 되므로 검댕의 배출량이 급감하게 되는 것을 확인할 수 있다.

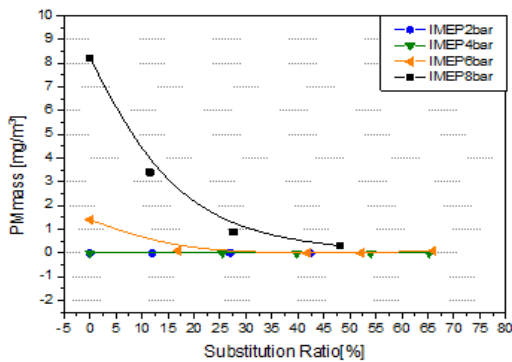


Fig. 8. PMmass characteristics according to blended oil substitution ratio

Fig. 9와 Fig. 10은 혼합연료의 대체율에 따라 배출되는 PMmass들의 보다 자세한 분포를 확인하기 위하여 입경별 개수농도 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 Fig. 9의 중부하인 4 bar 영역의 경우, 디젤유만 연소시켰을 때보다 혼합연료를 적용하였을 때 확실히 50 nm이하의

작은 입자들이 많이 발생하였다. 50 nm이상의 입자들은 대체율 0%인 디젤유만 연소시켰을 때 더 다량으로 배출이 되었다. 이는 혼합연료 속에 함유하고 있는 수분과 산소성분들이 이 검댕(soot)들을 재연소시켜 더 작은 크기의 입자들이 생겼다고 할 수 있다. 그리고 Fig. 10의 고부하인 8 bar 영역을 보면 중부하영역보다 더 크기가 큰 입자들이 생성됨을 확인할 수 있다. 이는 고부하영역에서는 연소 후 배출되는 10 nm의 작은 입자들이 서로 뭉쳐서 덩어리를 이루는 중합작용(Agglomeration)이 더 활발히 진행되기 때문이다. 하지만 중부하영역과 마찬가지로 크기가 작은 입자들이 혼합연료를 적용하였을 때 디젤유의 연소시보다 더 다량으로 생성되었고 이것 역시 연료내의 산소성분 때문인 것으로 사료된다.

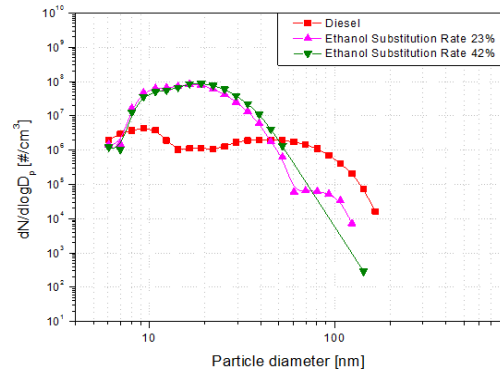


Fig. 9. Particle size distribution characteristics according to test fuels at IMEP 4 bar

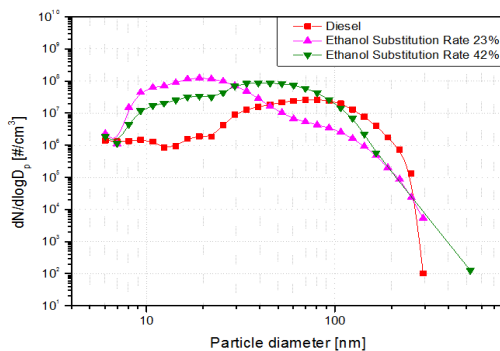


Fig. 10. Particle size distribution characteristics according to test fuels at IMEP 8 bar

4. 결론

본 연구에서는 디젤엔진의 단점인 PM과 NOx의 배출

을 동시에 저감하기 위해 디젤엔진에서 이종연료의 연소 전략을 시행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 이종연료의 연소전략을 저부하 2 bar에서 고부하 8 bar까지 부분부하를 가하여 바이오원유-에탄올 혼합연료와 디젤유를 혼소시켰을 때 저부하영역을 제외하고는 모두 COV 5%이내의 안정적인 연소를 보여주었다.
- (2) 저부하 2 bar영역에선 연소실 내부로 분사되는 연료량이 희박하여 연소가 잘 일어나지 않고, 불안정하여 THC와 CO의 특성이 다소 높게 배출되었다. 또한 모든 영역에서 혼합연료의 대체율이 높아질수록 연료의 자발화 특성이 떨어져 미처 연소하지 못한 연료들이 많아져 THC와 CO의 배출량이 높아지는 경향을 알 수 있었다.
- (3) 부하가 높아질수록 투여한 연료량의 증가로 인해 NOx의 배출량이 점점 증가하지만 내수분량이 많은 혼합연료의 대체율이 높아질수록 급격한 열방출을 억제하여 NOx의 배출량이 점점 줄어드는 결과를 나타내었다. 또한 혼합연료가 함유하고 있는 다량의 산소성분이 검댕(soot)들을 재연소할 수 있게 하여 더 작은 크기의 입자들을 발생시켰고, 이로 인해 PMmass 저감에 큰 영향을 준 것으로 확인되었다.

References

- [1] M. Ringer, V. Putsche and J. Scahill, Large scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis, Technical Report, NREL/TP-510-377779, 2006.
- [2] Y. Solantausta, N. Nylund, M. Westerholm, T. Koljonen and A. Oasma, "Wood-Pyrolysis Oil as Fuel in a Diesel-power Plant", Bioresource Technology, Vol. 46, pp. 177-188, 1993.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(93\)90071-I](https://doi.org/10.1016/0960-8524(93)90071-I)
- [3] A. Shihadeh and S. Hochgreb, "Diesel Engine Combustion of Biomass Pyrolysis Oils", Energy & Fuels, Vol. 14, pp. 260-274, 2000.
DOI: <https://doi.org/10.1021/ef990044x>
- [4] R. Prakash, R. Singh and S. Murugan, "Performance and Emission Studies in a Diesel Engine Using Bio Oil-diesel Blend", 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, Vol. 6, pp. 428-433, 2011.
- [5] A. Acala, and A. V. Bridgwater, "Upgrading fast pyrolysis liquids: blending bio-oil, bio diesel and (bio)alcohols", TCbiomass, 2011.

- [6] D. Chiamonti, A. Oasma and y. Solantausta, "Power Generation Using Fast Pyrolysis Liquids from Biomass", Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, pp. 1056-1086, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.07.008>
- [7] S. K. Yoon, N. J. Choi and M. S. Kim, "Effects of canola biodiesel fuel blended with diesel on the combustion and exhaust emissions characteristics in a CRDI engine", Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 5, 2573-2578, 2014.
- [8] S. K. Yoon and N. J. Choi, "Effects of injection timing on the combustion and emission characteristics in a common rail diesel engine with bio-diesel blended fuel", KAIS Spring Conference, pp. 90-91, 2014.
- [9] B. Beld, E. Holle, and J. Florjin, "An experimental study on the use of pyrolysis oil in diesel engines for CHP applications", 19th European Biomass Conference and Exhibition, pp. 1191-1187, 2011.
- [10] S. H. Lee, Y. G. Jang, S. H. Kim, and J. H. Lim, "Feasibility Study of Using Wood Pyrolysis Oil in a Dual-Injection Diesel Engine", Transactions of KSAE, Vol. 22, No. 4, pp. 1-9, 2014.
DOI: <http://doi.org/10.7467/KSAE.2014>

김민재(Min-Jae Kim)

[준회원]



- 2015년 2월 : 가천대학교 기계-자동차공학과 (공학학사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 가천대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

기계공학, 엔진공학, 자동차공학

이석환(Seok-Hwan Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 한국기계연구원 그린동력연구실 선임연구원

<관심분야>

기계공학, 엔진공학, 자동차공학

조 정 권(Jeong-Kwon Cho)

[정회원]



- 2002년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2016년 8월 : 가천대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 교통안전공단

<관심분야>
자동차공학, 내연기관

윤 준 규(Jun-Kyu Yoon)

[정회원]



- 1987년 8월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 명지대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 기계공학과 교수

<관심분야>
열유체공학, 자동차공학

임 종 한(Jong-Han Lim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1992년 8월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 기계공학과 교수

<관심분야>
열유체공학, 자동차공학