

팜유를 연료로 사용하는 커먼레일 직접분사식 디젤기관의 연소 및 배기특성에 관한 연구

안영수*, 갈준충**, 김민수**, 최낙정**†

*전북대학교 산업기술학과(기계공학)

**전북대학교 기계설계공학부

† e-mail:njchoi@jbnu.ac.kr

A Study on Combustion and Emission Characteristics of a Common Rail Direct Injection Diesel Engine Fueled with Palm Oil

Young-Soo An*, Jun-Cong Ge**, Min-Soo Kim**, Nag-Jung Choi**†,

*Dept. of Industrial Technology (Mechanical Engineering),

Jeonbuk National University

**Division of Mechanical Design Engineering, Jeonbuk National University

요약

바이오연료는 기존 디젤과 기본적인 성분이 비슷하며 디젤에 비해 저위발열량이 낮고, 탄소 함유량이 적은 반면에 연료 자체에 산소를 많이 함유하여 디젤보다 높은 세탄가를 가지고 있기 때문에 연소향상 및 배기가스저감 등 특징이 있다. 바이오연료는 디젤 엔진에 가장 적합한 대체연료로써 유해 물질의 배출을 감소시키는 큰 이점을 가지고 있다. 따라서 기존 디젤 엔진 유해 배출물을 저감 시키기 위하여 본 연구에서는 저부하와 기관회전속도 변동에 따라 팜유/디젤 혼합연료가 CRDI 디젤기관의 연소 및 배기특성에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

1. 서론

전통적인 자동차의 급속한 발전은 사람들의 생활에 편리함을 가져다 주면서 동시에 대량의 유해 배출물인 일산화탄소(carbon monoxide, CO), 탄화수소(hydrocarbons, HC), 질소산화물(nitrogen oxides, NOx), 입자상물질(particulate matter, PM) 등을 발생시켰다[1]. 최근 수십 년 동안 사람들은 환경오염, 특히 전통적인 자동차의 오염에 특별한 관심을 기울이기 시작했다. 전통적인 자동차로 인한 배출가스는 대기오염, 지구 온난화, 기후 이상변화, 석유고갈 등 환경, 생태 에너지문제를 일으켜 심각한 사회문제로 부각되면서 이에 따른 자동차의 성능개선과 배출물 저감등 함께 개선이 요구되고 있는 실정이다.

전통적인 자동차는 가솔린 엔진과 디젤 엔진으로 나뉘는데 가솔린 엔진은 NOx와 PM 배출량이 적고 소음과 진동이 적어 소형차, 승용차 등 소형 차량에 널리 사용되고 있으며, 그에 반해 디젤 엔진은 좋은 연비, 고 안정성, 높은 열효율과 고 출력 등 장점을 가지고 있기 때문에 트럭, 버스, 상용차 등에 널리 사용되고 있으므로 사람들에게 큰 관심을 주고 있다. 하

지만 디젤 엔진의 경우 가솔린 엔진보다 NOx와 PM 배출물이 많이 배출되는 단점이 있다. 전통적인 자동차의 유해 물질 배출을 줄이기 위해 디젤연료 기반인 HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition), PCCI (Pre-mixed Charge Compression Ignition), LTC (Low Temperature Combustion) 기술; 가솔린연료 기반인 GDCI (Gasoline Direct Compression Ignition) 기술; 2종 이상의 연료를 사용하는 RCCI (Reactivity Controlled Compression Ignition), Dual-Fuel Combustion 기술; 배기 후처리 장치(산화촉매, DOC, DPF, SCR 등) 및 배기가스재순환 (EGR)을 사용해 왔으며, 최근에는 추가적으로 lean NOx Trap (LNT) 혹은 선택적 촉매 환원법 (SCR, selective catalyst reduction) 후처리 장치를 사용한다. 하지만 대부분의 신연소기술에서 연소 방식은 고부하 영역으로의 확장 시 높은 실린더 압력 상승률을 제어할 수 없으며, 배기가스 후처리 장치는 고가의 장비로 엔진 가격을 높이는 단점이 있다[2,3]. 따라서 화석연료 대량사용에 따른 석유고갈과 환경오염 등 문제가 심각하여 이를 대체할 수 있는 청정 대체연료의 확보가 필요하다.

청정 대체 에너지원으로 각광받는 바이오연료의 하나는 바이오디젤(biodiesel)로 환경친화적 특성으로 인해 수송용 연료에 가장 활발하게 적용되고 있다[4,5]. 바이오디젤은 석유

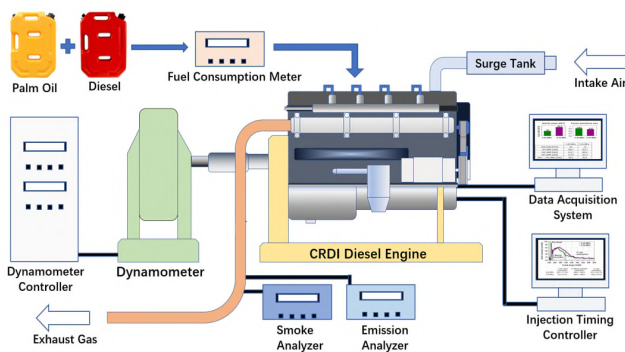
기반인 경유의 대안으로 식물성 기름이나 동물성 지방과 같이 재생 가능한 자원을 바탕으로 전이에스테르화 (transesterification), 열분해, 에멀전화와 같은 화학적 변형 과정을 통해 제조된다[5]. 이런 과정을 거쳐 바이오디젤은 비방향족 식물성 기름과는 달리 경유와 매우 비슷한 연소 특성을 가지기 때문에 현재 사용되는 대부분의 경우에 경유를 대체할 수 있다. 디젤기관에서 순수한 바이오디젤이나 바이오디젤과 디젤의 혼합연료를 사용하였을 때 CO, HC 및 PM 등 배출물을 뚜렷하게 감소할 수 있다고 많이 보고하였다[6,7]. 또한 많은 연구자들은 식물성 기름을 단기간 사용하면 엔진 성능이 향상 될 수 있지만 장기간 사용하면 엔진 성능이 저하된다고 보고한다. 왜냐하면 식물성 기름을 장기간 사용하면 연료 필터 막힘, 연소실 미연소 고착, 연료 분사기의 초점, 피스톤 링의 접착 및 윤활유 농축 등 문제를 초래할 수 있다[8]. 식물성 기름 사용의 주요 문제점 중 하나는 점도가 높아 연료 라인, 필터 및 인젝터가 막힐 수 있다. 가열, 에스테르 교환, 디젤 연료와의 혼합사용 등은 식물성 기름의 점도를 감소시키는 효과적인 방법이다.

따라서, 본 연구에서는 팜유(palm oil)를 기존에 있는 디젤 연료와 다양한 체적비율로 혼합하여 4실린더 커먼레일 직접 분사식 디젤기관의 연소 및 배기특성을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치의 개략도는 Fig.1과 같으며, 실험기관의 주요 제원은 표 1과 같다. 실험장치는 터보차저가 장착된 4실린더 전자 제어식 커먼레일 직접분사식(CRDI) 디젤기관과 220V 전원에 의해서 구동되는 연료 펌프를 장착한 연료공급 장치, 연료소모량 측정을 위한 고정밀도 전자저울, 배기가스 성분 분석을 위한 배기가스분석 시스템, 연료 분사 시기를 제어하는 ECU 기관동력의 제어를 위한 와전류 타입의 EC동력계 등으로 구성하였다.



[그림 1] 실험장치의 개략도

[표 1] 엔진 주요 제원

Engine type	In-line four-cylinder
Fuel injection system	Bosch common-rail direct injection
Air intake system	Turbocharger with WGT
Bore × stroke (mm)	83 × 92
Displacement (cc)	1991
Compression ratio	17.7:1
Maximum power (ps/rpm)	115/4000
Maximum torque (kgm/rpm)	26.5/2000

2.2 실험 방법

본 실험에서는 기관 운전변수에 따라 기관의 회전속도, 엔진부하, 분사시기, 분사압력, 실험용 연료 등으로 하여 아래 표 2와 같이 변화시켰다.

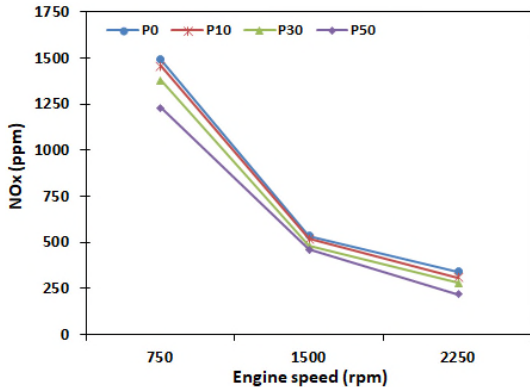
[표 2] 실험변수

Engine speed (rpm)	750
	1500
	2250
Engine load (Nm)	30
Fuel injection pressure (bar)	450
Pilot injection timing (CA)	-22
Main injection timing (CA)	-7
Test fuel	P0, P10, P30, P50

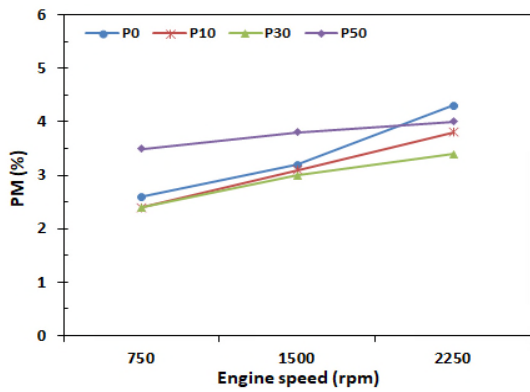
3. 실험결과 및 고찰

팜유 혼합율과 기관의 회전속도 변동에 따른 CRDI 디젤기관의 NOx와 PM 배출물의 배기특성은 그림 2에 나타내었다. 그림 2a는 NOx 배출물의 배기특성을 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 팜유 혼합율과 기관회전속도가 증가함에 따라 NOx는 뚜렷하게 감소하였다. 디젤 엔진에서 NOx 형성은 열 메커니즘에 의해 지배된다[9]. 따라서 NOx의 생성을 지배하는 것은 온도, 산소의 국부 농도 및 연소의 지속 시간이며, NOx는 확산연소단계 동안 반응영역의 희박한 쪽에서 많이 생성된다[10]. 그림 2a에서 기관회전속도가 높아질수록 NOx 배출물이 감소하는 이유는 높은 회전속도가 착화지

연기간을 줄여 NOx 형성 시간을 더욱 단축시켰기 때문인 것으로 보인다[11]. 그림 2b에서 보는 바와 같이 PM배출물은 기관회전속도가 증가함에 따라 증가하였다. 그리고 팜유의 혼합율에 따라 고회전시(2250rpm) PM배출물은 P0 보다는 감소하였다. 이것은 팜유 자체가 함산소를 가지고 있기 때문에 디젤기관 연소실 내의 연소 환경을 개선하여, 특히 국부 산소 부족한 곳의 혼합기를 개선하여 연소가 잘 이루어졌다는 것으로 판단된다.



(a) NOx



(b) PM

[그림 2] (a) NOx와 (b)PM 배출물

4. 결 론

이 연구는 4실린더 CRDI 디젤기관 엔진부하 30Nm에서 기관회전속도가 750rpm, 1500rpm 및 2250rpm로 주어졌을 때 팜유/디젤 혼합연료의 연소 및 배기특성을 조사하기 위하여 수행되었다. 그 결과는 디젤연료에 팜유 10%와 30% 혼합하여 사용했을 때 디젤기관에서 배출된 주요 유해물인 NOx와 PM을 동시에 감소하였다.

후 기

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단

단의 지원(No. 2019R1I1A1A01057727)을 받아 수행된 기초연구사업 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2019R1F1A1063154)을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] Ge, J. C., Kim, H. Y., Yoon, S. K., & Choi, N. J. (2020). Optimization of palm oil biodiesel blends and engine operating parameters to improve performance and PM morphology in a common rail direct injection diesel engine. *Fuel*, 260, 116326.
- [2] 주상현. (2019). Experimental Study of Dual fuel Premixed Compression Ignition Characteristics Varying In-cylinder Flow Motion (Doctoral dissertation, 서울대학교 대학원).
- [3] 이성욱, 차세대 저공해 자동차의 개발 동향, 특집 자동차와 물리학.
- [4] 이종대, 바이오디젤 생산 공정의 최적화, 한국생산기술연구원.
- [5] 홍연기, & 홍원희. (2007). 바이오디젤 공정기술과 연료특성. *Korean Chemical Engineering Research*, 45(5), 424-432.
- [6] Robbins, C., Hoekman, S. K., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2011). Effects of biodiesel fuels upon criteria emissions (No. 2011-01-1943). SAE Technical Paper.
- [7] Hoekman, S. K., & Robbins, C. (2012). Review of the effects of biodiesel on NOx emissions. *Fuel Processing Technology*, 96, 237-249.
- [8] Bari, S., Lim, T. H., & Yu, C. W. (2002). Effects of preheating of crude palm oil (CPO) on injection system, performance and emission of a diesel engine. *Renewable energy*, 27(3), 339-351.
- [9] Fernando, S., Hall, C., & Jha, S. (2006). NO x reduction from biodiesel fuels. *Energy & Fuels*, 20(1), 376-382.
- [10] 김두범, 김기복, 김치원, 한성현 (2017). 직접분사식 디젤기관의 연소 및 배기에 관한 연구. *한국산업융합학회 논문집*, 20(2), 105-113.
- [11] Lin, C. Y., & Li, R. J. (2009). Engine performance and emission characteristics of marine fish-oil biodiesel produced from the discarded parts of marine fish. *Fuel Processing Technology*, 90(7-8), 883-888.