

커먼레일 디젤기관의 공회전시 디젤, 팜 바이오디젤 및 바이오에탄올 혼합연료가 연소 와 배기 특성에 미치는 영향

김정봉*, 갈준충**, 김민수**, 최낙정**†

*전북대학교 산업기술학과(기계공학)

**전북대학교 기계설계공학부

† e-mail:njchoi@jbnu.ac.kr

Influences of pure diesel / palm oil biodiesel / bioethanol blends on combustion and emission characteristics in a common rail diesel engine under idling conditions

Jeong-Bong Kim*, 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

요 약

본 논문에서는 커먼레일 디젤기관의 공회전 조건에서 디젤과 바이오디젤에 바이오에탄올 혼합에 따른 배기특성에 대하여 분석하였으며, 디젤에 비해 바이오디젤 사용 시 PM은 증가 하고 NOx는 감소하는 결과를 볼 수 있었다. 디젤에 비하여 바이오디젤은 점도가 높은 단점이 있다. 그로 인하여 연료의 무화가 잘 이루어지지 않아 연소실내 흡입된 공기와 혼합이 불량하고 그 결과 불완전한 연소로 진행되어 PM의 배출량은 증가하였고, 연소실내 온도는 하락하여 NOx의 배출량은 감소하였다. 높은 점도를 개선하기 위하여 바이오에탄올 혼합 시 연소 환경 개선으로 PM은 하락하고 NOx의 증가는 억제되었다. 디젤과 바이오에탄올 혼합 시에는 낮은 세탄가에도 PM은 유지되었으며 NOx는 저감되었다.

1. 서론

최근 들어 대기환경이 급격히 나빠지고 있다. 그에 따라 대기환경에 영향을 끼치는 요인에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 화석연료를 사용하는 내연기관에서 배출되는 배기가스는 자동차 사용량 증가에 따라 대기환경을 악화시키는 주요 요인 중 하나로 더욱더 대두되고 있다. 그중 가솔린엔진에 비해 높은 열효율을 얻을 수 있는 디젤엔진을 장착한 자동차의 수요가 증가하였는데, 디젤 자동차의 경우 입장물질(PM)과 질소산화물(NOx)의 배출량이 많다. 그렇기 때문에 각 나라별 규제를 점점 강화하고 있고 유럽연합에서는 디젤 차량의 배기가스 규제를 1992년 Euro1을 시작으로 Euro6 까지 지속적으로 강화하여 시행하고 있다. 자동차 제조사 들은 그 규정을 맞추기 위하여 DPF, LNT, SCR등 기계적인 기술 개발과 연구를 하고 있다. 그러나 이를 극복하기 위해서는 기계적인 기술 개발 뿐만 아니라 내연기관에 사용되는 연료에 대한 개선을 통한 대기환경 오염물질 저감방안에 대한 연구가 필요하다[1-3]. 대표적인 예로 바이오디젤과, 바이오 에탄올이 있다. 그중 바이오디젤은 ULSD(Ultra low sulfur diesel)

보다 높은 세탄가를 가지고 있어 착화성이 좋으며, 연료 내 산소를 포함하고 있는 합산소 연료로 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 입자상 물질(PM)을 저감 할 수 있는 장점이 있고 그에 반해 높은 점도와 저온에서 결정화 되는 문제점이 있다. 높은 점도로 인해 연료의 무화가 잘 이루어 지지 않는 단점이 존재 하며 그로인한 불완전 연소로 일산화탄소, 탄화수소, 입자상 물질의 배출량이 증가할 수 있으며, 이것은 산소 함유의 장점을 무마시킨다. 또한 완전연소 시 질소산화물(NOx)의 배출이 기존 ULSD 보다 약간 증가하는 연구 결과가 있다. 그리고 바이오에탄올 또한 바이오디젤과 마찬가지로 합산소 특성을 가지고 있어 CO, HC, PM을 저감시키고 높은 증발잠열로 인하여 연소실 온도를 낮추어 NOx의 배출량도 저감 시키는 연구 결과가 있다. 그리고 낮은 점도로 바이오디젤과 혼합 시 바이오디젤의 높은 점도 개선하는 장점이 있다. 반면 낮은 세탄가로 착화가 지연되는 연구결과가 있다[4].

본 연구에서는 ULSD와 바이오디젤에 바이오에탄올 혼합하여 배기가스 특성을 분석하고 자 하였음, 그에 따라 실린더 내 연소 환경이 가장 좋지 않는 공회전 상태 750RPM, 무부하 상태 0Nm과 부하 상태 35Nm을 적용하여 배기가스 특성을 비교하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 기관은 4기통 2.0리터 CRDI 디젤 기관으로 터보차저를 포함하고 있으며 Bosch Fie 시스템을 사용하였다. 세부 사항은 Table 1과 같다. 실험에 사용된 바이오디젤은 B로 표현하였다. B0는 바이오디젤을 혼합하지 않은 순수 ULSD이며, B100은 순수 바이오디젤이다. 그리고 바이오에탄올은 E로 표현하였다. B0E10, B100E10은 순수 ULSD와 순수 바이오디젤에 바이오에탄올을 체적비율로 10vol.% 혼합하였다. 이 실험에 사용된 연료의 상세한 사항은 Table2에 표시되어 있다.

관의 예열플러그 자리에 압전 소자 방식의 압력 센서(Kistler, 6056a)로 데이터를 수집하여 분석하였다.

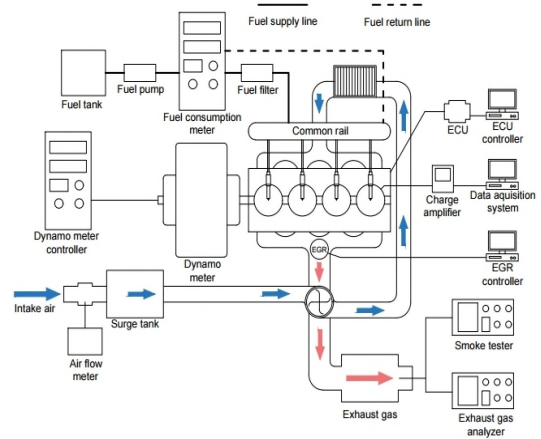


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

Table 1 Engine specifications

Items	Specification
Engine type	In-line 4cylinder
Maximum power	82kW / 4000rpm
Maximum torque	260Nm / 2000rpm
Bore × Stroke	83mm × 92mm
Displacement	1991cc
Compression ratio	17.7 : 1
FIE system type	Bosch CRDI
Injector	5 Hole (spray angle 150°)

Table 2 Properties of test fuels

Properties	Diesel	Bio Diesel	Bio Ethanol
Density (kg/m ³ at 15°C)	836.8	877	799.4
Viscosity (mm ² /s at 40°C)	2.719	4.56	1.10
Calorific value (MJ/kg)	43.96	39.72	28.18
Cetane index	55.8	57.3	8
Flash point (°C)	55	196	12
Oxygen content (%)	0	11.26	34.7

실험장치는 Fig. 1과 같이 와전류 타입 동력계(DY-230kW)와 연료공급 장치, 연료의 소모량 측정을 위한 전자저울(GP100) 배기가스 분석 장치(MK2, HPC-501) 그리고 광투과식 매연 측정기(OPA-102)를 사용하였으며, 연소 압력은 기

2.2 실험방법

본 실험은 기관의 회전속도는 공회전 속도인 750rpm으로 기관의 부하는 무 부하 상태인 0Nm 와, 외부 부하장치 사용에 의한 부하 상태인 35Nm 을 적용하여 실험을 수행하였다. 연료분사 압력은 400bar로 고정하고, 예비분사를 1회를 적용하였으며 주 분사는 BTDC 4°CA 예비분사는 BTDC 20°CA로 하였다. 상세한 사항은 Table 3에 표시되어 있다. 열 발생량과 연소 압력은 CA값에 따른 측정값으로 하였으며, 배기가스와 매연은 각 실험 조건 별로 기관을 가동시키고 냉각수는 353±3°K 범위에서 유지되고, 기관회전수의 변화가 750±5rpm 이내로 유지되어, 기관이 안정화 되었을 때 측정을 시행하였다.

Table 3 Test conditions

Items	Conditions
Engine speed	750±5rpm(Idle speed)
Engine Load	0Nm & 35Nm
Cooling water / Intake temp.	358±3 / 298±3 K
Fuel injection pressure	400bar
Main & Pilot injection timing	Main BTDC 4°CA Pilot BTDC 20°CA

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2 PM과 Fig. 3 NO_x를 보면 ULSD와 바이오디젤 그리고 바이오에탄올 혼합연료가 연소에 따른 배기가스 특성과 부하에 따라 배기가스 특성이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 무부하 상태인 0Nm 보다 부하 상태인 35Nm에서 B0, B0E10, B100, B100E10 모두 PM과 NO_x의 배출량은 증가하였다. 이는 부하 상승에 따른 보정으로 연료의 분사량이 증가 되었으며, 그로인해 PM과 NO_x의 배출량이 증가 한 것으로 생각된다. 그리고 부하와 무관하게 B100에서 B0에 비해 PM의 배출량이 증가하였고 NO_x의 배출량은 감소하였다. B100의 경우 높은 점도로 연료의 무화가 잘되지 않아 연소 환경의 악화로 PM은 증가하고 반면 그로인해 연소온도 하락으로 NO_x는 하락 하였다. B0E10의 경우 부하, 무부하 모두 PM 배출량은 변동이 없었으며, NO_x의 배출량은 감소되었다. 바이오 에탄올 혼합에 따라 세탄가는 낮아지지만 함산소의 영향으로 PM은 유지 되었고, NO_x는 증발잠열에 의하여 연소실 온도 하락으로 감소된 것으로 판단된다. B100E10의 경우에는 부하, 무부하 모두 PM 배출량은 감소하였고 NO_x 배출량은 증가하였다. B100E10의 경우 바이오에탄올 첨가에 따른 점도하락으로 연료의 무화도가 개선되어 PM이 하락하였다. 특히 부하 시에 큰 폭 하락하였고 그에 비하여 NO_x의 증가량은 많지 않았다. 이는 바이오에탄올 증발잠열에 의한 연소실 온도의 하락이 NO_x의 증가를 억제한 것으로 생각된다.

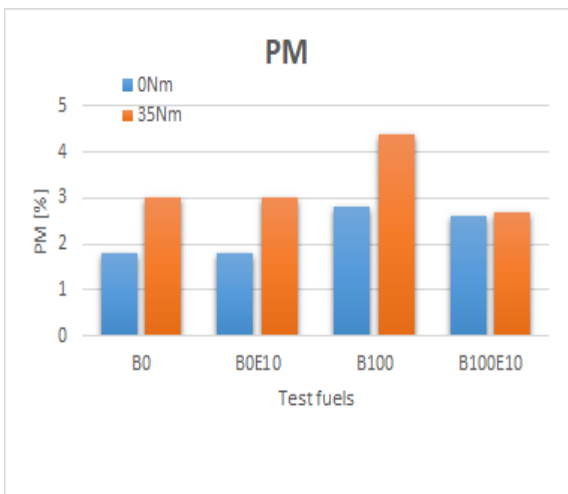


Fig. 2 PM

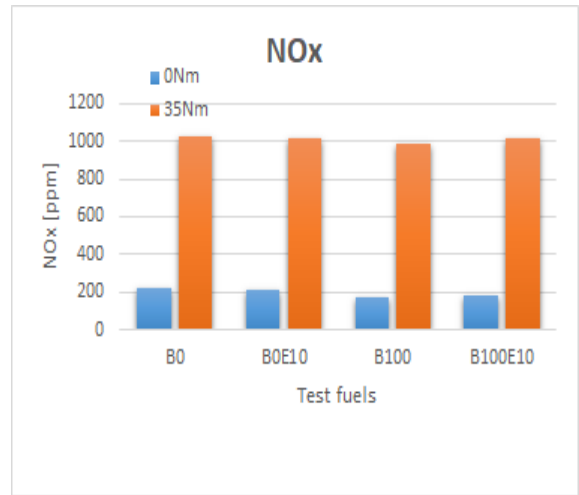


Fig. 3 NO_x

4. 결론

연소 환경이 가장 좋지 않은 공회전(750rpm) 상태에서 바이오디젤(B100) 사용 시 장점인 함산소와 높은 세탄가가 배기가스에 미치는 영향보다는 높은 점도가 미치는 영향이 크며, 점도를 개선하기 위하여 바이오에탄올을 혼합하면 점도 상승으로 인한 문제가 해결되어 높은 점도로 인한 불안정한 연소로 PM의 배출량이 증가하는 것을 막을 수 있으며, 증발잠열에 의해 연소실 온도하락으로 NO_x 배출량의 증가를 억제한다. 그리고 ULSD(B0)에 바이오에탄올 혼합 시 세탄가는 하락하나 함산소 특성과 증발잠열에 의하여 PM의 상승 없이 NO_x를 저감할 수 있다.

후 기

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2019R111A1A01057727)을 받아 수행된 기초연구사업 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2019R1F1A1063154)을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] 백석흠, et al. "디젤엔진에서 바이오디젤의 배기가스 특성 평가." 대한기계학회 논문집 B 권 38.2 (2014): 129-137.
- [2] 도현철, et al. "바이오 디젤유를 사용한 직분식 디젤 기관의 배기특성." 한국동력기계공학회 학술대회 논문집 (2004): 217-222.
- [3] 유병오, et al. "저속 공회전시 커먼레일 디젤기관에서 디젤-팜오일 바이오디젤-에탄올 혼합연료의 연소 및 배기

- 특성에 관한 연구." 한국기계기술학회지 22.1 (2020): 125-130.
- [4] 조행묵. "커먼레일 디젤엔진을 이용한 바이오디젤 연료의 연소 및 배출가스 특성." 한국마린엔지니어링학회지 33.2 (2009): 252-258.