

바이오디젤 혼합연료를 적용한 승용디젤엔진의 성능 및 배출물 저감특성

조시기[†]

한라대학교 기계자동차공학부

(2014년 3월 18일 접수, 2014년 9월 10일 수정, 2014년 9월 12일 채택)

Engine performance and emission reduction characteristics of biodiesel blended diesel fuel in a passenger car diesel engine

Shi Gie Jho[†]

School of Mechanical and Automotive Engineering, Halla University

(Received 18 March 2014, Revised 10 September 2014, Accepted 12 September 2014)

요약

본 논문은 카놀라 바이오디젤 혼합연료를 승용디젤엔진에 적용하였을 때 나타나는 연소 및 배기 배출물 특성에 관한 연구이다. 본 연구에서는 카놀라 바이오디젤을 20%, 40%를 ULSD 80%, 60%와 체적비로 혼합한 혼합연료를 사용하여 ULSD 결과 데이터와 비교하였다. 엔진 회전속도, 엔진부하, 연료분사압력 변화를 실험변수로 사용하였으며, 카놀라 바이오 디젤의 혼합비가 증가 할수록 NOx 배출량은 증가하였지만, Soot 배출량은 감소하는 결과를 나타내었다. 또한 Soot 배출량은 낮은 연료분사압력에서 높은 배출량을 보였다.

주요어 : 연소특성, 배기특성, 카놀라 바이오디젤, 매연, 질소산화물

Abstract - This paper describes the effect of canola biodiesel blended fuel on the combustion and emission characteristics in a four cylinder CRDI(Common-rail direct injection) diesel engine. In this study, using the biodiesel fuel(20%,40% of biodiesel-canola oil and 80%, 60% of ULSD(ultra low sulfur diesel) by volume ratio with change of engine speed and injection pressure. The experiment results of increasing biodiesel ratio fuel show that NOx emissions increased. However, soot emission were reduced BC fuels compared to ULSD. Soot emissions largely increased at low injection pressure.

Key words : Combustion Characteristics, Emission Characteristics, Canola Biodiesel, Soot, NOx

1. 서 론

자동차의 배기 배출물의 증가로 전 세계적으로 배기가스 규제가 강화되어짐에 따라 배기 배출물을 줄이기 위한 여러 방법들이 제시되고 있다. 그 방법들로 바이오디젤, DME(Dimethyl ether)와 같은 대체

연료 사용, HCCI(homogeneous charge compression) 엔진과 같은 신연소기술 적용, 후 처리 장치인 디젤 산화 촉매장치(DOC, Diesel Oxidation Catalyst)를 사용하는 방법들이 제시되고 있다. 이 중 대체 연료를 사용하는 방법은 다른 방법들과 비교하여 기존 기관의 구조를 크게 변경시키지 않아도 배기 배출물을 저감시킬 수 있다.

대체 연료 중 바이오디젤은 동물성, 식물성 기름을 에스테르화하여 만든 연료로써 경유와 물성이 비슷하고, 상대적으로 높은 세탄가를 가지고 있어 압축

[†]To whom corresponding should be addressed.
School of Mechanical and Automotive Engineering, Halla University
E-mail : sgjho@halla.ac.kr

착화 엔진에서의 사용이 용이하다. 그리고 연료 내 10-14%의 산소성분이 완전연소를 도와 매연(Soot), 탄화수소(HC), 일산화탄소(CO) 등과 같은 배기 배출물을 저감시킬 수 있으나 연료의 산소함유량 증가로 인해 인체에 호흡기 질환을 유발하는 질소 산화물(NOx, Nitrogen Oxides)발생이 증가하는 Trade-off 현상이 일어나는 단점이 있다.[1]

바이오디젤에 관한 연구로서 Ziejewski 등[2]은 해바라기를 이용하여 에틸렌 및 에스테르화한 바이오디젤을 사용할 경우 저부하에서의 불완전 연소와 비정상적인 오일 점도의 증가현상에 대해 연구하였고, Schumacher 등[3-4]은 대두유를 이용한 압축 점화 엔진은 크게 토크를 감소시키지 않으면서 탄화수소, 입자상 물질 등을 저감시킬 수 있다고 보고하였다.

Lee[5]등은 4실린더 커먼레일(Common rail) 디젤엔진에 바이오디젤(Biodiesel) 연료와 초저황유(ULSD)를 적용하였을 경우 엔진회전수와 분사압력의 영향에 따라 나타나는 질소산화물 증가와 매연의 저감효과에 대해 연구하였다. 선행된 연구 결과를 종합해 보면 압축착화 기관에 바이오디젤을 적용하기 위해 다양한 종류의 바이오디젤을 사용하였으며 대부분 대두유 바이오디젤을 위주로 실험한 결과들이 대다수였다.

따라서 본 연구는 압축착화 엔진에 카놀라 바이오디젤을 사용할 때 나타나는 연소 특성 및 배기 배출물 특성을 연구하여 카놀라 바이오디젤의 적용 가능성을 알아보고자 실험을 진행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험 장치는 디젤 엔진과, 연료 공급 장치, 엔진을 제어하기 위한 제어장치, 실험 중 취득되는 연소 및 배기 특성을 분석하기 위한 장치로 구성하였으며 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 간략하게 나타내었다.

본 실험에 사용한 엔진은 배기량 1.58L인 4 실린더 커먼레일 직접 분사식 엔진으로 연료 분사 최고압력은 160Mpa이며 실험 엔진의 주요 제원은 Table 1과 같다.

실험 엔진을 제어하기 위해 EC 동력계(AG150)와 ETAS사의 INCA V5.4 프로그램과 ECU (Bosch, EDC16 ETK ECU)를 사용하였으며 엔진의 연소특성을 파악하기 위해 예열 플러그와 동일한 형상의 연소압력센서(Kistler, 6057ASP)와 입력되는 데이터를 실시간으

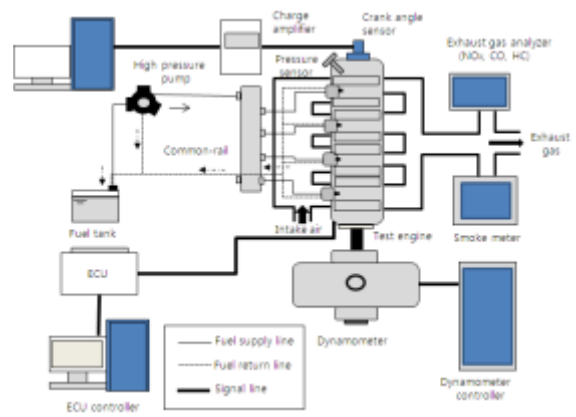


Fig. 1. Schematic diagram of test engine

Table 1. Specification of test engine

Description		Specification
Type		4-stroke VGT DI Diesel
Bore×Stoke (mm)		77.2 x 84.5
Displacement volume (cc)		1,582
Compression ratio		17.3
Valve type		DOHC 4 Valve per cylinder
Intake valve	Open	6(deg.BTDC)
	Close	34(deg.ABDC)
Exhaust valve	Open	46(deg.BBDC)
	Close	4(deg.ATDC)
Fuel injection system		Bosch common rail

로 취득하고 분석하기 위해 DAQ보드(NI, PCI 6251 & SC2345)와 소프트웨어(NI, Labview 8.2)를 사용하였다. 그리고 엔진에서 배출되는 유해 배출물을 분석하기 위해 배기가스 분석기(Horiba, MEXA-554JK NOx)와 매연측정기(AVL, Smoke meter415)를 사용하였다.

2.2 실험방법

본 실험은 바이오디젤(카놀라유)과 ULSD를 2:8, 4:6 체적비로 혼합한 BC20, BC40 두 가지 연료를 사용하여 수행하였으며 그 결과를 ULSD와 비교하였다. 엔진 회전속도는 1000, 2000rpm 조건으로 단일 분사와 파일럿분사를 적용하여 진행하였다. 파일럿 분사량은 1.6mg/cycle로 일정하게 유지하였으며, 파일럿분사 시기는 BTDC 23°, 주 분사 시기는 BTDC 3°로 고정하였다. 연료 분사압력에 따라 카놀라 바이오디젤과 ULSD의 연소 및 배기 특성을 확인하기 위하여 엔진부하 30Nm, 90Nm에서 연료분사압력을

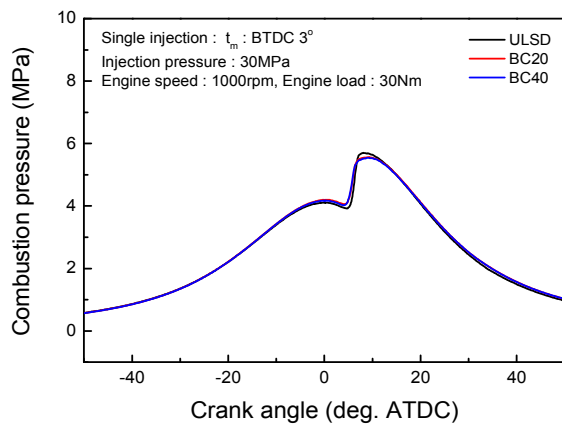


Fig. 2. Effect of biodiesel blending ratio on the combustion characteristics

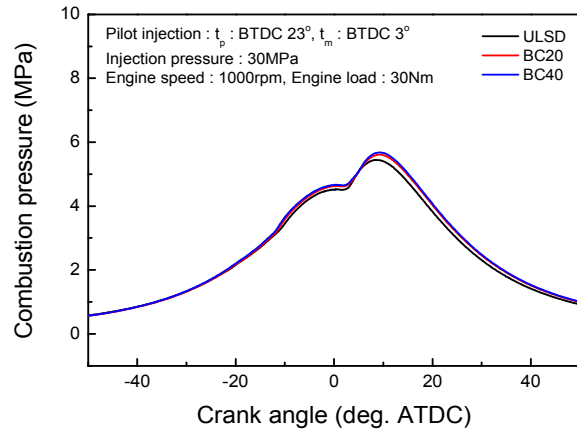


Fig. 3. Effect of biodiesel blending ratio on the combustion characteristics.

Table 2. Experimental conditions

Item	Test conditions	
Fuel	ULSD, BC20, B40	
Engine speed(rpm)	1000, 2000	
Engine load(Nm)	30, 90	
Injection pressure(MPa)	30,60,90,120	
Injection timing (°BTDC)	Pilot	23
	Main	3
Injection quantity (mg/cycle)	Pilot	1.6
	Main	variable

30MPa ~ 120MPa까지 30MPa간격으로 변화시켰다. Table 2는 세부적인 실험조건을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 검토

3.1 카놀라 바이오디젤 혼합연료의 단일분사 연소 특성

Fig. 2는 엔진 부하 30Nm 구간에서 연료 분사압력 30MPa로 연료를 단일분사 하였을 때 나타나는 연소특성을 나타낸 그래프이다. 카놀라 바이오디젤 혼합연료와 비교하여 ULSD의 주분사 구간에서의 연소압력이 더 높게 나타난 결과를 확인할 수 있었다. 이는 카놀라바이오디젤과 비교하여 ULSD의 저위발열량이 더 높아 나타난 결과로 판단된다. 또한 카놀라 바이오 디젤의 높은 점도가 연료의 착화지연기간을 길게 하여 나타난 결과로 판단된다.

3.2 카놀라 바이오디젤 혼합연료의 파일럿 분사 연소 특성

Fig. 3은 엔진 부하 30Nm 구간에서 연료 분사압력 30MPa로 연료를 파일럿 분사하였을 때 나타나는 연

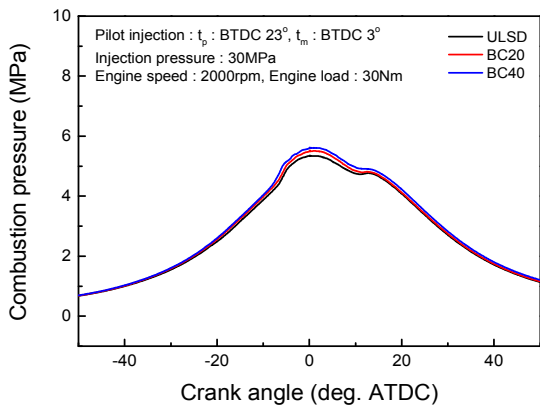
소특성을 나타낸 그래프이다. 단일분사 조건과 다르게 파일럿 분사의 경우 카놀라 바이오디젤의 연소압력이 ULSD에 비해 더 높게 나타나는 결과를 보였다. 이는 주분사 이전에 일어난 파일럿 분사가 연소실 내 분위기 온도를 상승시켜 주분사에서 혼합기 형성을 더 원활하게 한 결과로 판단된다. 합산소 연료인 카놀라 바이오디젤의 혼합율이 증가할수록 더 높은 연소압력을 보였으며, 이는 탄화수소 연료인 ULSD보다 더 원활한 연소를 하여 나타난 결과로 판단된다.

3.3 카놀라 바이오디젤의 부하변화에 따른 연소 특성

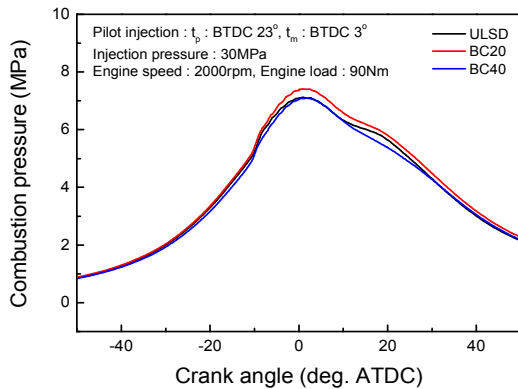
Fig. 4는 부하변화에 따른 카놀라 바이오디젤의 연소특성을 나타낸 그래프이다. 엔진 부하가 증가함에 따라 연소압력이 크게 증가한 결과를 나타내었다. 이는 엔진 부하가 증가함에 따라 분사되는 연료량이 증가하고, 그 결과 연소압력이 높아진 것으로 판단된다. 엔진 회전속도가 증가함에 따라 연소실 내 착화가 빠르게 일어나 연소시기가 진각된 결과를 나타내었다. 또한 카놀라유의 혼합비율이 증가함에 따라 연소압력이 높아지는 결과를 보였다. 이는 연료 내 산소성분이 ULSD보다 더 좋은 착화성을 보인 결과로 판단된다.

3.4 바이오디젤 혼합연료의 단일분사 배기 특성

Fig. 5는 카놀라 바이오디젤의 배기 배출물 특성을 나타낸 그래프이다. Fig. 5 (a)를 보면 합산소 연료인 카놀라 바이오디젤의 NOx 배출량이 더 적은 결과를 볼 수 있다. 이는 단일분사에서 높은 점도를 가진 카놀라 바이오디젤의 연소압력이 ULSD보다 더 낮아 연소온도가 더 낮으므로 나타난 결과로 판단된다.



(a) 30Nm



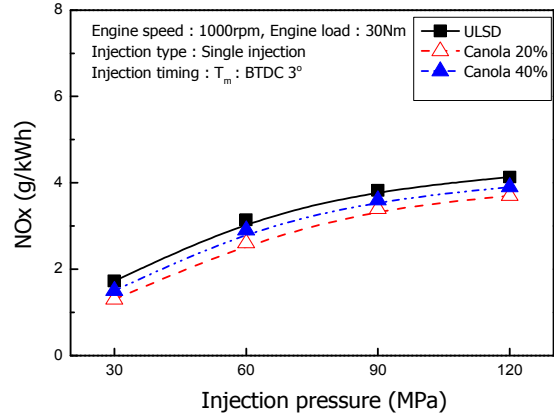
(b) 90Nm

Fig. 4. Combustion characteristics according to load variation

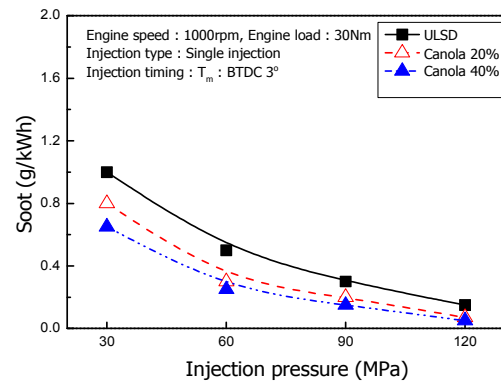
Fig. 5 (b)를 보면 연료분사압력이 낮은 30MPa 구간을 제외한 나머지 구간에서는 Soot 배출량이 낮은 결과를 나타내었다. 또한 합산소연료인 카놀라 바이오디젤의 혼합비가 높아질수록 Soot 배출량이 적은 결과를 보였다. 이는 연료 내 산소성분이 Soot 배출량 저감에 긍정적인 결과를 미친 것으로 판단된다.

3.5 바이오디젤 혼합연료의 파일럿분사 배기특성

Fig. 6은 카놀라 바이오디젤의 파일럿 분사시 나타나는 배기 배출물 특성을 나타낸 그래프이다. Fig. 6 (a)를 살펴보면 카놀라 바이오디젤의 혼합비가 높아질수록 NOx 배출량이 증가한 결과를 나타내었다. 이는 연료 내 합산소 성분으로 인해 ULSD보다 더 원활한 연소를 하여 연소실 내 온도가 더 높아지므로 나타난 결과로 판단된다. 또한 단일분사의 결과와 마찬가지로 Soot 배출량의 경우 연료분사압력이 높아질수록 감소한 결과를 나타내었다. 배기 특성을 살펴본



(a) NOx



(b) Soot

Fig. 5. Emission characteristic according to the injection pressure variation.

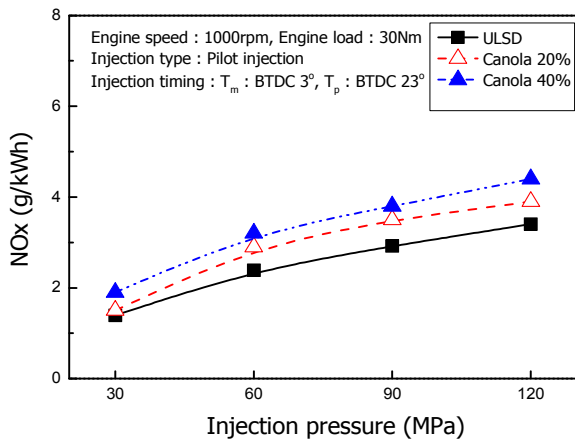
결과 다른 바이오디젤과 마찬가지로 카놀라 바이오디젤도 NOx와 Soot 간의 trade-off 현상을 나타냈다.

4. 결 론

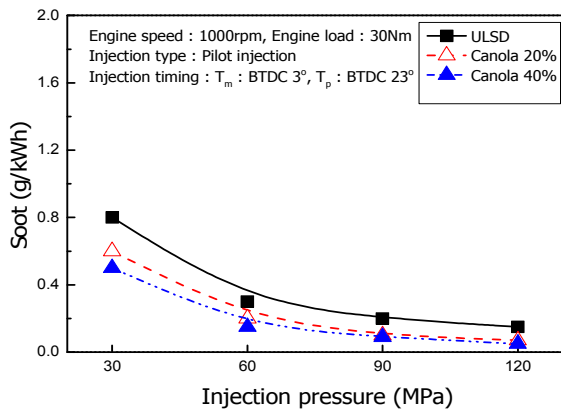
본 논문은 카놀라 바이오디젤 혼합연료를 승용디젤엔진에 적용하였을 때 나타나는 연소 및 배기 배출물 특성에 관한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 단일분사에서 카놀라 바이오디젤은 높은 점도로 인해 ULSD보다 연소압력이 낮은 결과를 나타내었다.
- (2) 파일럿 분사시 연소실 내 분위기 온도 상승으로 인하여 합산소 연료인 카놀라 바이오디젤의 연소압력이 ULSD보다 더 높은 결과를 나타내었다.
- (3) 엔진부하가 증가함에 따라 분사되는 연료량이 증가하여 연소압력이 증가하는 결과를 나타내

었다.



(a) NOx



(b) Soot

Fig. 6. Emission characteristic according to the injection pressure variation.

- (4) 엔진 회전속도가 증가함에 따라 연소 진행속도가 증가하여 연료의 착화시기가 진각되는 결과를 보였다.
- (5) 단일분사시 낮은 연소압력으로 인해 카놀라 바이오디젤의 NOx 배출량이 더 적은 결과를 나타내었지만, 파일럿 분사에서는 경향이 역전되는 결과를 나타내었다.
- (6) Soot 배출량의 경우 연료분사압력이 낮은 30MPa에서 연료의 미립화가 원활하지 않아 많은 Soot 배출량을 보였지만, 60MPa 이후로는 거의 배출되지 않는 결과를 보였다.
- (7) 바이오디젤의 특징인 NOx와 Soot 사이의 trade-off 현상을 확인할 수 있었다.

References

1. K. H. Ryu, Y. J. Yun, Y. T. Oh, 2002, "The Characteristics of Performance and Emissions of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel." Preceeding of the KSAE Gwangju, Honam Branch 2002 Spring Conference, pp.916.
2. Ziejewski, M., kaufman, K. R., Schwab, A. W., and Pryde, E.H., 1984, "Diesel Engine Evaluation of an Nonionic Sunflower Oil-Aqueous Ethanol Microemulsion," Journal of the America Oil Chemists Society. 61(10), pp.1620~1626.
3. Schumacher, L. G., W. G. Hires, and S.C. Borgelt, 1992, "Fueling a Diesel Engine with Methylester Soybean Oil," Liquid Fuels From Renewable Resources-Proceedings of an Alternative Energy Conference.
4. Schumacher, L.g., S.C. Borgelt, and W.G. Hires, 1993, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research," ASAE paper, No. 93-6523.
5. Donggon Lee, Hyun Gu Roh, Seuk Cheun Choi, and Chang Sik Lee, 2011, "Combustion and Emission Characteristics of 4 Cylinder Common-Rail DI Diesel Engine with Biodiesel Fuel", 대한기계학회 논문집 제 35권 제2호, pp. 137~143