

직접분사식 디젤기관에서 바이오디젤 사용과 연료분사시기 변화에 따른 기관성능 특성

The Characteristics on the Engine Performance for Variation of Fuel Injection Timing in DI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel

장 세 호*[†]
S. H. Jang*[†]

(접수일 : 2011년 12월 06일, 수정일 : 2012년 02월 06일, 채택확정 : 2012년 02월 13일)

Key Words : DI Diesel Engine(직접분사식 디젤엔진), Biodiesel Fuel(BDF, 바이오디젤유), Fuel Injection Timing(연료분사시기), SFOC(연료소비율), Ignition Point(착화점)

Abstract : Biodiesel is technically competitive with or offers technical advantages over conventional petroleum diesel fuel. Biodiesel is an environmentally friendly alternative liquid fuel that can be used in any diesel engine without modification. In this study, to investigate the effect of fuel injection timing on the characteristics of performance with DBF in DI diesel engine. The engine was operated at five different fuel injection timings from BTDC 6° to 14° at 2° intervals and four loads at engine speed of 1800rpm. As a result of experiments in a test engine, maximum cylinder pressure is increased with leading fuel injection timing. Specific fuel oil consumption is indicated the least value at BTDC 14° of fuel injection timing.

1. 서 론

최근 석유자원 고갈 및 지구 온난화 등의 환경문제와 맞물려 하이브리드자동차, 전기자동차, 연료전지자동차, 클린디젤자동차 등의 그린카에 대한 연구가 활발하다. 그리고 대체연료로서는 전기, 수소, 바이오연료를 대체에너지로 점진적으로 전환될 것으로 전망된다. 바이오디젤은 높은 생산원가에도 불구하고 환경친화적이고 재생에너지라는 장점 때문에 1988년 오스트리아에서 세계 최초로 상용 생산된 이래, 유럽과 북미, 중남미, 아시아, 오세아니아, 아프리카 등 전세계적으로 BD(순수 바이오 디젤), BD2, BD5, BD20~30 등 다양한 형태로 사용되고 있다. 특히 유럽에서는 경유와 혼합 의무제를 시행하고 있으며, 경유 차량의 보급이 많이 되어 있기 때문에 바이오디젤의 보급량이 급속히 증가하고 있다. 한편, 우리나라

의 바이오디젤 생산은 2002년 5월부터 산업자원부 고시 제2002-54호(바이오디젤 시범보급사업 추진에 관한 고시)에 의거하여 공식적으로 BD20이 특정지역을 대상으로 보급하기 시작하였으며, 2005년 12월에 제도를 전면 개편하여 경유의 품질기준에 바이오디젤을 5% 이내까지 포함할 수 있도록 개정하고, 2006년 7월 9월에는 바이오디젤 보급 활성화를 위해 바이오디젤 혼합비율을 매년 상향조정하여 2010년까지 2.0%를 경유에 혼합하여 보급한다는 내용의 제1차 바이오디젤 중장기 보급계획을 발표한 바 있으며, 현재는 국내 원료 수급 구조 개선 속도를 고려하여 경유의 바이오디젤 BD혼합비율을 현재의 2.0%를 당분간 유지하고 향후 의무혼합제도 도입 준비를 계획하고 있다. 이와 같이 바이오디젤은 2000년 이후 보급이 전세계적으로 급신장하여 왔으며, 향후 더욱 확대 될 것으로 전망된다. 이렇게 바이오디젤 사용의

*장세호(교신저자) : 강원도립대학 해양경찰과
E-mail : jangsh@gw.ac.kr, Tel : 033-660-8203

*S. H. Jang(corresponding author) : Department of Marine Police and Technology, GangWon Provincial College.
E-mail : jangsh@gw.ac.kr, Tel : 033-660-8203

확대는 재생가능한 자원에서 생산되며, CO₂ 배출이 적고, 합산소연료이기 때문에 디젤엔진의 입자상물질이나 CO, HC 등 대기오염 물질배출을 저감시킬 수 있으며, 경유에 소량 혼합하면 기존 엔진의 개조 없이 사용이 가능하기 때문이다. 그러나 바이오디젤은 연료의 안정성이 경유보다 크게 뒤떨어지기 때문에 엄격한 품질기준과 산화안정성 향상제를 이용한 품질 개선이 필요하며, 경유보다 유동점이 높아서 한냉시의 시동성이 나쁜 결점이 있다.

본 연구에서는 바이오디젤을 엔진의 개조 없이 사용가능한 보쉬식 연료분사펌프를 장착한 직접분사식 디젤 엔진에서 연료분사시기 변화와 바이오디젤과 경유와의 혼합비를 변경했을 때의 연소특성을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 장치는 직접분사식 디젤엔진과 동력계, 각종 데이터 수집장치, 배기분석기 등으로 구성되어 있으며, 전체적인 실험장치 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험에 사용된 엔진은 3기통 직접분사식 과급 디젤엔진으로서 배기량은 2,591cc이며, 주요 제원은 Table 1과 같다.

실험장비는 와전류식 동력계(eddy current type, absorption capacity: 132kW), 연소실압력 측정장치, 연료분사압력 측정장치, 흡배기 온도, 냉각수 온도 등을 측정할 수 있는 온도측정장치 등으로 구성되어 있다.

Table 1 Specifications the test engine

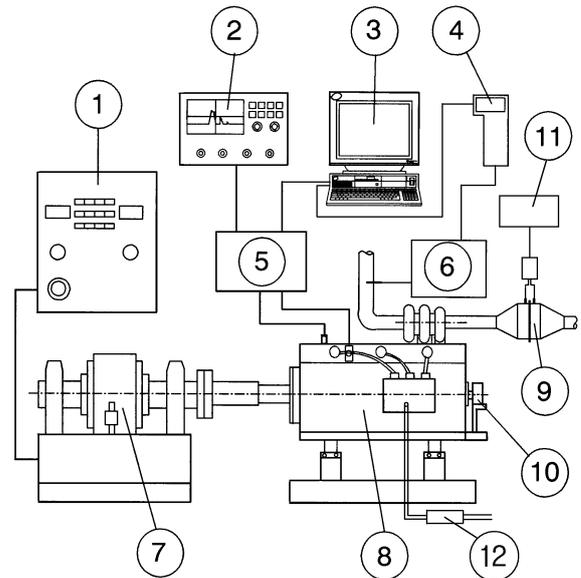
Item	Specification
Engine type	3-Cylinder turbo diesel engine
Number of cylinder	3
Bore×Stroke(mm)	100×110
Displacement(cc)	2,591
Rated power	40.45kW at 2600rpm
Compression Ratio	18.4 : 1
Combustion type	Direct injection
Fuel injection pressure	19.61MPa

연소실 압력은 피에조 압력센서(quartz pressure sensor : KISTLER 6067B, 0~25MPa)를 이용하여

크랭크 각도 0.5도마다 측정하였으며, 10사이클의 압력을 평균한 값을 사용하여 연소실 압력, 연소실 최고압력, 압력상승율 등을 계산하였다. 연소실압력을 정확하게 측정하기 위하여 크랭크축에 엔코더, 캠축에 포토 커플러를 설치하였다.

그리고 연소실 압력, 압력상승율, 연료분사압력 등의 데이터는 A/D Board(NI PCI-6110)와 LabVIEW 프로그램을 이용하여 계산하고 수집하였다.

2.2 실험조건 및 방법



1. Dynamometer controller
2. Digital oscilloscope
3. Computer
4. Exhaust gas hand-held instrument
5. Pressure sensor amplifier
6. Exhaust gas analyser box
7. Dynamometer
8. Test engine
9. Laminar flowmeter
10. Rotary encoder
11. Digital manometer
12. Fuel oil heater

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험조건은 엔진 회전수를 1800rpm으로 일정하게 유지하고, 부하는 25%, 50%, 75%, 100%로 변화시켰으며, 실험에 사용된 바이오디젤유(BDF)는 경유에 BD 원액을 체적 비율로 각각 20%, 40%, 60%로 혼합한 BDF20, BDF40, BDF60을 각각 교반기를 이용해 30분이상 교반시킨 후 실험에 사용하였다.

연료분사시기는 BTDC 6°에서 BTDC 14°까지 2°씩 변경하였으며, 분사시기 조정은 노즐부근의 고압파이프에 압력센서를 설치하여 연료 분사압력을 측정하고, 분사압력 상승시기과 크랭크축과 연결된 엔코더의 Z펄스(TDC)와 비교하여 정확하게 조정하였다. 그리고 실험은 엔진을 충분히 워밍시킨 후 냉각수의 온도가 80°C일 때 행하였다.

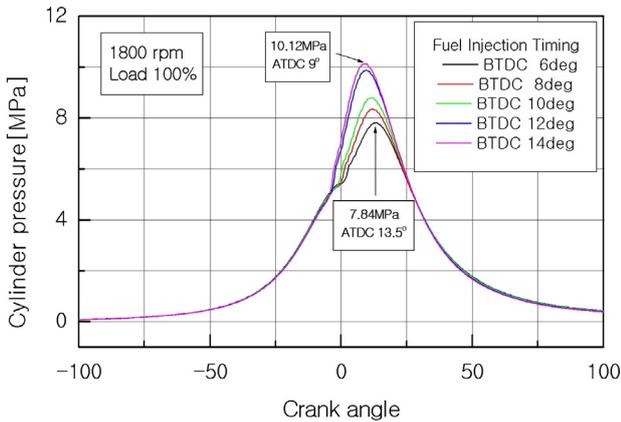


Fig. 2 Comparison of cylinder pressure for fuel injection timing

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 엔진회전수 1800rpm, 부하 100%에서 경유를 사용했을 때의 분사시기 변화에 따른 연소실 압력선도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 분사시기가 진각될수록 연료 착화점이 빨라지고 있으며, 연소실 최고 압력은 점차적으로 높아지고 그 위치도 빨라지고 있음을 알 수 있다.

즉, 분사시기가 BTDC 6°일 때의 연소실 최고압력은 7.84 MPa이고, 그 위치는 ATDC 13.5°인 반면에 연료분사시기를 8°만큼 진각시킨 BTDC 14°인 경우는 연소실 최고압력이 10.12MPa로 상승하였고, 그 시점은 분사시기가 BTDC 6°일 때보다 약 4.5° 빨라진 ATDC 9°에서 나타났다.

Fig. 3은 연소실 압력의 압력변화율을 나타낸 것이다. 그림에서 변곡점 “A”는 연료의 착화로 인해 연소실 압력이 급격히 상승하기 시작하는 변곡점을 나타내며, 이 “A” 지점을 연료의 착화점으로 정의하였다.

Fig. 4는 분사시기와 부하변화에 따른 착화점 변화를 나타낸 것이다. 그림 (a)는 엔진회전수 1800rpm에서 경유를 사용한 경우에 부하변화와 분사시기 변화에 따른 착화점을 나타낸 것이다. 먼저

동일한 분사시기인 경우에는 부하가 증가할수록 착화점이 빨라짐을 알 수 있으며, 분사시기를 변경시켜도 동일한 경향을 나타내고 있다.

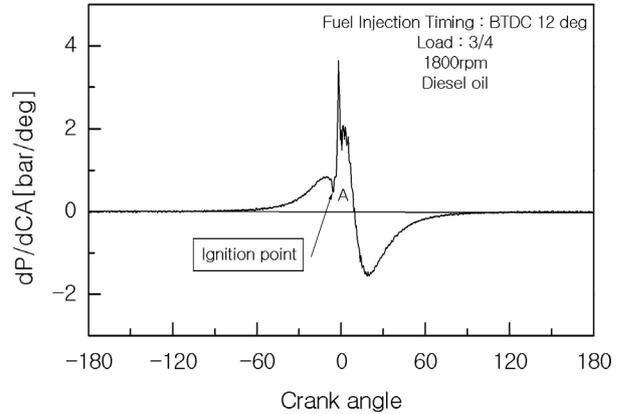


Fig. 3 Pressure variation rate curve

그림 (b)와 (c)는 BDF20과 BDF60을 각각 사용한 경우의 착화점을 나타낸 것으로서 그림 (a)와 비교해 보면, 경유보다 착화점의 변동 경향이 적고 균일하게 나타나는 안정된 착화특성을 나타내고 있다.

그리고 분사시기를 최대 8° 변경시킬 경우에 착화점의 변화폭도 7~8°변화됨을 알 수 있다. 즉 분사시기를 진각시킨 각도만큼 착화시기도 빨라짐을 알 수 있다.

그림 (d)는 3/4부하에서 연료변화에 따른 착화점을 비교한 것이다. 착화점의 위치가 BDF60을 사용하면 대체적으로 경유보다 0.5~1.5°정도 빠르게 나타나고 있다. 한편, 경유의 세탄가는 51.4인 반면에 바이오디젤의 세탄가는 57.9로써 바이오디젤의 세탄가가 경유의 세탄가보다 높기 때문에 착화시기가 경유보다 더 빨리 일어난다고 판단된다.

Fig. 5는 부하와 분사시기 변화에 따른 최고압력이 나타나는 위치를 나타낸 것이다. 그림 (a)는 엔진회전수 1800rpm이고 경유를 사용한 경우로서, 부하가 증가할수록 최고압력의 위치가 늦어지고 있으며, 동일한 부하에서 분사시기가 BTDC 6°에서 BTDC 14°로 진각될 때 최고압력이 나타나는 시점의 변화폭은 1/4부하에서는 2.2°, 2/4~4/4 부하에서는 3.5~4.5°정도 진각되고 있다.

그림 (b)와 (c)는 BDF20과 BDF60인 경우이며, 최고압력이 나타나는 시점의 경향은 경유와 동일하며, 동일한 부하에서 분사시기가 BTDC 6°에서 BTDC 14°로 진각될 때 최고압력이 나타나는 시점의 변화폭은 1/4부하에서는 3°, 2/4~4/4부하에서는 4~5°정

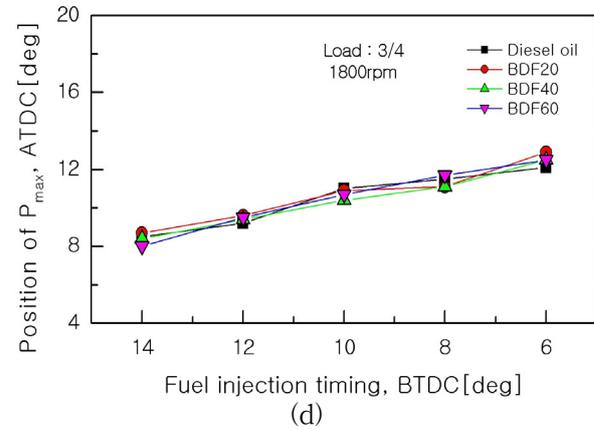
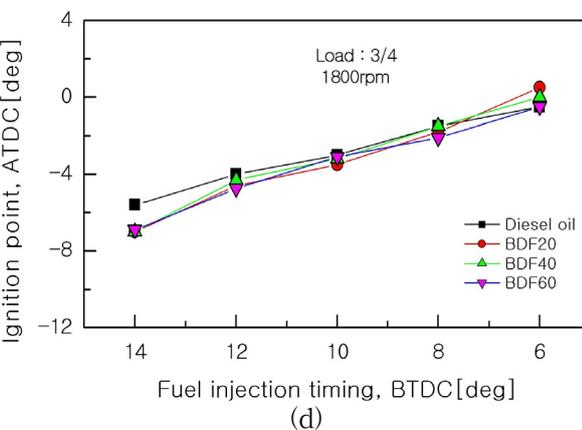
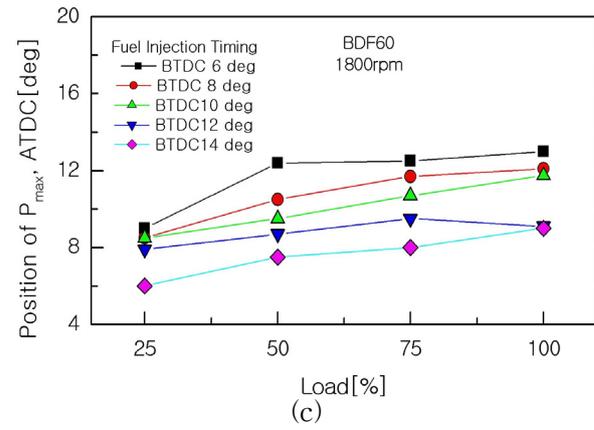
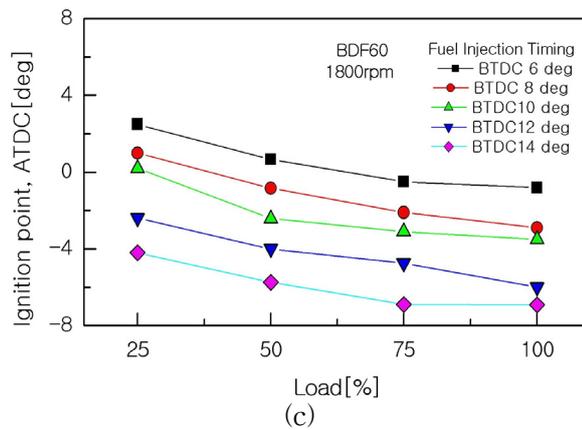
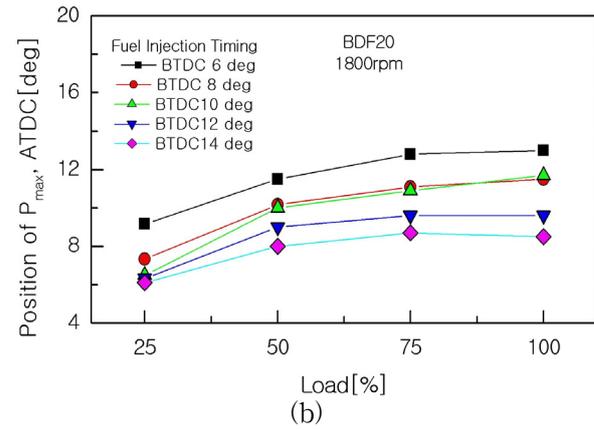
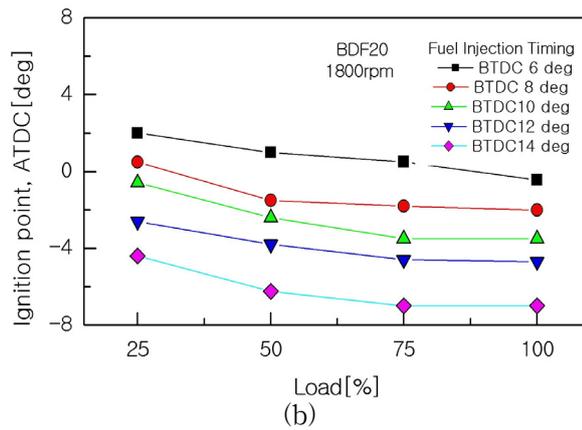
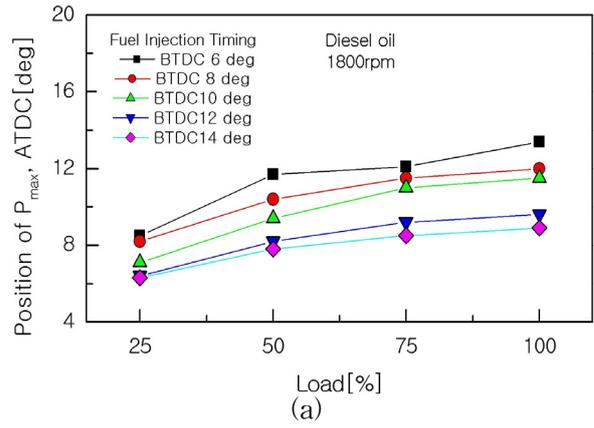
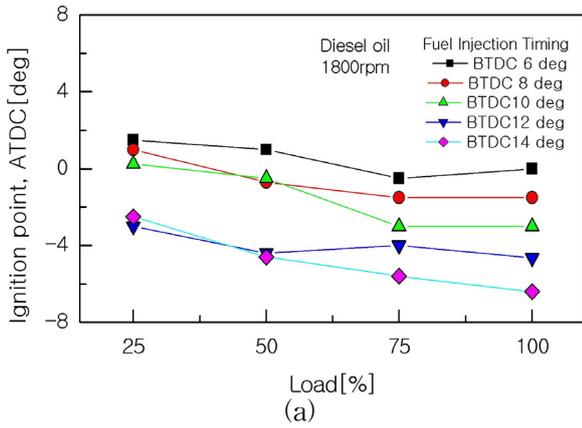


Fig. 4 Variation of ignition point according to engine load and fuel injection timing

Fig. 5 Variation of position of P_{max} according to engine load and fuel injection timing

도 진각되는 것을 알 수 있다. 따라서 분사시기를 진각시키면 착화시기는 분사시기를 진각시킨 동일한 각도만큼 빨라지지만, 최고압력이 나타나는 시점은 저부하 영역에서는 진각된 각도의 1/3정도, 중·고부하 영역에서는 진각된 분사각도의 약 1/2정도 진각됨을 알 수 있다.

그림 (d)는 엔진회전수 1800rpm, 3/4부하에서 연료 변화에 따른 최고압력이 나타나는 시점을 비교한 것으로서, 분사시기가 동일하면 연료에 상관없이 비슷한 시기에 최고압력이 나타난다는 것을 알 수 있다. 따라서 바이오디젤 혼합유를 사용하면 동일한 운전조건에서 착화시기는 경유보다 빨라지는 반면에 최고압력이 나타나는 시점은 경유와 비슷함을 알 수 있다.

Fig. 6은 엔진회전수 1,800rpm에서 분사시기와 사용 연료에 따른 연소실 최고 압력을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 사용연료와 관계없이 분사시기가 동일하면 최고압력은 비슷하게 나타나며, 바이오디젤을 사용할 때 약간 더 높은 최고압력을 나타내고 있음을 알 수 있다.

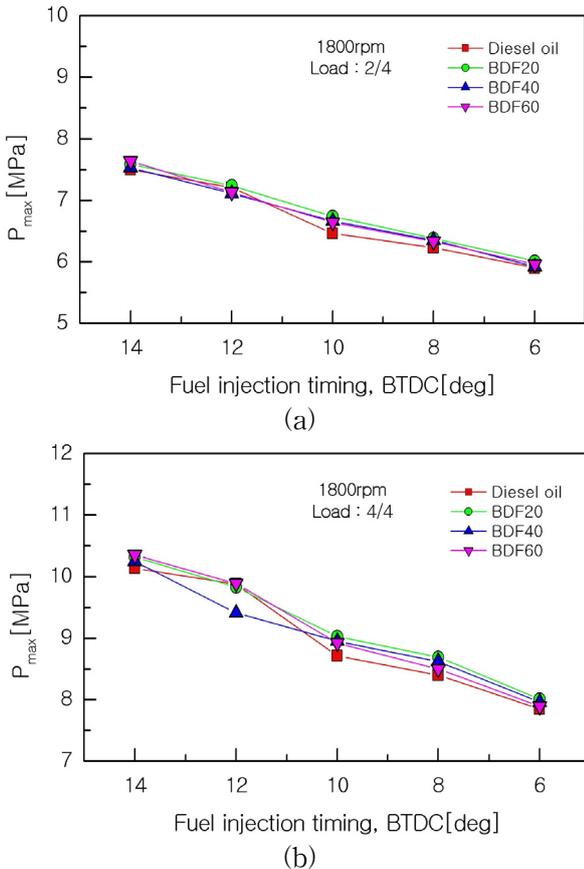


Fig. 6 Variation of P_{max} according to fuel injection timing

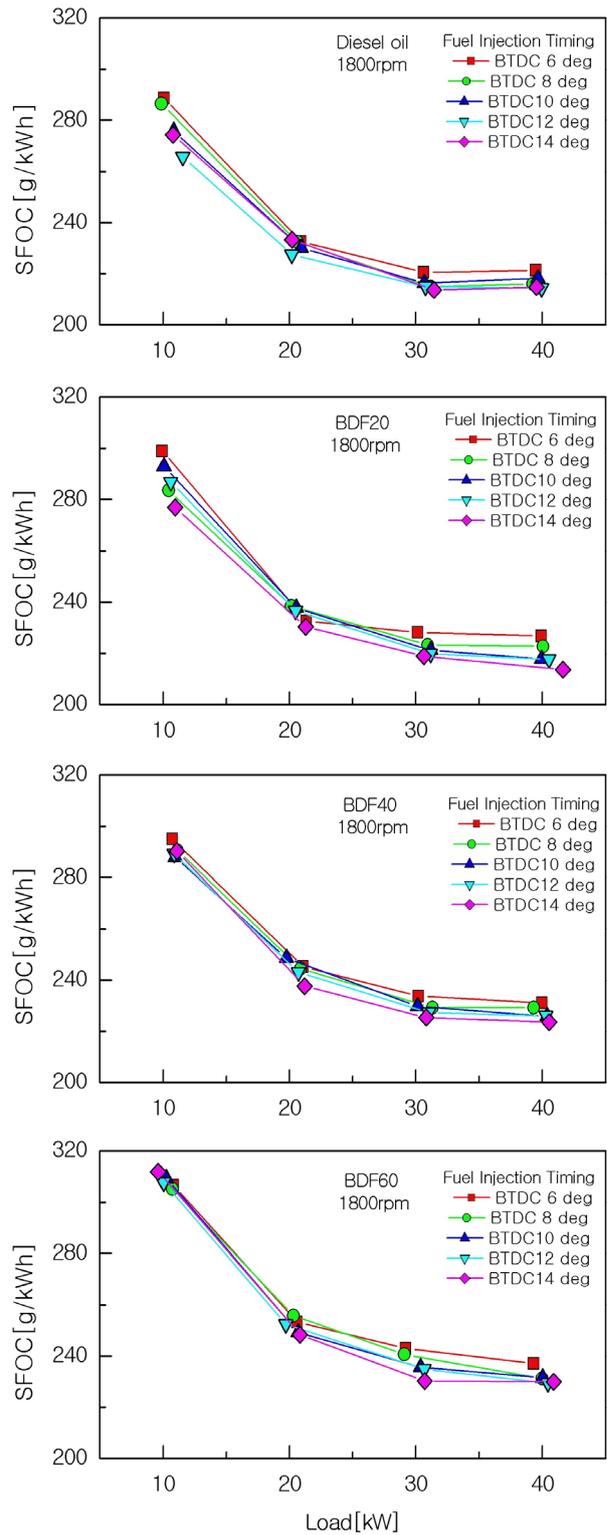


Fig. 7 Comparison of specific fuel oil consumption on fuel injection timing

Fig. 7은 경유와 BDF20, 40, 60을 사용할 때 부하와 분사시기 변화에 대한 연료소비율을 나타낸 것이다. 연료소비율은 모든 연료에서 부하가 증가할수록 감소하고 있으며, 분사시기를 진각시킬수록 연료소

비율이 감소하고 있으며, 연료를 BTDC 14°에서 분사시켰을 때 가장 낮게 나타남을 알 수 있다. 한편, 동일 부하에서 사용연료 변화에 따른 연료소비율을 각각 비교해 보면, 경유보다 바이오디젤(BD) 혼합율을 증가시킬수록 연료소비율이 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 바이오디젤의 발열량이 경유보다 적기 때문에 BDF의 혼합율이 높아질수록 연료소비율은 높게 나타난다고 판단된다.

4. 결 론

직접분사식 과급 디젤기관에서 경유와 바이오디젤을 혼합한 BDF20, 40, 60을 연료로 사용하고, 연료 분사시기에 따른 기관성능에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 실험범위내에서 분사시기가 진각될수록 착화점이 빨라지고, 연소실 최고 압력은 점차적으로 높아지며, 그 위치도 빨라졌다.
- 2) 연료와 상관없이 분사시기를 진각시키면 착화시기는 분사시기를 진각시킨 동일한 각도만큼 빨라지는 반면에 최고압력이 나타나는 시점은 저부하 영역에서는 진각된 각도의 1/3정도, 중·고부하 영역에서는 진각된 분사각도의 약 1/2정도 진각되었다.
- 3) 동일한 운전조건에서 착화시기를 비교해보면 바이오디젤의 세탄가가 경유의 세탄가보다 높기 때문에 바이오디젤 혼합유를 사용하면 경유보다 착화시기가 빨라졌다.
- 4) 연료소비율은 부하가 증가할수록 감소하였으며, 분사시기를 진각시킬수록 연료소비율이 감소하였고, 실험범위내에서 분사시기 BTDC 14°에서 가장 낮게 나타났다.

참고 문헌

1. J. Nuskowski, G. j., Thompson and N. N. Clark, 2008, "Heat Release and Emission Characteristics of B20 Biodiesel Fuels During Steady State and Transient Operation", SAE Paper, 2008-01-1377.
2. Y. Ra and R. Reitz, 2008, "Effects of Fuel Physical Properties on Diesel Engine Combustion Using Diesel and Bio-diesel Fuels", SAE Paper, 2008-01-1379.
3. H. K. Gangwar and A. K. Agarwal, 2008, "

- Combustion Characteristics of Jatropha Oil Blends in a Transportation Engine", SAE Paper, 2008-01-1383.
4. S. Choi and Y. Oh, 2008, "The Characteristics on the Engine Performance, Smoke and NOx Emission for Variation of Fuel Injection Timing in an IDI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel", Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 4, pp. 75-80.
5. S. H. Jang and J. J. Suh, 2008, "The Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for DI Diesel Engine", Journal of KSPSE, Vol. 12, No. 2, pp. 12-17.