

디젤기관에서 바이오디젤 혼합유의 연소특성에 미치는 연료분사시기의 영향

Effects of Fuel Injection Timing on Combustion Characteristics of Biodiesel Blend Oil in Diesel Engine

임재근*† · 조상곤**

J. K. Lim*† and S. G. Cho**

(접수일 : 2011년 09월 14일, 수정일 : 2012년 02월 01일, 채택확정 : 2012년 02월 13일)

Key Words : Fuel Injection Timing(연료분사시기), Biodiesel Blend Oil(바이오디젤 혼합유), Rate of Pressure Rise(압력상승율), Rate of Heat Release(열발생율), Soot Emission(매연 배출물)

Abstract : Recently we have a growing interest in environmental pollution and alternative energy. Diesel engine is generally used to produce the power on the ground and the sea. However, the combustion characteristics are changed on account of the wear of fuel system and the altered ambient condition of the combustion chamber by the increment of the engine operation hour. Therefore combustion characteristics on fuel injection timing are experimentally investigated to find out the optimum fuel injection timing in the case of the aged diesel engine using biodiesel blend oil. Cylinder pressure, rate of pressure rise, rate of heat release and combustion gas temperature are risen by the advancing fuel injection timing, while the exhaust gas temperature and soot emission level are decreased by the advancing of fuel injection timing. The least specific fuel oil consumption is indicated at BTDC 26 ° CA on the 75%load and at 1800rpm.

1. 서 론

최근에 일본 원자력발전소의 대형사고로 방사능물질의 위험이 전 세계를 긴장시키고 있으며, 중동 주요 산유국들의 정치적 불안으로 유가가 상승하고 있다. 그리고 대기 중의 온실가스 증가에 따른 지구온난화로 자연재해와 생태계 파괴 및 해수면 상승 등의 문제가 중대한 관심이 되었으며, 이제 지구온난화로 인한 기후변화는 생활의 어려움보다 생존의 문제로 부각되고 있다. 온실가스와 대기오염물질은 주로 연소기관에서 배출되는 유해성분이 대부분을 차지하는데 육상용기관과 선박용기관이 주된 배출원이 되고 있다.

원자력에너지는 위험성이 크고 핵폐기물을 처리하는 적합한 방법이 없으며, 각종 연소기관에 사용되는 화석연료는 매장량이 한정되어 있고 연소시 유해가

스를 배출하기 때문에 최근에 친환경연료를 찾기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 그런데 바이오디젤유는 사용하는데 위험성도 적을 뿐만 아니라 연속적으로 재배하여 얻을 수 있고, 농가 소득도 증대시킬 수 있으며, 유해한 배출가스 역시 적으므로, 대체에너지로 사용하기 위하여 효율적인 사용법의 연구가 계속되고 있다^{1~5)}.

C. Carraretto 등⁶⁾은 대체연료로 Biodiesel을 사용하여 연료소비율과 배기배출물을 실험적으로 분석하였고, Jesper Schramm 등⁷⁾은 Isooctane 과 Xylene을 연료로 하여 서로 다른 공연비와 서로 다른 점화시기에서 얻어진 출력을 비교한 결과 점화시기가 상사점전 25~30 ° CA에서 가장 높게 나타났음을 밝혔으며, Noboru Miyamoto 등⁸⁾은 디젤 연소실의 Soot 농도와 점화지연과의 관계를 연구하였고, 그 외의 많은 연구자^{9~12)}들이 바이오디젤유가 각종 배기배출물

*임재근(교신저자) : 군산대학교 동력기계시스템공학과
E-mail : jklim@kunsan.ac.kr. Tel : 063-469-1845

**조상곤 : 군산대학교

*J. K. Lim(corresponding author) : Department of Power System Engineering, KunSan National University.
E-mail : jklim@kunsan.ac.kr. Tel : 063-469-1845

**S. G. Cho : KunSan National University.

특성에 미치는 영향을 연구하였다.

그리고 액체 연료의 연소 특성에 미치는 인자로는 연료의 분사시기, 분사율, 연료분무의 무화성, 관통성, 공기과잉율, 실린더내의 온도와 압력 등 여러 가지가 있으며, 이러한 인자들은 서로 유기적인 관계를 가지고 있다. 그뿐만 아니라 엔진의 사용 시간이 증가함에 따라 연료계통의 마모와 연소실 주위의 상황 변화로 연소특성이 달라질 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 제작 후 20여년 지난 디젤 기관에 바이오디젤혼합유를 연료로 사용할 경우에 대하여 연소특성을 실험적으로 분석하여 최적의 연료분사시기를 규명하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치의 구성도는 Fig. 1과 같으며, 실험기관의 주요 제원은 Table 1과 같다.

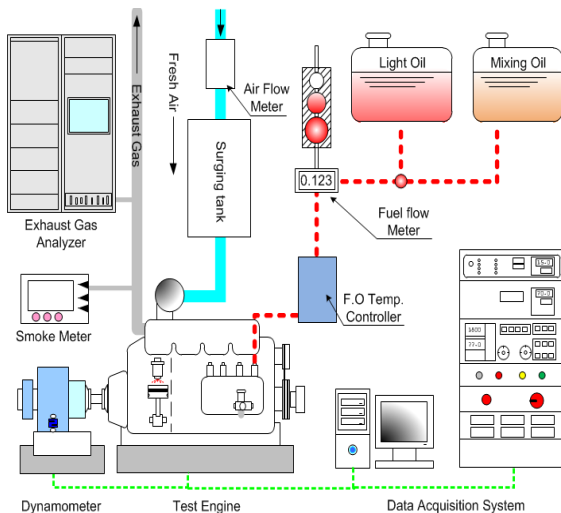


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Number of cylinder	6
Type of cooling	Water-cooled
Cycle	4
Type of fuel injection	Direct injection
Bore × Stroke(mm)	102 × 110
Piston displacement(cc)	5393
Max. output	60kW / 1800rpm
Compression ratio	17.5 : 1
Fuel injection timing	BTDC 22 °CA
Firing order	1-5-3-6-2-4
Manufactured year	1990

기관의 출력은 와전류형 전기동력계를 사용하여 측정하였고, 연소실의 압력은 압전식(Piezo -electric type) 압력변환기로, 연료소비량은 고정도 연료소비량계(FM- 257)로, 흡입공기량은 오리피스식 공기유량계(50MC2-4F)로, 실린더내의 연소가스 온도는 열전대 온도계(R-type)로, 매연은 Bosch식 매연측정기로 측정하였다. 그리고 기관의 공기 흡입측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하도록 하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 연료유로 경유에 바이오디젤유(유채유) 30%를 혼합한 BDF 30을 연료로 사용하였고, Table 2는 경유와 BDF30의 물리적 성질을 비교한 것이다. 기관회전속도 1800rpm의 경우에, 기관부하 0%에서 100%까지 25% 간격으로, 연료 분사시기는 원래 22도 이었으므로 전후로 가감하여 18도에서 28도까지 2도 간격으로 변화시키면서 실험하였다. 동일한 조건에서 기관회전수의 변동율은 $\pm 0.5\%$ 이었고, 기관부하의 변동율은 $\pm 1.5\%$ 이하였다.

실험을 하는 동안 수냉식 열교환기를 사용하여 기관의 냉각수 온도는 70°C로 설정하고, 윤활유 온도는 75°C로 일정하게 유지하였다. 기관의 작동 및 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도, 연소실 압력상승률 선도, 열발생율 선도 등을 취득하였으며, 각 부위(배기관 입·출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 계측하였다.

또 매연측정기는 “0”점 조정 후 측정하였고, 동력계는 표준중량(5kg)의 추를 사용하여 압축과 인장의 보정실험을 하여 정확한 토크 값을 확인한 후 동력을 측정하였다.

Table 2 Properties of test fuels

Item	Test fuels	
	Diesel fuel	BDF30
Pour point(°C)	-23	-19
Flash point(°C)	48	21
Kinetic viscosity (cSt@40 °C)	2.517	3.071
Distillation condition (90% point)	341.7	344.5
Sulfur(%)	0.005	0.001
Specific Gravity(15 °C)	0.8269	0.8432
Cetane Index	54	55

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연소실 압력 및 압력상승율

Fig. 2는 크랭크 각도에 대한 실린더 압력과 압력상승률을 나타낸 선도이다.

연료분사시기가 빠를수록 실린더 최고압력이 높게 나타났고, 압력상승율도 연료분사시기가 빠를수록 크게 나타났다.

실린더 최고압력은 실험기관 제작 당시의 연료분사시기인 BTDC 22도 보다 BTDC 24도에서 12.5% 상승했고, BTDC 26도에서는 27%, BTDC 28도에서는 31.8% 상승했다. 또 최고압력상승율도 BTDC 22도 보다 BTDC 24도에서 36% 상승했고, BTDC 26도에서는 84%, BTDC 28도에서는 96% 상승했다.

따라서 기관의 사용 년수가 증가할수록 연료펌프를 비롯한 연료계통의 기구들이 마모하고, 실린더 라이너를 비롯하여 피스톤과 피스톤링 등의 연소실 주위의 상황이 마찰로 인한 마모 등으로 변경되어 압축압력과 온도가 낮아지므로 그 만큼 연료분사시기를 전진시켜야 한다고 생각된다.

3.2 열발생율

Fig. 3은 크랭크 각도에 대한 열발생율선도이며, 열발생율이 음의 값을 가질 수도 있는데, 이때는 가스로부터 연소실로 열이 전달되는 경우이고, 연소의 시작점은 열발생율이 0이 될 때로 누적 열발생량이 최소값이 될 때를 의미한다.

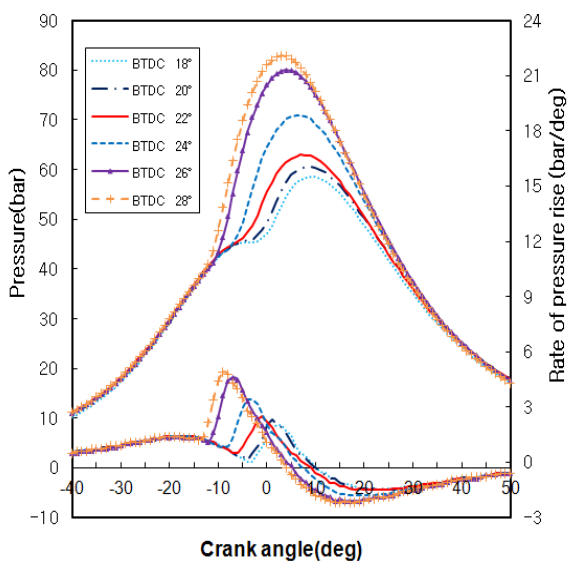


Fig. 2 Cylinder pressure and Rate of pressure rise on fuel injection timings at 1800rpm and load 100%

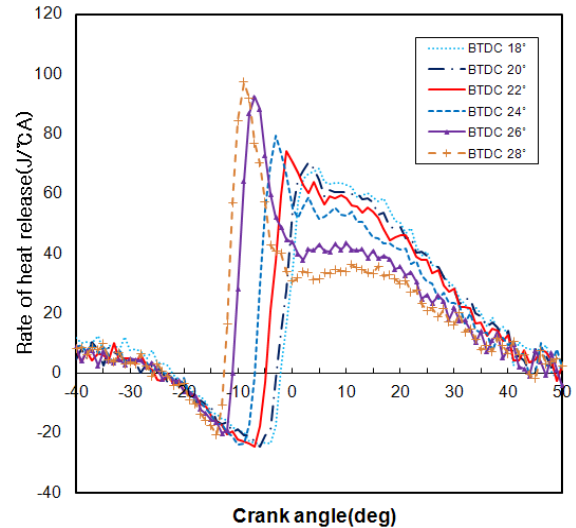


Fig. 3 Rate of heat release on fuel injection timings at 1800rpm and load 100%

연료분사시기가 빠를수록 연소 초기의 열발생율이 높게 나타났고, 최대열발생율은 원래의 연료분사시기인 BTDC 22도 보다 BTDC 24도에서 6.77% 상승했고, BTDC 26도에서는 24.25%, BTDC 28도에서는 31.13%, 상승했다.

3.3 연소가스 온도

Fig. 4는 각 부하별로 연료분사시기에 대한 실린더 내의 연소가스 온도를 실시간 측정된 값이다. 부하가 증가할수록 연소가스 온도가 상승하고, 연료분사시기가 빠를수록 그 온도가 높아지는 경향을 보이고 있다. 부하 100%인 경우, BTDC 22도 보다 BTDC 24도에서 14.8% 상승했고, BTDC 26도에서는 31.6%, BTDC 28도에서는 40.9% 상승했다.

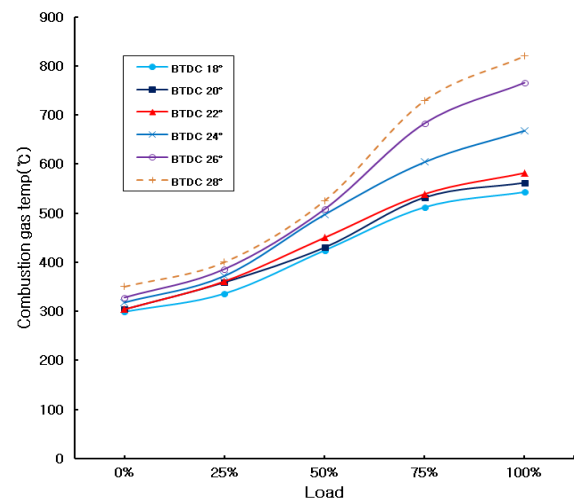


Fig. 4 Combustion gas temperature on fuel injection timings at 1800rpm

3.4 배기가스 온도

Fig. 5는 각 부하별로 연료분사시기에 대한 배기가스 온도를 나타낸 것이다.

부하가 증가함에 따라 거의 직선적으로 온도가 상승하였고, 연료분사시기가 빠를수록 배기가스 온도가 낮게 나타났다. 원래의 연료분사시기인 BTDC 22도를 기준으로 연료분사시기가 빠를 때는 배기가스 온도가 낮아지고, 늦을 때는 높아졌다.

BTDC 22도에 비하여 BTDC 24도에서 부하 100% 경우에 4.63% 감소했고, BTDC 26도에서는 7.44% 감소했으며, BTDC 28도에서는 10.08% 감소했다. 그리고 BTDC 20도에서는 7.77% 증가했고, BTDC 18도에서는 11.24% 증가했다.

BTDC 24도, 26도 및 28도의 경우는 연료의 연소 조건이 적합하여 연소상태가 양호해서 열발생량이 많으나, 그 열이 일로 많이 변환되어 배기가스 온도가 낮아지고, BTDC 20도와 18도의 경우는 연료분사시기가 너무나 늦어서 연소상태가 불량하여 열발생량이 적으나, 후연소에 의하여 배기가스로 많은 열이 배출되었기 때문에 배기가스온도가 높아진 것으로 생각된다.

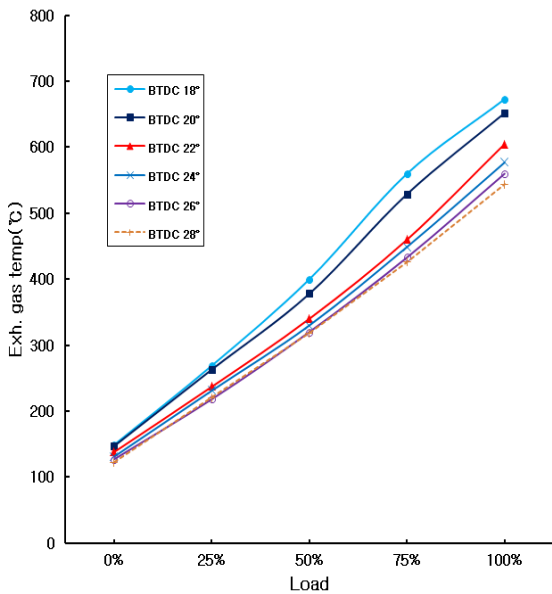


Fig. 5 Exhaust gas temperature on fuel injection timings at 1800rpm

3.5 연료소비율

연료분사시기에 따른 연료소비율의 값을 Fig. 6에 나타냈다. 연료소비율은 부하가 증가할수록 아래로 볼록한 형태로 점점 감소하였으며, 부하 75%에서 가장 적게 나타났다. 부하 75%의 경우 BTDC 24도에

서 186.25g/kWh, BTDC 26도에서는 181.6g/kWh, BTDC 28도에서는 183.95g/kWh로 BTDC 22도에 비하여 각각 2.0%, 4.45% 및 3.21% 씩 저감되었다.

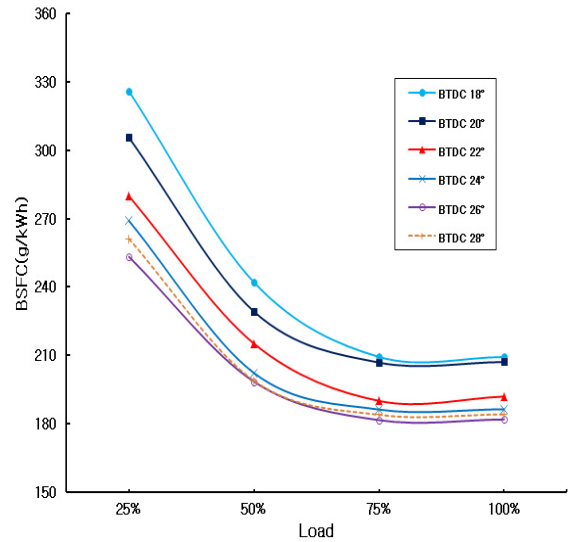


Fig. 6 Specific fuel consumption on fuel injection timings at 1800rpm

정해진 범위내에서 연료분사시기가 빠를수록 연료 소비율이 감소되다가 BTDC 26도에서 BTDC 28도보다 약간 적게 나타났는데, 그것은 실린더 최고압력의 위치가 상사점을 지나 가장 적합한 위치에 있으므로 발생열량중의 많은 양이 동력발생에 기여했기 때문으로 생각된다.

3.6 매연

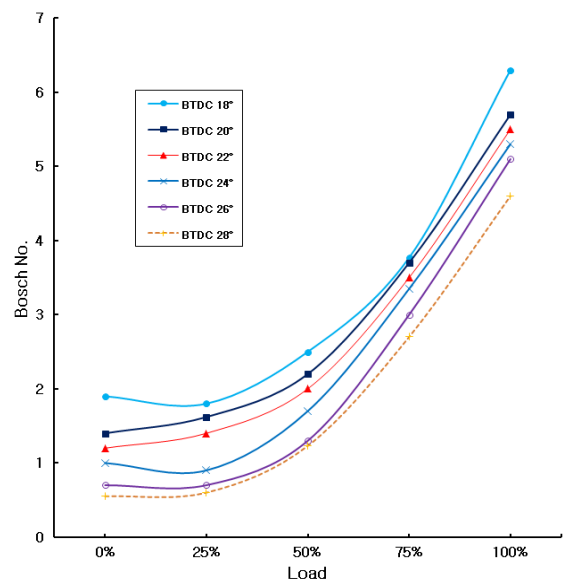


Fig. 7 Soot emission characteristics on fuel injection timings at 1800rpm

매연의 배출량은 Fig. 7과 같고, 부하가 증가할수록 아래로 볼록한 형태로 증가하였다. 그것은 공연비가 감소함에 따라 분무중심에서 연료에 대한 산소의 농도가 낮고, 확산연소 동안 연료의 과농영역이 많기 때문으로 생각된다.

그리고 매연은 연료분사시기가 빠를수록 적게 나타났으며, 부하 100%인 경우, BTDC 22도에 비하여 BTDC 24도에서 3.64% 감소했고, BTDC 26도에서는 7.27% 감소했으며, BTDC 28도에서는 16.4% 감소했다. 그리고 BTDC 20도에서는 3.64% 증가했고, BTDC 18도에서는 14.5% 증가했다.

이런 결과는 Needham, J. R. 등¹³⁾이 발표한 연료 분사시기를 앞당기면 매연의 배출이 감소한다는 내용과 일치하였다.

4. 결 론

요즈음 환경오염과 대체에너지에 대한 관심이 증대되고 있다. 동력기관으로 육상과 해상에서 디젤기관이 많이 사용되고 있는데, 기관의 사용시간이 증가함에 따라 연료계통의 마모와 연소실 주위의 상황변화로 연소특성이 달라질 것으로 생각된다. 따라서 제작 후 20여년 지난 디젤기관에 바이오디젤혼합유를 연료로 사용할 경우, 1800rpm에서 최적의 연료분사시기를 규명하기 위하여 연료분사시기 변경에 따른 연소특성을 실험적으로 분석·고찰한 결과는 다음과 같다.

1) 실린더 압력과 압력상승율은 연료분사시기가 빠를수록 상승했다.

2) 열발생율은 연료분사시기가 빠를수록 상승했는데, 최대열발생율은 BTDC 22도 보다 BTDC 24도에서 6.77% 상승했고, BTDC 26도에서는 24.25%, BTDC 28도에서는 31.13%, 상승했다.

3) 연소가스 온도는 연료분사시기가 빠를수록 상승했고, 부하 100%인 경우, BTDC 28도에서 최고 820℃로 BTDC 22도에 비하여 40.9% 상승했다.

4) 배기가스 온도는 연료분사시기가 빠를수록 감소했고, 부하 100% 경우, BTDC 22도에 비하여 BTDC 24도에서 4.63% 감소했고, BTDC 26도에서는 7.44%, BTDC 28도에서는 10.08% 감소했다.

5) 연료소비율은 BTDC 26도에서 부하 75%의 경우에 최소값이었으며, 매연 배출량은 연료분사시기가 빠를수록 감소했다.

참고 문헌

1. S. H. Jung et al., 2004, "Analysis of Combustion Characteristics of Bio Diesel Fuel in a DI Diesel Engine Using PXI and LabVIEW", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 8, No. 2, pp.12-17
2. K. H. Ryu and Y. T. Oh, 2004, "Durability Test of a Direct Injection Diesel Engine Using Biodiesel Fuel", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 12, No. 1, pp. 32.
3. K. W. Schol and S. C. Sorenson, 1993, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine", SAE, 930934.
4. V. Pradeep, and R. P. Sharma, 2007, "Use of HOT EGR for NOx control in a compression ignition engine fuelled with bio-diesel from Jatropha oil", Renewable Energy, Vol. 32, pp. 1136-1154.
5. Kyunghyun Ryu and Youngtaig Oh, 2007, "Combustion Characteristics and Durability of Diesel Engines Burning BDF 20", Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 3, pp. 18-28.
6. C. Carraretto and A. Macor et al., 2004, "Biodiesel as alternative Feul : Experimental analysis and energetic evaluations", Energy 29, pp. 2195-2211.
7. Jesper Schramm and Spencer C. Sorenson, 1989, "Effects of Lubricating Oil on Hydrocaborn Emissions in a SI Engine", SAE, 890622.
8. Noboru Miyamoto and Hideyuki Ogawa et al., 1990, "Analysis of Diesel Soot Formation under Varied Ignition Lag with a Laser Light Extinction Method", SAE, 900640.
9. David Y. Chang, J. H. Van Gerpen, 1998, "Determination of Particulate and Unburned Hydrocarbon Emissions from Diesel Engines Fueled with Biodiesel", SAE, 982527.
10. C. A. Sharp, S. A. Howel and J. Jobe, 2000, "The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Morden Diesel Engines, Part 1

Regulated Emissions and Performance", SAE, 200011967.

11. C. D. Rakopoulos and K.A. Antonopoulos et al., 2006, "Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins", Energy Conversion & Management, vol. 47, pp. 3272-3287.
12. S. Bari, T. H. Lim and C. W. Yu, 2002, "Effects of preheating of crude palm oil(CPO) on injection system, performance and emission of a diesel engine", Renewable Energy, Vol. 27, pp. 339-351.
13. Needham, J. R. et al., 1990, "Injection timing and rate control a solution for low emissions", SAE, 900854.