

# 디젤기관에서 바이오디젤 혼합유의 배기배출물 특성에 미치는 연료분사시기의 영향

임재근<sup>†</sup> · 조상곤<sup>1</sup>

(원고접수일 : 2012년 4월 12일, 원고수정일 : 2012년 5월 23일, 심사완료일 : 2012년 7월 16일)

## Effects of Fuel Injection Timing on Exhaust Emissions Characteristics of Biodiesel Blend Oil in Diesel Engine

Jae-Keun Lim<sup>†</sup> · Sang-Gon Cho<sup>1</sup>

**요약 :** 요즈음 환경오염 문제와 대체에너지 문제에 관심이 증대되고 있다. 디젤기관은 일반적으로 육상과 해상에서 동력을 생산하는데 사용되고 있는데, 디젤기관의 연소특성과 배기배출물 특성은 기관의 운전시간이 증가함에 따라 연료계통의 마모와 연소실 주위상태의 변화로 달라진다. 본 논문은 약 20여년 사용한 디젤기관에 바이오디젤혼합유를 사용할 경우, 연소특성과 배기배출물 특성에 미치는 연료분사시기의 영향을 고찰하기 위하여 실험적으로 연구하였다. 실험기관의 원래 연료분사시기는 BTDC 22° CA 이었는데, 20여년 운전한 후에 연료소비율과 배기배출물 특성에 대하여 실험적으로 최적의 연료분사시기를 분석한 결과, BTDC 26° CA로 변경되었음을 알았다.

**주제어 :** 연료분사시기, 바이오디젤 혼합유, 연료소비율, 배기배출물, 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 shore and sea. However, the combustion characteristics and exhaust emissions of the engine 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 the combustion characteristics and exhaust emissions on the fuel injection timing were experimentally investigated to find out the optimum fuel injection timing in case of the about 20 years used diesel engine using biodiesel blend oil.

The original fuel injection timing of the engine is BTDC 22° CA. However, it is found that the optimum fuel injection as a result of analyzing the specific oil consumption and exhaust emissions of 20 years used the engine is BTDC 26° CA

**Key words:** Fuel injection timing, Biodiesel blend oil, Specific fuel oil consumption, Exhaust emissions, Soot emission

### 1. 서 론

요즈음 중동 산유국들의 정치적 불안으로 유가가 급격히 상승하고 있으며, 일본 원자력발전소의 대형사고로 핵에너지의 위험성이 더욱 전 세계를 긴장시키고 있다. 그리고 지구온난화로 인하여 자

연재해와 생태계 파괴 및 해수면 상승 등의 문제가 증대한 관심이 되고 있으며, 이제 지구온난화로 인한 기후변화는 생활의 어려움보다 생존의 문제로 부각되고 있다.

각종 연소기관에 사용되는 화석연료는 매장량이

<sup>†</sup> 교신저자(군산대학교 동력기계시스템공학과, E-mail: jklim@kunsan.ac.kr, Tel: 063-469-1845)

<sup>1</sup> 군산대학교, E-mail: haerimho@kunsan.ac.kr, Tel: 063-469-1727

한정되어 있고 유해한 배출가스가 많으며 원자력 에너지는 위험성이 크고 핵폐기물을 처리하는 적합한 방법이 없기 때문에 최근에 친환경연료를 찾기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 그런데 바이오디젤유는 연속적으로 재배하여 얻을 수 있고, 농가 고소득도 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라, 사용하는데 위험성이 적으며 유해한 배출가스 역시 적으므로, 대체에너지로 활용하기 위하여 많은 연구가 계속되고 있다[1-5].

[6]에서는 대체연료로 biodiesel을 사용하여 연료 소비율과 배기배출물 특성을 실험적으로 분석하였고, [7]에서는 연료분사시기와 분사율이 배기배출물 저감에 미치는 영향을 고찰했으며, [8]에서는 디젤연소실의 Soot 농도와 점화지연과의 관계를 연구하였고, 그 외에 많은 연구자[9-13]들이 바이오디젤유가 각종 배기배출물 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.

그리고 안내책에 기록된 기관성능은 시운전시의 가장 양호한 성적이며, 기관의 운전시간이 증가함에 따라 연료계통의 마모와 연소실 주위의 상태변화로 연소특성과 배기배출물특성이 달라질 것으로 생각된다. 따라서, 본 연구에서는 제작 후 20여년 지난 디젤기관에 바이오디젤혼합유를 연료로 사용하여 부하와 연료분사시기를 변경하면서 실험적으로 분석해서 배기배출물특성에 미치는 연료분사시기의 영향을 고찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

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

기관의 출력은 와전류형 전기동력계를 사용하여 측정하였고, 연소실의 압력은 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기로, 연료소비량은 고정도 연료소

비량계(FM- 257)로, 흡입공기량은 오리피스식 공기유량계(50MC2-4F)로, 배기배출물은 독일제 배기가스 분석기(Signal emirak rag4873)로, 실린더내의 연소가스 온도는 열전대 온도계(R-type)로, 매연은 Bosch식 매연측정기로 측정하였다. 그리고 기관의 공기 흡입측에 서지탱크(Serge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하도록 하였으며, 실험기관이 오랫동안 운전한 기관이므로 피스톤링과 연료분사펌프 및 분사밸브를 신품으로 교환했다.

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°C A
Firing order	1-5-3-6-2-4

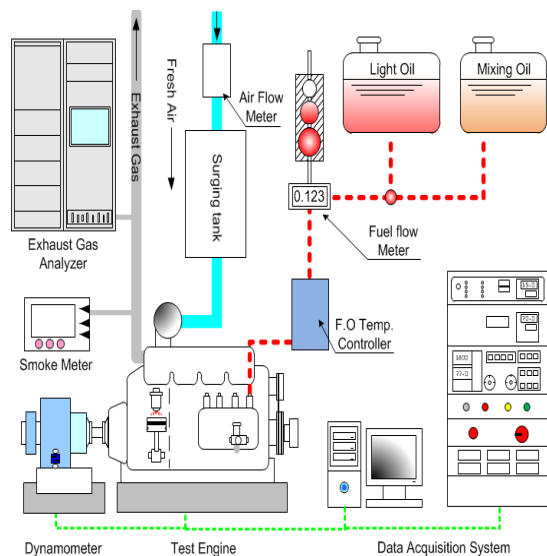


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus

2.2 실험방법

본 연구에서는 경유에 바이오디젤유(유채유) 30%를 혼합한 BDF30을 연료로 사용하였고, Table 2는 경유와 BDF30의 물리적 성질을 비교한 것이다. 기관회전속도 1800rpm의 경우에, 기관부하는 25%에서 100%까지 25% 간격으로, 연료 분사시기는 원래 BTDC 22° CA 이었으므로 전후로 18° CA에서 28° CA까지 2° CA 간격으로 변화시키면서 실험하였다. 동일한 조건에서 기관회전수의 변동율은 ±0.5% 이었고, 기관부하의 변동율은 ±1.5% 이하였다.

또 배기가스분석기와 매연측정기를 “0”점 조정하고 표준가스(측정범위의 80%인 보정용가스) 농도와 일치하도록 보정을 한후 각종 배기배출물을 측정하였고, 동력계는 표준 중량(5kg)의 추를 사용하여 압축·인장에 대한 보정을 하여 정확한 토오크값을 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
Kinematic 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
Calorific value (MJ/kg)	42.8	41.0

3. 결과 및 고찰

3.1 연료소비율

연료분사시기에 따른 부하별 연료소비율의 값을 Figure 2에 나타냈다. 연료소비율은 부하가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 부하 75%에서 가장 적게 나타났다. 부하 75%의 경우 BTDC 24° CA에서 186.25g/kWh, BTDC 26° CA에서는 181.6g/kWh, BTDC 28° CA에서는 183.95g/kWh로

제작 당시의 연료분사시기인 BTDC 22° CA에 비하여 각각 2.53%, 4.45% 및 3.28% 씩 저감되었다.

정해진 범위내에서 연료분사시기가 빠를수록 연료소비율이 감소되다가 BTDC 26° CA에서 BTDC 28° CA보다 약간 적게 나타났다. 그것은 BTDC 26° CA에서 다른 경우보다 연소조건이 가장 양호하여 열발생량이 많고 실린더압력이 증가할 뿐만 아니라, 그 압력이 동력발생에 가장 많이 기여했기 때문으로 생각된다.

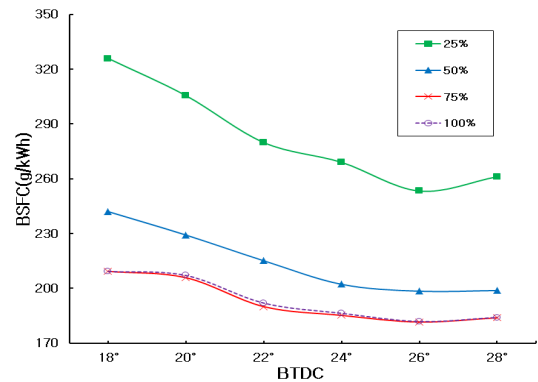


Figure 2: Specific fuel consumption on various fuel injection timing at 1800rpm

3.2 일산화탄소

CO의 배출량은 Figure 3과 같으며, 연료분사시기가 빠를수록 감소하는 경향이 있다. CO는 연료에 대하여 산소가 부족한 경우에 발생되는데, 일반적으로 디젤기관에서는 전부하시 CO농도가 급증하지만 부분 부하에서도 CO농도가 증가하는 경우가 있다. 이것은 디젤기관의 연소가 전체적으로는 산소과잉상태일지라도, 국부적으로는 분무확산연소로 인하여 혼합이 좋지 않기 때문에 산소가 부족하여 CO가 발생하고, 그 CO가 완전연소를 하지 못한 상태에서 연소가스 온도가 낮아져서 그 상태로 배출된다. Plee 등[14]은 산소농도 및 연소가스 온도의 감소가 CO 농도의 증가 원인이 된다고 했는데, 본 실험결과 부하 75%의 경우 BTDC 26° CA에서 251.6ppm으로 다른 경우에 비하여 가장 적게 나타났으면 제작 당시의 연료분사시기인 BTDC 22° CA에 비하여 45%가 저감되었다. 그 이

유는 BTDC 26° CA의 경우가 다른 경우보다 산소 농도와 연소가스 온도의 복합적인 관계에서 최소의 CO농도 배출 조건에 해당하는 상황이기 때문으로 생각된다.

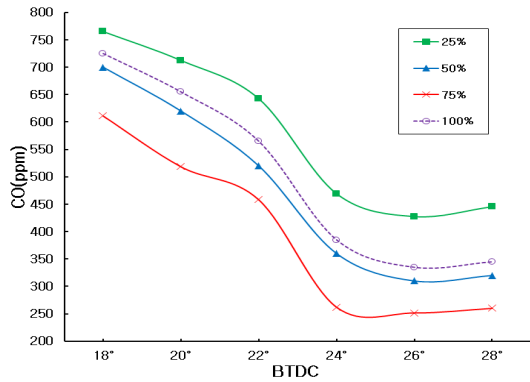


Figure 3: CO emission characteristics on various fuel injection timing at 1800rpm

3.3 질소산화물(NOx)

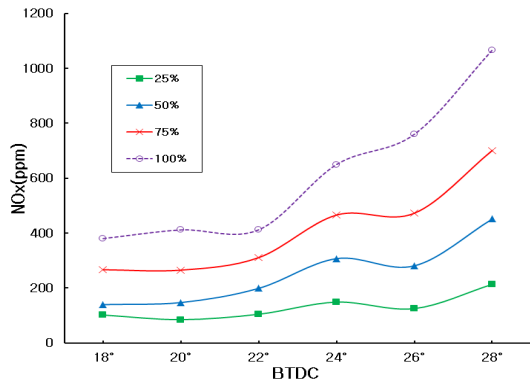


Figure 4: NOx emission characteristics on various fuel injection timing at 1800rpm

NOx의 배출량은 Figure 4와 같으며, 연료분사시기가 빠를수록 NOx의 배출량이 증가하는 경향이 나타났으며, 실험기관 제작 당시의 연료분사시기인 BTDC 22° CA보다 BTDC 24° CA에서는 평균 53.06%증가했고, BTDC 26° CA에서는 59.52%, BTDC 28° CA에서는 136.62% 증가하였다.

디젤기관에서 NOx는 고온 연소과정 동안에 공기중의 질소나 연료 중에 함유된 혼합물이 산소원자와 고온반응하여 생성된다. 따라서 연료분사시

가 빠를수록 착화지연기간과 예혼합연소기간이 길어져 Pmax가 상승하여 그 결과로 연소실내의 온도가 높아지므로 NOx의 발생량이 증가된 것으로 생각된다.

3.4 매연(Soot)

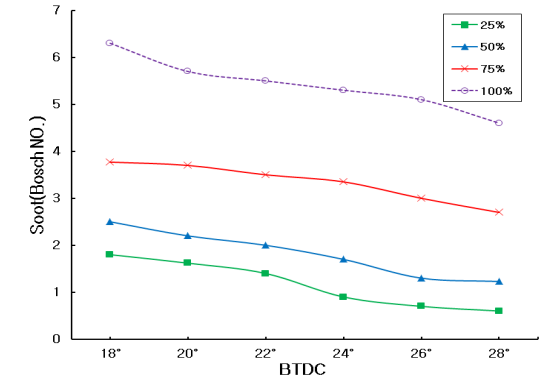


Figure 5: Soot emission characteristics on various fuel injection timing at 1800rpm

매연의 배출량은 Figure 5와 같고, 연료분사시기가 빠를수록 약간 감소하는 경향이 나타났으며, 원래의 연료분사시기인 BTDC 22° CA보다 BTDC 24° CA에서는 평균 9.27% 감소했고, BTDC 26° CA에서는 18.55%, BTDC 28° CA에서는 26.37% 감소하였다.

그 이유는 연료분사시기가 빠를수록 착화지연기간과 예혼합연소기간이 길어져 과농한 연료 중심부의 산소 농도를 증가시켜 연료와 공기의 혼합이 촉진되어 양호한 연소가 일어나기 때문이다. 또 이런 결과는 Needham, J. R. 등[7] 이 발표한 연료분사시기를 앞당기면 매연의 배출이 감소한다는 내용과 일치하였다.

3.5 배기가스 온도

Figure 6은 각 부하별로 연료분사시기에 대한 배기가스온도를 나타낸 것이다.

부하가 증가함에 따라 배기가스 온도가 상승하였고, 연료분사시기가 빠를수록 배기가스 온도가 거의 직선적으로 감소하였다.

그 온도는 BTDC 22° CA 비하여 BTDC 24° CA에서 평균 3.35% 감소했고, BTDC 26° CA에서

는 6.76% 감소했으며, BTDC 28° CA에서는 8.16% 감소했다.

그리고 BTDC 20° CA에서는 평균 10.96% 증가했고, BTDC 18° CA에서는 15.83% 증가했다.

BTDC 24° CA, 26° CA 및 28° CA의 경우는 연료의 연소조건이 적합하여 연소상태가 양호해서 열발생량이 많으나, 그 열이 일로 많이 변환되어 배기가스 온도가 낮아지고, BTDC 20° CA와 18° CA의 경우는 연료분사시기가 너무나 늦어서 연소상태가 불량하여 열발생량이 적으나, 후연소에 의하여 배기가스로 많은 열이 배출되었기 때문에 배기가스온도가 높아진 것으로 생각된다.

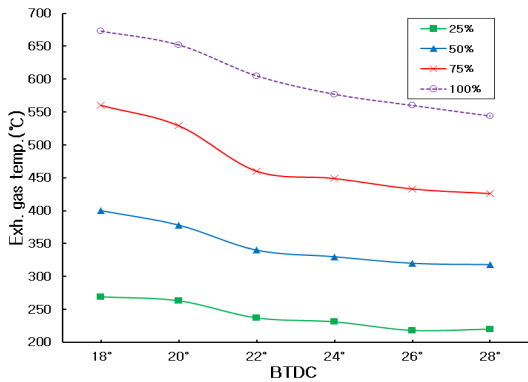


Figure 6: Exhaust gas temperature on various fuel injection timing at 1800rpm

#### 4. 결 론

제작 후 20여년 운전한 선박용 디젤기관에 기관 회전속도를 1800rpm으로 일정히 유지하고, 부하와 연료분사시기를 변경할 경우 연료소비율과 배기배출물 특성에 미치는 영향을 분석·고찰한 결과, 최적의 연료분사시기는 제작당시의 값보다 4° CA 앞당겨진 BTDC 26° CA임이 발견되었으며, 자세한 내용은 아래와 같다.

1. 연료소비율은 부하 75%에서 가장 적었고, BTDC 22° CA보다 BTDC 26° CA에서 평균 7.05% 감소했으며, 배기가스 온도는 BTDC 22° A° 보다 BTDC 26° CA에서 평균 6.76% 감소했다.

2. 일산화탄소(CO)는 부하 75%에서 가장 적었

고, BTDC 22° CA보다 BTDC 26° CA에서 평균 39.42% 감소했다.

3. 질소산화물(NOx)은 부하 100%에서 가장 많았고, BTDC 22° CA보다 BTDC 26° CA에서 평균 59.52% 증가했다.

4. 매연(Soot)은 부하 100%에서 가장 많았고, BTDC 22° CA보다 BTDC 26° CA에서 평균 18.55% 감소했다.

#### 참고문헌

- [1] K. W. Schol and S. C. Sorenson, "Combustion of soybean oil methyl ester in a direct injection diesel engine", Journal of Society of Automotive Engineers, 930934, 1993.
- [2] V. Pradeep, and R. P. Sharma, "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, 2007.
- [3] Kyunghyun Ryu and Youngtaig Oh, "Combustion characteristics and durability of diesel engines burning BDF 20", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 15, no. 3, pp. 18-28, 2007.
- [4] David Y. Chang, J. H. Van Gerpen, "Determination of particulate and unburned hydrocarbon emissions from diesel engines fueled with biodiesel", Journal of Society of Automotive Engineers, 982527, 1998.
- [5] C. A. Sharp, S. A. Howel and J. Jobe, "The effect of biodiesel fuels on transient emissions from modern diesel engines, Part 1 regulated emissions and performance", Journal of Society of Automotive Engineers, 200011967, 2000.
- [6] C. Carraretto and A. Macor et al., "Biodiesel as alternative fuel : Experimental analysis and energetic evaluations", Energy 29, pp. 2195-2211, 2004.
- [7] J.R. Needham, et.al., "Injection Timing and

- Rate Control a Solution for Low Emissions", Journal of Society of Automotive Engineers, 900854, 1990.
- [8] Noboru Miyamoto, Hideyuki Ogawa, et al., "Analysis of diesel soot formation under varied ignition lag with a laser light extinction method", Journal of Society of Automotive Engineers, 900640, 1990.
- [9] C. D. Rakopoulos and K.A. Antonopoulos et al., "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, 2006.
- [10] S. Bari, T. H. Lim and C. W. Yu, "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, 2002.
- [11] J. K. Lim and S. Y. Choi, "Effects of fuel injection timing on exhaust emissions characteristics in marine diesel engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 26, no. 3, pp.307-312, 2002.
- [12] 전효중, "선박용 디젤기관의 환경문제", 한국박용기관학회지, 제20권, 제3호, pp. 187-205, 1996.
- [13] Soon-Ik Kwon, et. al., "Effects of cylinder temperature and pressure on ignition delay in direct injection diesel engine", Bulletin of the Journal of the Marine Engineering Society in Japan, vol. 18, no. 1, pp.3~16, 1990.
- [14] Plee, S.L., Ahamed, T. and Myers, J.P. "Flame temperature correlation for the effects of EGR on diesel particulate and NOx Emissions, Journal of Society of Automotive Engineers, 811195.