

IDI 디젤기관에서 바이오디젤유 적용시 분사시기변화에 따른 기관성능과 매연 및 NOx 배출 특성

최 승 훈¹⁾ · 오 영 택^{*2)}

전주비전대학¹⁾ · 전북대학교 기계공학과, 전북대학교부설 공학연구원 공업기술연구소²⁾

The Characteristics on the Engine Performance, Smoke and NOx Emission for Variation of Fuel Injection Timing in an IDI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel

Seunghun Choi¹⁾ · Youngtaig Oh^{*2)}

¹⁾Vision University of Jeonju, Jeonbuk 560-760, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Research Center of Industrial Technology, Jeonbuk 561-756, Korea

(Received 10 October 2007 / Accepted 1 February 2008)

Abstract : Biodiesel fuel(BDF) can be effectively used as an alternative fuel in diesel engine. However, BDF may affect the performance and exhaust emissions in diesel engine because it has different physical and chemical properties from diesel fuel such as viscosity, compressibility and so on. To investigate the effect of injection timing on the characteristics of performance and exhaust emissions with BDF in IDI diesel engine, it was applied the BDF derived from soybean oil in this study. The engine was operated at seven different injection timings from TDC to BTDC 12°C A and six loads at a single engine speed of 1500rpm. When the fuel injection timing was retarded, better results were showed, which may confirm the advantages of BDF. The simultaneous reduction of smoke and NOx was achieved at some fixed fuel injection timings of an IDI diesel engine.

Key words : IDI diesel engine(간접분사식 디젤기관), Biodiesel fuel(바이오디젤유), Fuel injection timing(연료분사시기), BSEC(brake specific energy consumption; 에너지소비율), Smoke(매연)

1. 서론

최근 유가 상승과 맞물려 전세계적으로 각 국가의 에너지수급 대책으로서 석유계 에너지를 대체할 대체에너지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 대체에너지 중 바이오디젤유¹⁻⁶⁾는 자연 친화적이며, 재생가능한 연료로서 전세계적으로 지역의 풍토에 맞는 농업 생산물을 이용하여 생산이 가능하다는 장점이 있어 많은 관심의 대상이 되어

왔다. 현재까지 연구결과들을 살펴보면 각국의 지역 농산물의 생산품에 따라서 대두유, 채종유, 코코넛유, 팜유 등을 이용한 바이오디젤유의 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 국내에서 생산되는 바이오디젤유(Biodiesel Fuel, 이하 BDF라 칭함)는 국내 주요 농산물인 쌀의 가공부산물인 쌀겨¹⁾와 대량수입가능한 대두유로부터 주로 생산되고 있다.

BDF는 경유와 성상이 비슷하며, 세탄가가 높아 압축착화 연소가 가능하므로 기존 디젤기관에 바로 사용이 가능하고, 연료 자체에 다량의 산소를 함유

*Corresponding author, E-mail: ohyt@chonbuk.ac.kr

하고 있어 특히, 고부하 및 고속운전 영역에서 매연 저감에 효과적인 장점⁷⁾을 갖고 있다. 또한, 기후 변화 협약과 관련하여 BDF의 원료인 바이오메스계 원료 재배시 광합성작용을 통한 CO₂ 저감을 이룰 수 있기 때문에 BDF를 기관의 연료로 사용할시 기관에서 배출한 CO₂는 온실가스 배출량 산정시 반영하지 않아 전 세계적으로 그 보급이 확대되고 있다. 하지만, 점도가 경유의 경우보다 약간 높고 저온유동점이 높기 때문에 순수 BDF를 국내 동절기와 같은 저온 상태에서 사용하는 데는 어려움⁸⁾이 있어 상용 경유와 BDF를 혼합하여 사용하는 방법을 선택하고 있다. BDF는 디젤기관의 대체연료로서의 장점을 가지고 있어 기관에 바로 적용이 가능하나, 점도, 압축성 등의 물리·화학적 특성이 경유와 다르기 때문에 연소과정 전반에 걸쳐 경유와 다른 영향을 미칠 수 있다.⁹⁾ 이와 같이 연료의 성상이 변화하면 기관성능 및 배기배출 특성에 영향을 미치기 때문에 연료의 특성에 맞는 적절한 연소 조건을 찾는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 경유에 바이오디젤유를 혼합한 BDF를 간접분사식 디젤기관의 연료로 사용할 경우 기관 성능 및 배기배출물 특성에 영향을 미치는 인자의 하나로서 연료분사시기의 변화가 기관 성능 및 배기배출물 특성에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 연료

실험에 사용된 기관은 4행정 4기통 간접분사식 디젤기관으로 수냉식이며, 기관부하와 기관 회전속도는 기관 동력계에 의해 임의로 조절할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 Table 1에 나타내었다. Table 2는 실험에 사용된 BDF의 특성을 경유와 비교하여 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이 BDF는 탄소함량이 경유보다 약 10% 정도 적어 발열량이 저하되지만, 세탄가는 경유보다 높다. 또한 BDF는 경유자체에 내포하고 있지 않은 산소를 약 11% 함유하고 있다.

실험에 사용된 연료는 디젤기관의 상용연료인 경유를 기본으로 하고, 경유와 BDF를 체적비율로 혼

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Number of cylinder	4
Bore × stroke (mm)	91.1 × 95
Displacement (cm ³)	2476
Compression ratio	21
Combustion chamber	Pre-chamber
Coolant temperature (°C)	80 ± 2
Injection type	Indirect injection
Injection timing	Variable

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel fuel	BDF
Calorific value[MJ/kg]	43.96	39.17
Cetane number	51.4	57.9
Sulfur (wt%)	0.05	0
Carbon (wt%)	85.83	76.22
Hydrogen (wt%)	13.82	12.38
Oxygen (wt%)	0	11.03

합한 BDF 10%, 20%, 30% 그리고 본 실험의 최대혼합율인 BDF 50% 을 이용하였다.

2.2 실험 방법

실험은 기관 동력계에 장착된 간접분사식 디젤기관을 이용하여 워밍업이 끝난 후 기관회전속도 1500rpm에서 25% 부하부터 전 부하상태까지 25% 간격으로 부하를 조절하였으며, 90% 부하도 실험하여 각각의 특성을 비교하였다. 연료분사시기는 상사점을 기준으로 2°CA씩 진각하는 방향으로 BTDC 12°CA까지의 범위로 변경하며 실험을 진행하였다. 실험시 냉각수 온도는 80±2°C로 일정하게 유지하였다.

BDF가 배기가스 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 배기다기관으로부터 300mm 하류에 매연측정장치(HBN-1500; Korea)를 사용하여 매연의 농도를 각 실험조건에서 3회 반복 측정하여 평균값을 취하였으며, NO_x의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 전기화학적 셀 방식의 배기가스 분석기(Greenline MK 2; Italy)로 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정하였다. 또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간당의 에너지소비율(MJ/kW·h)로 계산하였다. 또한, 연소실내의

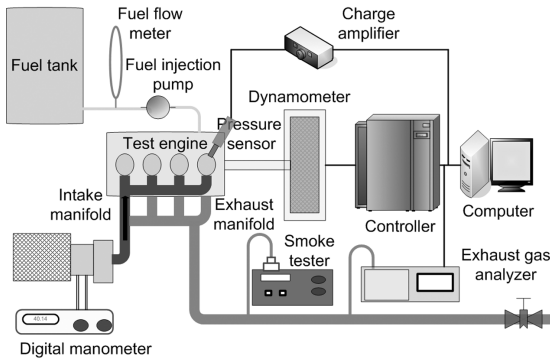


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

지압선도의 측정을 위하여 예열플러그 자리에 압력 센서(Kistler-6061B)를 설치하였다. 연소실내에서 검출된 압력파형은 압력 센서를 통하여 나오는 신호를 증폭기로 증폭하여 크랭크각도와 함께 연소해석 프로그램에 모니터가 가능하게 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분사시기에 따른 기관성능 특성

Fig. 2는 기관회전수 1500rpm, 75% 부하조건에서 연료분사시기를 BTDC 6°CA로 고정하였을 경우 BDF의 혼합율에 따른 연소실 압력과 열발생율을 나타낸 것이다. BDF 혼합율이 증가할수록 연소가 급격히 일어나고 최고 압력 또한 상승하는 것을 알 수 있다. 디젤기관은 고온으로 압축된 공기에 연료를 분사하여 자기착화하는 연소 방식으로 연료가 분사되어 착화되는 시기까지의 기간은 세탄가에 의해 영향을 받는다. 이는 BDF가 연료 자체에 내포하고 있는 산소성분이 연소를 촉진시켜 연소실 최고 압력도 상승한 것으로 생각된다.

Fig. 3은 기관회전속도 1500rpm에서 BDF의 혼합율과 연료분사시기에 따른 출력 특성을 기관 부하 별로 나타낸 것이다. 모든 기관 부하 조건에서 연료 분사시기가 진각됨에 따라 출력이 약간 증가하다 다시 감소함을 알 수 있다. 경유를 연료로 사용한 경우 BTDC 6°CA에서 출력이 최고를 나타내고 있으며, BDF 20까지의 혼합율에서는 동일한 경향을 보이고 있다. BDF를 30% 혼합한 경우는 BTDC 4°CA와 BTDC 6°CA에서 출력이 거의 비슷하게 나타나고 있으며, 본 실험의 최대 혼합율인 BDF 50을 연료로

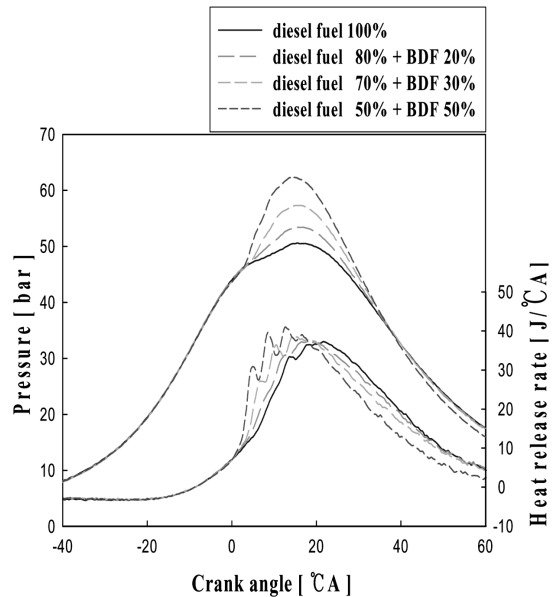


Fig. 2 Pressure and heat release at a injection timing of BTDC 6°CA and a speed of 1500rpm, load 75%

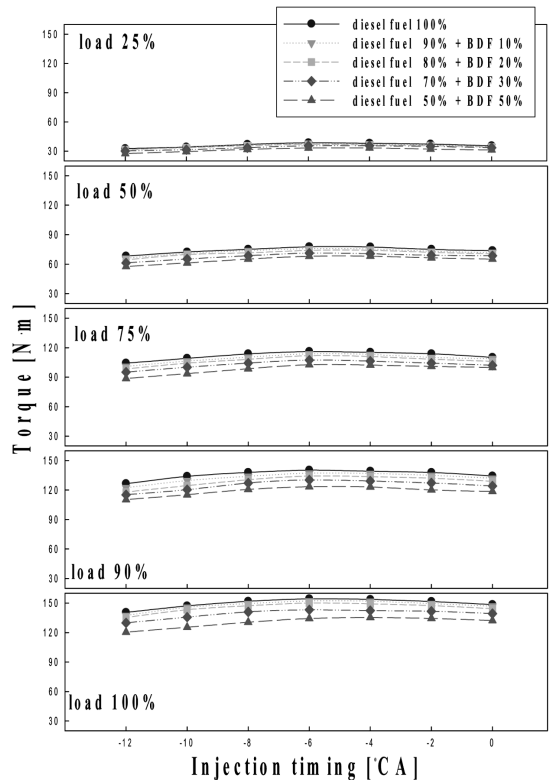


Fig. 3 Torque versus various fuel injection timings and loads

사용한 경우는 연료분사시기가 BTDC 4°CA일때 가장 높은 출력 특성을 보이고 있다. 그러나, 연료분사시기가 BTDC 8°CA 이상으로 진각되는 경우를 제외하고 그 차이는 크지 않았다. 연료분사시기가 너무 빠르면 연소가 피스톤이 상사점에 도달하기 이전에 발달되어 일로서 충분히 전달되지 못하게 되고, 너무 늦게 연료를 분사하게 되면 피스톤이 하강하는 시기에 피스톤에 일이 전달되어 효율이 떨어지게 된다. 따라서 너무 이르거나 늦은 연료분사는 기관의 출력에 악영향을 미칠 수 있다.

Fig. 4는 기관회전속도 1500rpm에서 BDF의 혼합율과 연료분사시기에 따른 제동에너지 소비율을 기관 부하별로 나타낸 것이다. 경유를 연료로 사용한 경우 전체 부하 조건에서 연료분사시기를 BTDC 6°CA로 운전할 때 최적의 에너지소비율을 나타냈다. BDF 20이하의 혼합율에서는 경유와 유사한 경향을 보이고 있으며, BDF 50을 연료로 사용한 경우는 BTDC 4°CA로 운전할때 최적의 에너지소비율을 보였다. 연료분사시기가 너무 빠르거나 상사점에서

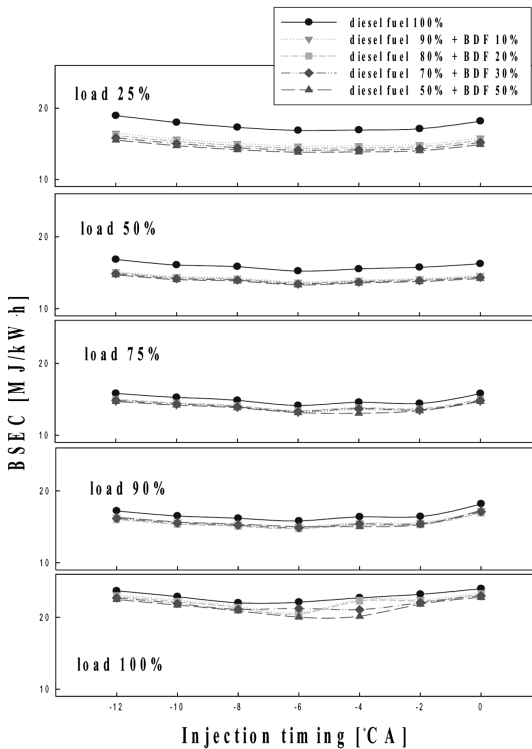


Fig. 4 BSEC versus various fuel injection timings and loads

행해진 경우는 에너지소비율이 악화되었다.

그러나, 전체적으로 경유와 BDF를 혼합하여 사용한 경우를 살펴보면 BTDC 6°CA, 전부하의 경우 BDF 10%는 1%, BDF 20%는 7%, BDF 30%는 9.2%, BDF 50%는 9.4%의 에너지소비율의 개선을 보이고 있음을 알 수 있다.

3.2 분사시기에 따른 배기배출물 특성

Fig. 5는 1500rpm의 기관회전속도에서 연료분사시기와 BDF 혼합율에 따른 매연의 배출 특성을 기관 부하별로 나타낸 것이다. 전부하 조건을 제외하고 연료분사시기가 진각됨에 따라 매연의 배출이 증가하고 있음을 알 수 있다. 90% 부하조건에서 연료분사시기가 TDC를 기준으로 BTDC 6°CA까지는 매연의 배출이 크게 증가하지 않고 있으나 그 이상 진각이 되면 매연 배출의 증가폭이 커짐을 알 수 있다. 경유를 기관의 연료로 사용한 경우 전부하의 실험조건에서 연료분사시기가 TDC를 기준으로 진각됨에 따라 BTDC 6°CA까지는 매연의 배출이 감소하나 그 이상 진각이 되면 급격히 증가됨을 알 수 있다.

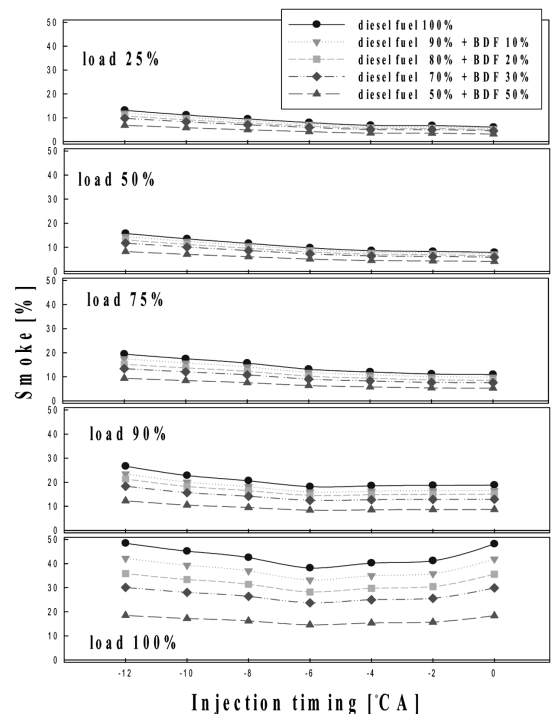


Fig. 5 Smoke versus various fuel injection timings and loads

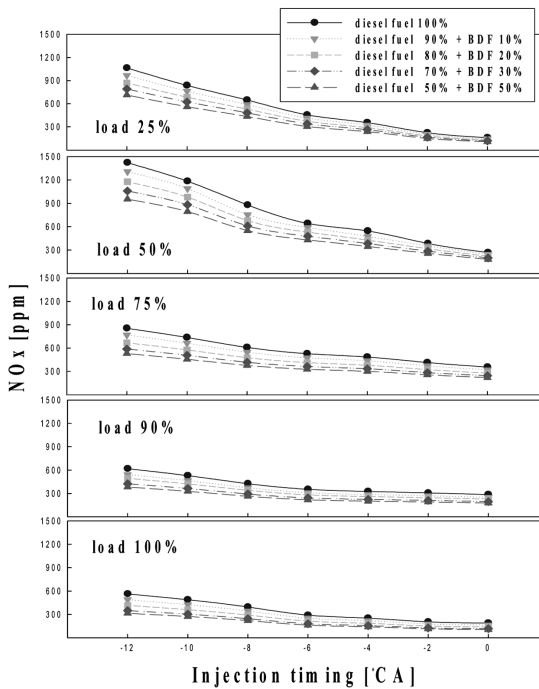


Fig. 6 NOx versus various fuel injection timings and loads

그러나 BDF 50을 실험 연료로 사용한 경우는 연료 분사시기가 TDC인 경우와 BTDC 8°CA 이상 진각된 경우를 제외하고 매연의 배출량이 거의 일정하게 나타나고 있다. BTDC 6°CA, 전부하영역에서 경유에 대한 BDF의 혼합율에 따른 매연배출의 저감률은 BDF 10% 혼합시에 약 13%, BDF 20%는 25%, BDF 30%는 37%, BDF 50%의 경우는 61%의 매연저감효과를 나타내고 있다.

Fig. 6은 Fig. 5와 동일한 실험 조건에서 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. 모든 실험 조건에서 연료 분사시기가 진각됨에 따라 NOx의 배출이 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 고부하 영역에서는 연료분사시기가 BTDC 6°CA 이상 진각될 경우 NOx 배출의 증가폭이 커짐을 볼 수 있다. 이러한 경향은 모든 실험 연료에서 동일하게 나타나고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 연료분사시기가 진각이 되면 연료가 증발해 공기와 혼합할 수 있는 시간적 여유가 비교적 충분해 급격한 연소가 이루어지기 때문이다. 따라서 연료분사시기가 너무 진각되면 NOx의 배출이 악화됨을 알 수 있었다.

4. 결론

4행정 4기통 간접분사식 디젤기관에 BDF를 체적비율로 10~50%까지 혼합하여 연료로 사용하고 그 혼합율과 연료분사시기에 따른 기관 성능 및 배기배출물 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) BDF의 세탄가가 경유보다 높고 연료 자체에 산소 성분을 내포하고 있어 연소가 더 급격히 일어나고, 연소실 압력도 증가함을 알 수 있다.
- 2) BDF를 경유와 혼합하여 기관의 연료로 사용할 경우 20% 이하의 혼합율에서는 배기배출물 측면에서 경유와 비슷한 경향을 나타냈다.
- 3) BDF 50%를 연료로 사용한 경우 연료분사시기를 BTDC 4°CA로 하였을 때 기관 출력, 에너지소비율, 배기배출물 특성이 가장 최적의 상태를 나타냈다.

References

- 1) Y. T. Oh and S. H. Choi, "A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(I)," Transactions of KSAE, Vol.10, No.2, pp.15-22, 2002.
- 2) B. C. Choi, C. H. Lee and H. J Park, "Power and Emission Characteristics of DI Diesel Engine with a Soybean Bio-diesel Fuel," Journal of KSPSE, Vol.6, No.3, pp.11-16, 2002.
- 3) W. S. Kyle and C. S. Spencer, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, 1993.
- 4) S. H. Choi and Y. T. Oh, "Combustion Characteristics of Esterified Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in a Diesel Engine," Int. J. Automotive Technology, Vol.7, No.4, pp.399-406, 2006.
- 5) L. G. Schumacher, S. C. Borgelt and W. G. Hires, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research," ASAE 936523, 1993.
- 6) D. L. Reece and C. L. Peterson, "A Report on the Idaho on-road Vehicle Test with RME and Neat Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel," ASAE935018, 1993.
- 7) W. F. Marshall, "Effects of Methyl Esters of

- Tallow and Grease on Exhaust Emissions and Performance of a Cummins L10 Engine,” Itt Research Institute, National Institute for Petroleum and Energy Research, 1993.
- 8) K. H. Ryu and Y. T. Oh, “Durability Test of a Direct Injection Diesel Engine Using Biodiesel Fuel,” Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp.32-38, 2004.
- 9) A. Monyen, J. H. Van Gerpen and M. Canakci, “Effect of Timing and Oxidation on Emissions from Biodiesel-Fueled Engines,” Transactions of ASAE , Vol.44, No.1, pp.35-42, 2001.