

PXI와 LabVIEW를 이용한 직접 분사식 디젤기관의 바이오 디젤유 연소특성 분석

Analysis of Combustion Characteristics of Bio Diesel Fuel in a DI Diesel Engine Using PXI and LabVIEW

정석호 · 김명수 · 장세호 · 고대권 · 안수길

S. H. Jung, M.S. Kim, S. H. Jang, D. K. Koh and S. K. Ahn

Key Word : DI Diesel Engine(직접 분사식 디젤엔진), BDF(바이오 디젤유), BO(블렌드유), TVO(에스테르유), DF(디젤 연료), Combustion Characteristics(연소특성), PXI, LabVIEW

Abstract : Recently many researchers have been studying the development of alternative energy due to serious environmental pollution and drying up fossil energy. Among various alternative fuels, authors investigated the physical and combustion characteristics of the bio diesel fuel(BDF) which was made from the wasted vegetable oil.

In this study, PXI and LabVIEW, which is a novel measuring instrument and online analysis, was used to investigate the combustion characteristics of BDF in a DI diesel engine.

1. 서 론

최근 내연기관의 연료로 사용되는 화석연료의 고갈과 화석연료의 사용으로 인한 지구온난화, 오존층 파괴, 산성비, 대기오염 등의 환경문제가 대두됨에 따라 내연기관의 대체연료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 디젤기관의 대체연료로는 메탄올, 메탄올, TBA(Tertiary Butyl Alcohol) 등의 알콜류와 MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether), ETBA(Ethyl Tertiary Butyl Ether) 등의 에테르류 및 각종 식물유를 이용한 바이오 디젤유(BDF) 등을 활용하는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁾.

바이오 디젤유는 산업용으로 사용하였거나 식용으로 사용된 것을 재활용한다는 측면에서 각광받고 있다. 폐식용유를 연료로 사용할 경우 화석 연료의 절감효과를 가져올 뿐 아니라 폐식용유는 산소를 포함하고 있으므로 환경문제의 개선에도 효과를 가져올

수 있다.

최근 폐식용유를 디젤기관의 연료유(바이오디젤유)로 활용하는 연구가 여러 나라에서 많이 진행되어 실용화 단계에 이르고 있으며 이미 유럽과 일본 등에서는 BDF를 이용한 디젤엔진을 버스나 청소차에 사용하고 있다²⁾. 또 우리나라에서도 이러한 움직임이 보이기 시작하여, 전북, 서울 등에서 버스 및 청소차에 탑재하여 시범운행 중이다^{2) 3)}. 그러나 이런 BDF는 폐식용유가 산소를 함유하고 있는 장점이 있지만 점도가 높다는 단점 때문에 대부분 에스테르화에 의존하고 있다. 식물유의 에스테르화는 Fig. 1에 나타난 것처럼 전문적이고 복잡한 공정과정인 교반, 가열, 층상분리 등을 거쳐야 하므로 BDF의 생산비용이 폐식용유를 원료로 생산하는 경우, 경유보다 세전 가격으로 1.5배~3배 높은 것으로 알려져 있다³⁾. 그러므로, 본 연구에서는 이런 복잡한 공정없이 폐식용유와 경유를 혼합한 블렌드유(BO : Blended Oil)를 간단하게 전처리하여 농업용 디젤기관에 사용할 때, 기관의 성능 및 연소특성 등을 경유(DF : Diesel Fuel), 에스테르유(TVO : Transesterified Vegetable Oil)와 비교하여 사용가능 여부를 조사하였다. 한편 데이터의 취득은 PXI라는 하드웨어와 LabVIEW라는 소프트웨어를 이용하여 수행하였다.

접수일자 : 2004년 5월 일

안수길(책임저자), 고대권 : 부경대학교 기계공학부

e-mail : skahn@pknu.ac.kr

정석호 : 부경대학교 대학원

김명수 : 부산 대신중학교

장세호 : 강원도립대학

2. 바이오 디젤유의 제조 및 특성

바이오 디젤유로 사용하기 위해 제조한 연료유는 경유와 폐식용유를 단순히 혼합한 블렌드유와 폐식용유를 에스테르화한 에스테르유이다.

먼저 에스테르유는 복잡한 제조과정을 거친다. 점도를 낮추기 위해 메탄올을 이용하여 에스테르화를 시켜야 하고, 또 메탄올과 폐식용유가 반응을 일으키도록 촉매를 사용하여야 한다. 또한 수율을 높이기 위해서는 약 70℃로 유지하면 좋다. 이렇게 하여 수시간을 교반시킨 후에야 에스테르유가 생성된다. 충분히 교반이 되면 아래에서부터 글리세롤층, 에스테르유층, 메탄올층으로 나뉘어진다. 따라서, 에스테르화된 후 교반에 사용되지 않고 남은 메탄올과 반응 후에 남은 글리세롤 사이에서 에스테르유만을 꺼내어 사용해야 하는데 메탄올이 섞이면 발열량이 떨어지므로 신중을 기해야 한다.

본 실험에 사용된 시료유는 먼저 폐식용유를 메탄올과 체적비 2:1로 섞은 후, 폐식용유 1ℓ당 촉매로 수산화칼륨(KOH) 5g을 첨가하여 상온에서 약 2시간을 교반시켰다. 교반 시의 온도는 수율을 높이기 위해서 70℃ 정도로 유지하는 것이 좋지만, 본 연구에서는 충분한 시료량을 확보할 수 있었기 때문에 상온에서 교반을 실시하였다. 교반 후 TVO의 추출량은 폐식용유 1ℓ당 약 1ℓ 정도였다. Fig. 1에 에스테르유의 제조과정을 나타내었다.

다음으로 블렌드유는 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 간단한 공정으로 만들 수 있었다. 폐식용유를 필터를 이용해서 고형물을 제거한 뒤 경유와 혼합하였다. 이때, 경유와 폐식용유의 혼합은 중량비로 7:3이었다.

제조한 시료들의 동점도와 비중의 측정결과를 Table 1에 나타낸다. Table 1로부터 BO의 동점도는 다른 연료들에 비해 상당히 높은 것을 알 수 있다.

Table 1 Gravity and kinetic viscosity of fuels

Charac. fuels	Gravity	Kinetic viscosity(cst)
DF	0.81	2.843
TVO	0.887	4.115
BO	0.872	9.4725

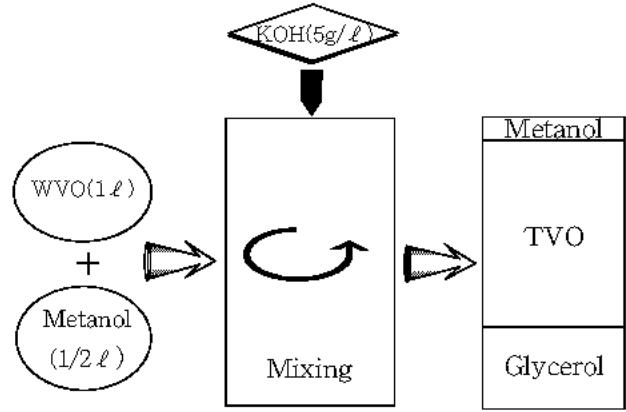


Fig. 1 Manufacturing progress of TVO

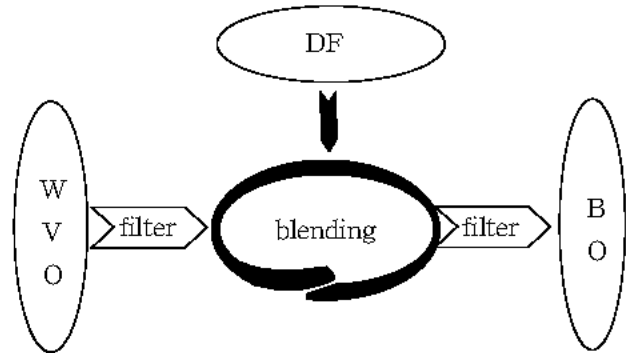


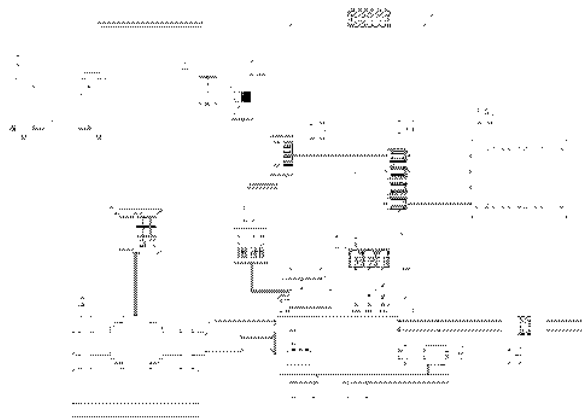
Fig. 2 Manufacturing progress of BO

3. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 3기통 수냉식 4행정 직접 분사식 디젤기관(국제 트랙터 3D 100-AT)으로 기관 사양은 Table 2에 나타내었고, Fig. 3에 실험장치도를 나타내었다. 기관의 부하와 회전속도는 기관에 부착된 와전류식 전기 동력계로 제어하였다.

Table 2 Specification of test engine

Engine Model	F455DN-K
Bore × Stroke(mm)	100×110
Displacement(cc)	2591
Number of the Cylinder	3
Type	4 Stroke DI Diesel Engine cooled water
Injection pressure(MPa)	18.62
Compression ratio	17.6
Combustion chamber	Star shape deep bowl type



- (1) Fuel tank
- (2) Fuel flow meter
- (3) Dynamo meter controller
- (4) Dynamo meter
- (5) Test engine
- (6) Rotary encoder
- (7) Cylinder pressure sensor
- (8) Injection pressure sensor
- (9) Needle lift(gab sensor)
- (10) Amplifier
- (11) Exhaust gas analyzer
- (12) Bosch smoke meter
- (13) PM concentration measurement
- (14) Terminal block
- (15) PXI
- (16) Laminar air flow meter

Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

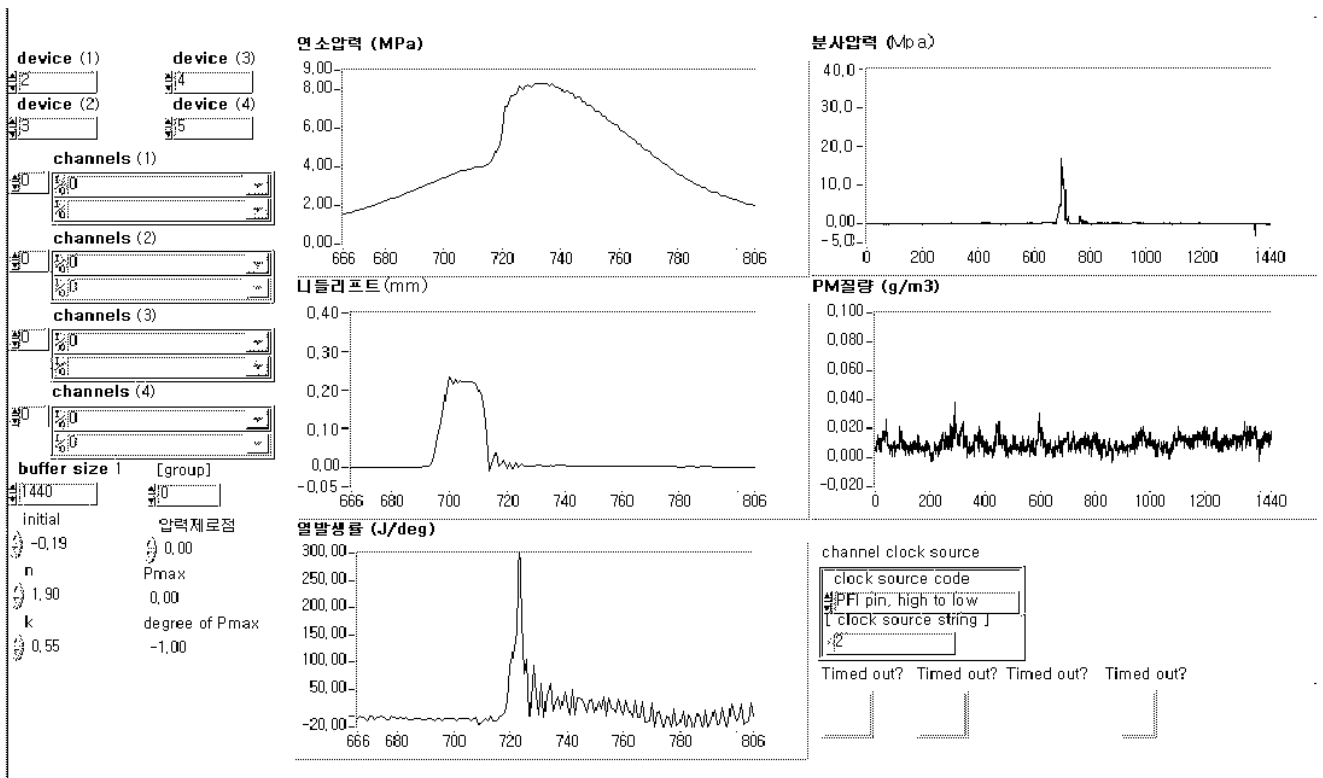


Fig. 4 LabVIEW front panel for simultaneous 4-board data acquisition

여기서 PXI는 컴퓨터(controller)와 여러 개의 DAQ 보드를 한 새시에 장착할 수 있도록 되어있는 장비로 데이터의 동시취득이 용이한 장비이다. 따라서 디젤기관의 데이터들을 크랭크 각도에 따라 취득할 때, 여러 개의 데이터들을 같은 크랭크 각도에서 취득할 수 있어 서로 비교하기 쉽다는 장점이 있다. 실험조건으로 회전속도는 1500, 2000, 2500rpm, 부하는 20, 40, 60Nm로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 온라인 분석

Fig. 4는 실험에 사용된 LabVIEW 프로그램의 프론트 패널이고 블록 다이어그램은 참고문헌(6)과 잘 나타나 있어 생략한다. 프론트 패널에는 연소실 압력, 니들리프트, 분사압력, PM 농도, 열발생률에 대한 그래프만 나타내었고, 그 외의 데이터는 프론트 패널에 나타내지 않고 컴퓨터에 저장하였다.

PXI와 LabVIEW를 이용하면 비교적 저렴한 가격으로 기관의 측정 데이터들을 취득할 수 있고, 쉬운 프로그램 코딩 때문에 시간 절약의 이점도 크다.

또한 한 번 셋팅된 고가의 장비에 비해 사용자의 의도에 따라 변경이 가능한 점 등 여러 가지 장점이

있다.

Fig. 5는 1500rpm, 60Nm의 조건에서 경유를 사용한 경우의 데이터 중 압력선도를 스무싱한 데이터로, 열발생율과 누적열발생율을 산출한 것과 분사기간을 알아보기 위해 니들리프트의 거동을 확대한 것이다. 각 그래프의 y축 값은 라벨과 같고 x축 값은 크랭크 각도를 나타낸다. 특히 x축 값이 720일 때가 압축 상사점이고, 크랭크 각 0.5° 증가에 따라 x축 값은 1씩 증가한다. 여기서, 분사기간은 니들리프트가 상승하기 시작해서 하강이 완료되는 지점 사이의 기간으로 정의하였다. 열발생율의 기울기가 “-”값으로 떨어지다가 다시 “+”값으로 바뀌는 지점을 연소시작점으로 하고, 누적열발생율이 최고값이 되는 점까지의 차이를 연소기간으로 정의하였다. 마지막으로 착화지연은 분사시작점과 연소시작점까지의 기간으로 정의하였다.

LabVIEW에서 Pulse Parameters라는 함수를 사용하면 펄스의 기간, risetime, falltime, delay 등을 알아낼 수가 있고 array Max & Min이라는 함수를 사용하면 그 선도의 최고점의 위치와 최고점의 값, 최저점의 위치와 최저점의 값을 알아낼 수 있다. 따라서, 두 함수를 이용하여 Fig. 6과 같은 압력선도, 열발생율, 누적열발생율, 니들리프트 선도를 온라인으로 분석하였다. 그 결과, array Max & Min이라는 함수를 사용하여 얻은 압력선도의 최고점의 위치와 최고값, 연소끝점으로 잡은 누적열발생율 선도의 최고점 위치를 정확하게 분석할 수 있었다. 여기서 Pulse Parameters 함수를 사용하여 얻은 데이터 중에서 분사시작점은 오프라인으로 정밀하게 분석했을 때와 거의 같았다. 그러나 분사끝점, 연소시작점은

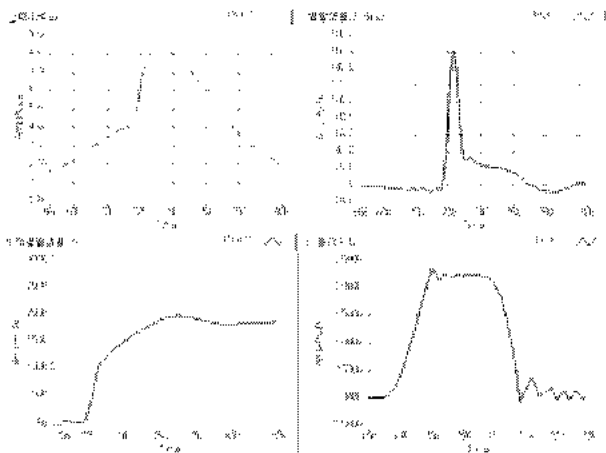


Fig. 5 Analyzed data of front panel at 1500rpm, 60Nm with DF

오프라인으로 정밀하게 분석했을 때와 틀린 경우도 있었다. 그 원인으로는 열발생율 선도가 매끄럽지 못하고, 니들리프트 또한 끝점에서 약간 진동하기 때문이라고 생각된다. 따라서 이 함수로는 분사기간, 착화지연 및 연소기간의 온라인 분석이 쉽지 않았다. 따라서 이들을 온라인으로 분석하기 위해서는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 상승점과 하강점을 정확하게 찾을 수 있도록 다른 함수와 조건들을 이용하여 보완된 프로그램을 개발할 필요가 있다.

4.2 연소특성

Fig. 6에 부하가 60Nm일 때 회전수에 따른 연료들의 연소압력거동과 니들리프트를 나타내었다. 회전수가 1500rpm일 때는 각 연료에 따른 차이가 크게 나타나지 않았다. 그러나 회전수가 증가함에 따라 연료에 따른 연소압력거동과 니들리프트의 거동이 달라지고 있다. 이는 회전수가 증가함에 따라 각 연료가 가지는 물성치 중에서 특히 동점도의 영향이 크게 미친 것으로 사료된다.

또 니들리프트가 열리는 시기는 2500rpm의 경우 경유, 에스테르유, 블렌드유의 순으로 늦게 열리는 것으로 나타났다. 이것 또한 각 연료의 점도와 관계

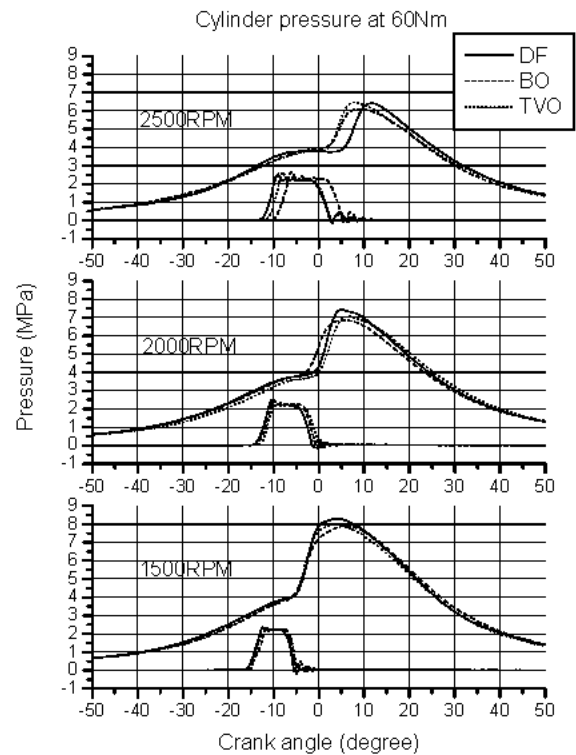


Fig. 6 Cylinder pressure at 60Nm

가 있는 것으로 생각되며 특히 Bosch식 펌프의 특성 상 회전수로 갈수록 토출압력이 높아지므로 점도의 영향이 커진 것으로 고려된다.

Fig. 7에는 열발생율을 나타내었다. 동일 부하의 경우 열발생율의 피크 값은 경유가 가장 높았고, 그 다음이 에스테르유이고, 블렌드유의 피크 값이 가장 낮았다. 그리고 회전수 2500rpm에서 경유의 착화점이 늦은 것은 착화가 산소의 양에 영향을 받기 때문인 것으로 고려된다. 즉, 산소의 양이 많을수록 착화가 빨리 이루어지기 때문에 합산소 연료인 바이오디젤유들의 착화점이 빠르게 나타난 것으로 생각된다. 따라서 연료유에 따라 회전수에 알맞은 분사시기 조정이 필요할 것으로 생각된다.

다음으로 연료소비율을 Fig. 8에 나타내었다. 부하가 증가함에 따라 연료소비율은 감소하는 경향을 나타내고 있지만 회전수에 따른 영향은 크게 나타나지 않았다. 특히, 경유의 연료소비율이 부하와 회전수에 상관없이 다른 연료들에 비해 낮게 나타나고 있다. 또 미소하나마 블렌드유가 에스테르유보다 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 각 연료의 발열량과의 관계와 잘 일치한다.

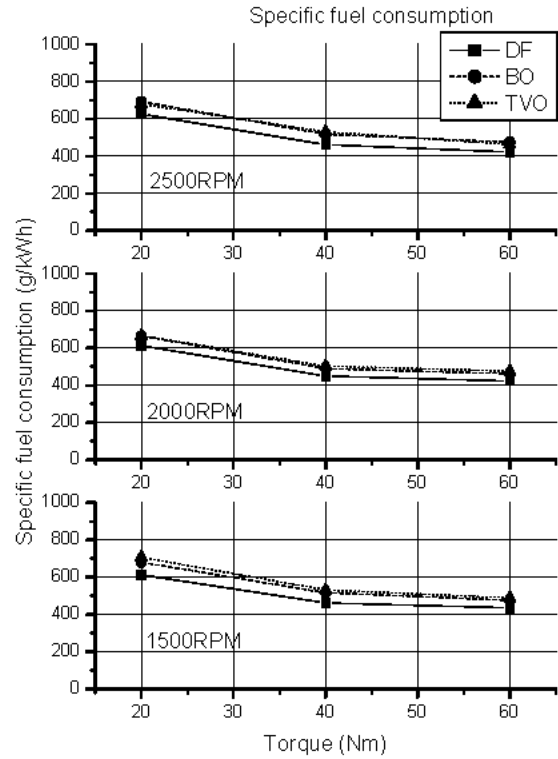


Fig. 8 Specific fuel consumption

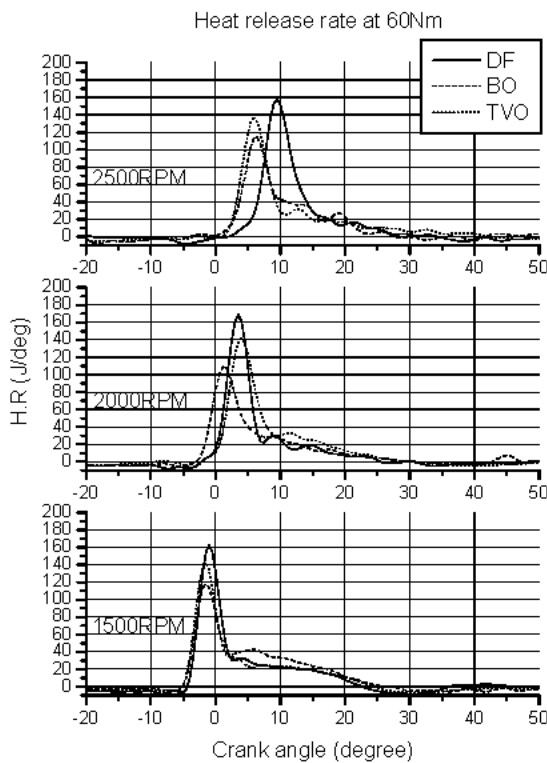


Fig. 7 Net heat release at 60Nm

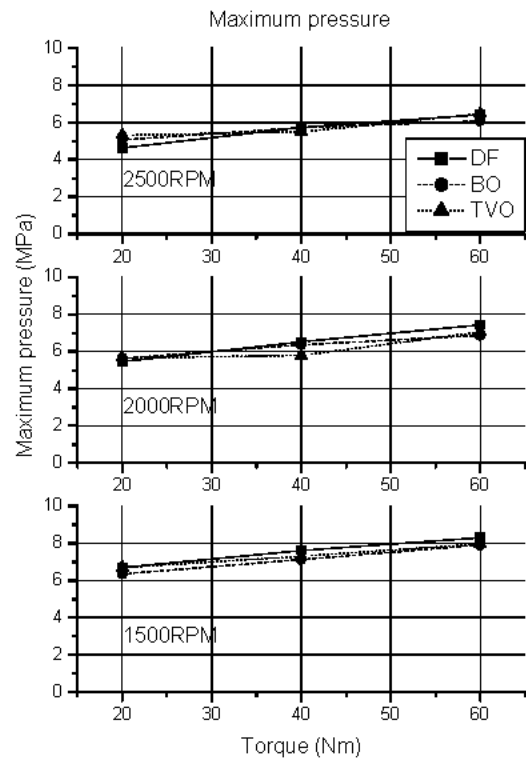


Fig. 9 Maximum pressure

Fig. 9에는 최고압력값을 나타내었다. 부하가 증가함에 따라 최고압력값이 높아지고 있다. 그러나 회전수가 증가함에 따라서는 최고압력값은 떨어지고 있다. 각각의 연료들은 비슷한 경향을 보이고 있다. 그러나 에스테르유의 경우 회전수와 부하의 변동에 따른 최고압력값의 변동이 다른 연료들에 비해 크게 나타나고 있다.

Fig. 10에는 착화지연을 나타내었다. Fig. 10에서 블렌드유의 경우, 착화지연이 각 회전수에서 부하에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 경유도 그 변동이 에스테르유에 비해 작은 편이다. 착화지연에서도 최고압력값과 같이 에스테르유의 부하에 따른 변동이 다른 연료들에 비해 큰 편이다. 따라서 이 부분은 분무거동 등 에스테르유에 대한 더 세밀한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

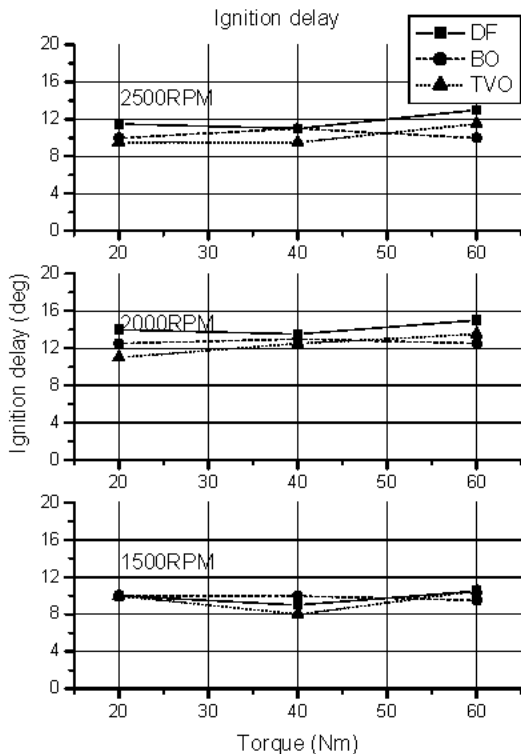


Fig. 10 Ignition delay

5. 결론

본 연구에서는 폐식용유를 이용한 바이오 디젤유(BO, TVO)를 소형 고속 직분식 디젤기관에 사용했을 때, 연소특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 새로운 연소 분석 시스템을 구성하였으며, 그 연소특

성을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) PXI와 LabVIEW를 이용한 디젤기관의 연소특성에 대한 온라인 분석이 가능하였다.
- 2) 폐식용유를 이용한 블렌드유와 에스테르유는 대체연료로 사용이 가능하였고, 그 연소특성은 경유와 비슷하였다.
- 3) 동일 부하의 경우 회전수의 증가에 따라 BDF의 분사시기는 늦어지는 반면 착화시기는 빨라졌다. 그리고 열발생율은 회전수에 관계없이 피크 값이 경유, 에스테르유, 블렌드유 순으로 높았다.

참고문헌

1. Osamu KOBAYASHI, 2000, “燃料サイクルから見た原動機燃料の将来展望”, ENGINE TECHNOLOGY, Vol. 2, No. 6, pp. 32~37.
2. 岩井邦夫, 2002, “植物油のエステル化技術の動向”, Engine Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 41~44.
3. 이영재, 2002, “바이오 디젤유의 현황”, 자동차공학 회지, 제24권, 제2호, pp. 53~55.
4. 정석호 외 4명, 2002, “폐식용유와 경유의 혼합유 사용에 의한 농업용 디젤기관의 성능”, 한국동력기계공학회, 2002년 춘계학술대회논문집, pp. 27~32.
5. 안수길 외 3명, 2003, “PXI와 LabVIEW를 이용한 디젤기관 연소압력의 온라인 분석”, 한국동력기계공학회, 2003년 춘계학술대회논문집, pp. 74~79.
6. 고대권 외 2명, 2003, “PXI와 LabVIEW를 이용한 디젤기관 연소압력의 계측 및 분석”, 한국동력기계공학회지, 제7권, 제3호, pp. 5~11.
7. 곽두영, 2002, “LabVIEW 컴퓨터 기반의 제어와 계측 Solution”, Ohm사.
8. 고대권, 2003, “부경대학교 기계공학부 기계시스템 공학전공 단기기술강좌-LabVIEW를 이용한 내연기관 연소압력 계측”, BK21 지역선도형 기계산업인력육성사업단 기계시스템산업인력육성사업팀.
9. 森棟 隆昭, 山口 元, 小西 奎二, 2000, “廢食用油燃料 ディーゼル機関の特性に関する研究”, 日本機械論文集, 第66巻, 641号, pp. 294~299.