Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 1, pp.152-157 (2008)

Copyright © 2008 KSAE
1225-6382/2008/091-21

바이오디젤 연료온도에 따른 분무 및 연소특성에 관한 연구

백 두 성*[1] · 이 성 욱[2]

대진대학교 컴퓨터응용기계설계공학과[1] · 국민대학교 기계자동차 공학부[2]

A Study on Spray and Combustion Characteristics by Temperature of Biodiesel Fuel

Doo Sung Baik*[1] · Seang Wock Lee[2]

[1]*Department of Computer-aided Mechanical Design Engineering, Daejin University, Gyeonggi 487-711, Korea*
[2]*Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea*
(Received 26 June 2007 / Accepted 30 August 2007)

Abstract : The biodiesel becomes one of the favorite alternative fuel applied to diesel engines. This research aims to understand the physics of spray and combustion characteristics of a biodiesel fuel in a constant volume chamber. For spray visualization, biodiesel was injected into a combustion chamber and a high speed camera was applied at various combustion conditions. To investigate heat-release rates and flame propagations, spark was ignited on a hydrogen fuel for the premixed combustion and then biodiesel was injected directly. In addition, parametric study was made by various geometries of combustion chambers and temperatures of fuels and injection pressures. This technology may contribute to improve the performance of bio-diesel engine and reduce emissions in future.

Key words : Biodiesel(바이오디젤), Constant volume chamber(정적연소기), Visualization(가시화)

Nomenclature

BD20 : 20% biodiesel blended with the baseline diesel fuel
BD100 : 100% biodiesel
Pamb : ambient pressure
Temp : temperature
HFRR : high-frequency reciprocating rig
CVC : constant volume chamber

1. 서 론

최근 고유가와 지구 환경문제가 국제 사회의 주요 이슈가 됨에 따라 이를 해결하기 위한 방안으로 다양한 대체에너지 개발과 환경오염에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 자동차 배출가스에 의한 대기오염의 저감은 매우 중요한 과제가 되고 있으며, 디젤기관의 경우 높은 열효율과 경제성 및 내구성면의 장점에도 불구하고 인체에 악영향을 미치는 NOx(질소산화물)와 PM(입자상물질), HC(탄화수소)등의 배출로 인하여 이를 저감고자 하는 연구가 진행되고 있다. 디젤엔진에서 유해 배출가스를 저감시키기 위한 노력의 일환으로 기존의 디젤연료에 비해 유황 성분이 적고 함 산소 연료인 바이오디젤 연료가 많은 주목을 받고 있다.[1-3)]

바이오디젤은 대체 에너지로서 기관개량 없이 디젤기관에 직접 적용할 수 있는 장점이 있고 CO, THC, SOx, PAHs 및 PM 등을 근본적으로 감소시킬 수 있다.[4)] 현재 적용 중인 바이오 디젤은 경유와 바이오디젤 비율을 8:2로 혼합한 BD20을 가장 많이

*Corresponding author, E-mail: dsbaik@daejin.ac.kr

사용하며 50%, 75% 및 순수 바이오디젤(100%)에 대해서도 많은 연구가 진행 중이다.[5,6]

바이오 디젤은 동식물로부터 생산할 수 있어 자연 순환적 연료이며 기존 디젤연료와 물리적인 성질이 비슷하거나 우수하다. 특히 세탄가(cetane number)의 경우, 평균적인 디젤 연료와 비교해서 높으며 산소를 포함하고 있고, 발열량이 유사하여 연료로 사용할 경우 동력성능은 그대로 유지하면서 배출가스를 줄이는데 기여할 수 있으리라 기대된다.

본 연구에서는 바이오 디젤의 친환경적인 면을 고려하여 정밀제어가 가능한 고압분사시스템에 바이오디젤 연료를 사용하여 바이오디젤의 분무 및 연소특성을 실험적으로 조사하였다. 특히 저온시 연료의 유동성에 문제가 있는 바이오 디젤의 연소특성을 알아보기 위해 연료의 온도를 -20°C도와 상온에서 실험을 하여 기존 디젤연료의 성능과 비교하여 바이오디젤 연료의 적용 특성을 규명하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용한 실험기기의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 정적연소기는 실제 엔진을 대상으로 하기 위해 대형엔진에 상응하도록 지름은 123mm,

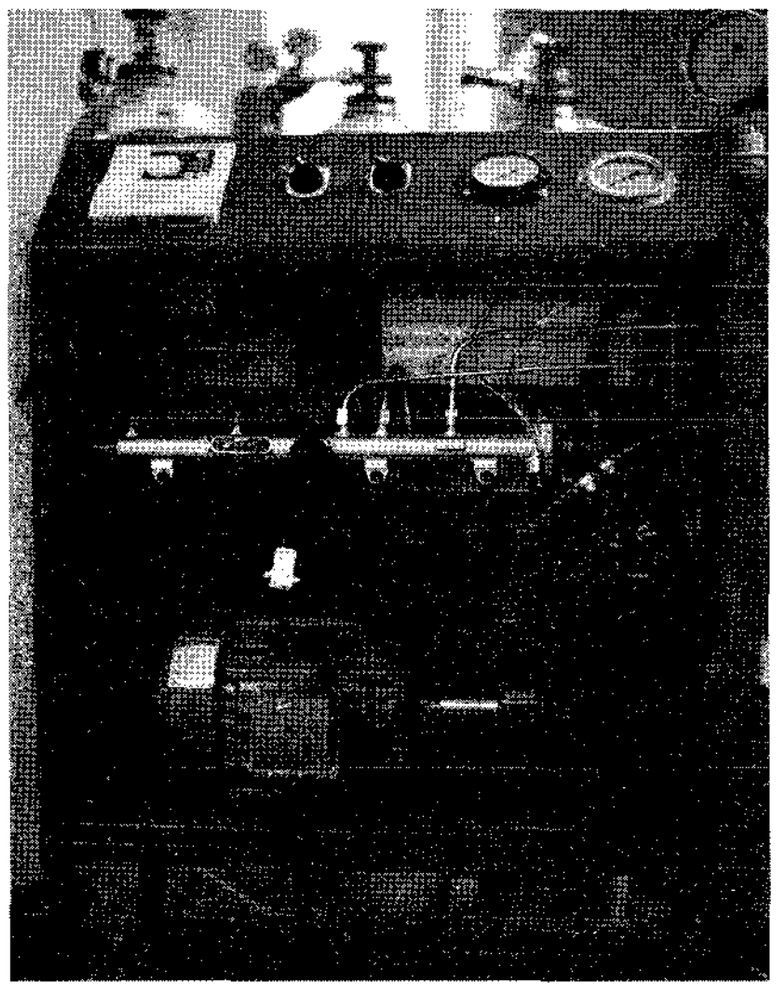

Fig. 2 High pressure injection system

폭은 30-140mm로 조절이 가능하도록 제작하였으며 연소기 주변에는 흡기밸브, 배기밸브, 압력센서, 점화를 위한 전극, 가스분사를 위한 인젝터가 장착되어 있다. 또한, 분무 및 연소가시화를 위해 양측에는 직경 153mm, 두께 40mm의 강화유리를 설치하였다.

고압분사 시스템은 고압형성을 위한 고압펌프, 고압연료를 축압하여 보내는 고압레일, 정밀제어를 위한 전자제어식 인젝터로 구성되어 있다. Fig. 2는

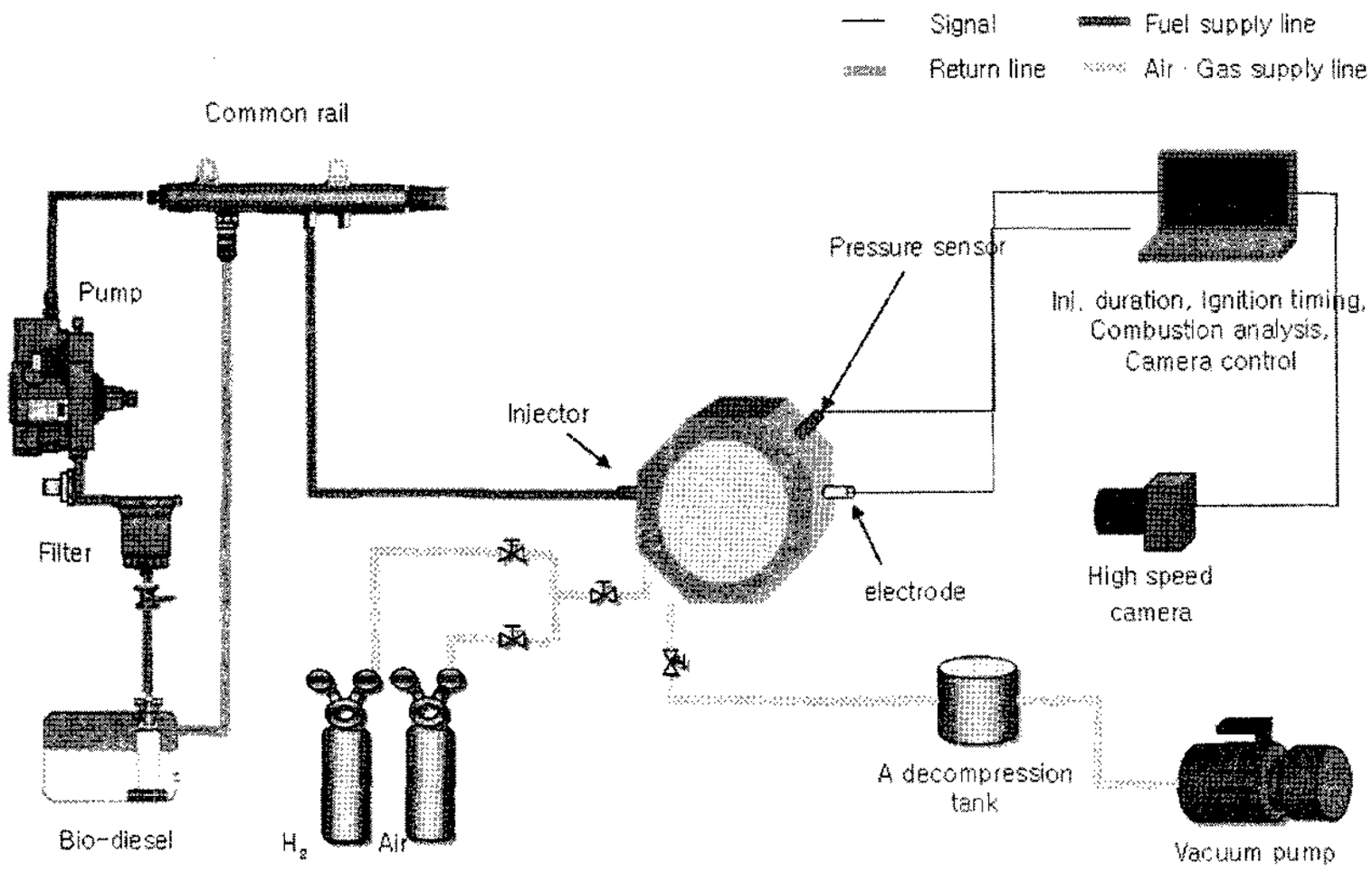

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 The specifications of test fuels

Properties	Diesel	BD20	BD100
Kinematic viscosity (mm^2/s)	2.73	2.92	4.12
Cetane index	43	46	47.5
Low heating value (MJ/kg)	43	42	40
Lubrication (HFRR, μm)	433	185	182

고압분사시스템의 사진을 보여주고 있다. 또한 인젝터 드라이버를 사용하여 연료 분사량 및 분사시기를 제어하였으며, 정적연소기내에서 압력 변화 측정을 위해 피에조식 압력센서를 사용하였다. 바이오 디젤의 온도 변화를 위해 항온조(Jeio Tech, Korea)를 이용하였다. Table 1은 바이오디젤의 물성치를 일반 경유와 비교하여 나타낸다.

2.2 실험방법

디젤엔진 내에서의 고온 고압 분위기 조건을 만들기 위해 수소를 예연소 연료로 사용하였다. 즉, 수소와 공기를 정적연소기 내에서 혼합, 스파크플러그에 의해 연소시킨 후 고온 고압 조건이 형성 되었을 때 바이오 디젤을 분사하여 분무 및 연소 과정을 가시화하였다.

바이오 디젤의 가시화 실험 조건으로는 분위기 압력은 2MPa, 분사 압력은 40MPa, 100MPa로 변화시켜 실험을 수행하였다. 인젝터의 분사기간은 1ms로 고정시켜 실험을 수행하였다.

바이오디젤의 온도를 -20°C부터 40°C까지의 온도 범위에서 온도 조절 센서(Pt-100Ω)와 제어기(PID)를 이용하여 ±0.1°C 이내에서 온도를 유지하였다. 연료통 내부의 온도 변화가 ±0.05°C이하로 맞추기 위해 30분간 평형상태를 유지하였다.

촬영에는 초고속 디지털 카메라를 사용하였으며 분무 촬영속도는 10,000fps, 연소 촬영속도는 3,000 fps로 설정하였다. 또한 피에조식 압력센서를 이용하여 압력변화를 측정한 뒤 연소를 해석하였다. 연소압력 데이터는 LabVIEW를 기반으로 하는 DAQ (Data Acquisition : DAQ Card-6024E)를 사용하여 수집하였다. 커먼레일 압력 조절과 인젝터 타이밍은 인젝터 드라이버를 사용하여 제어하였으며, 수소와 바이오 디젤의 점화시기, 촬영시기 등의 모든 신호는 CodeVision AVR C 언어를 사용하여 제어하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연료온도 및 분사압에 따른 분무특성

Table 2의 조건으로 분무의 연소기 하단까지 도달 시간을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 가시화 실험 결과로부터 얻은 분무 도달 거리를 분사 압력에 따라 나타낸 선도이다. 일정 분위기압 하에서 분사압을 증가시키면 분무속도가 빨라져 벽면으로의 도달시간이 짧아지는 것을 확인할 수 있다.

또한, 일반 디젤과 BD20은 정적연소기 벽면까지의 도달 시간에서 큰 차이가 없는 것으로 측정 되었으나 BD100의 경우 BD20 또는 디젤이 비해 높은 점도로 인해서 관통력이 다소 저하됨을 확인할 수 있었다.

Table 2 Test conditions

Fuel	Diesel, Bio Diesel 20
Ambient pressure (P_a, guage)[MPa]	2
Inj. pressure (P_j, gauge)[MPa]	40, 100
Ignition position	The center of CVC
Nozzle diameter dN[mm]	0.2

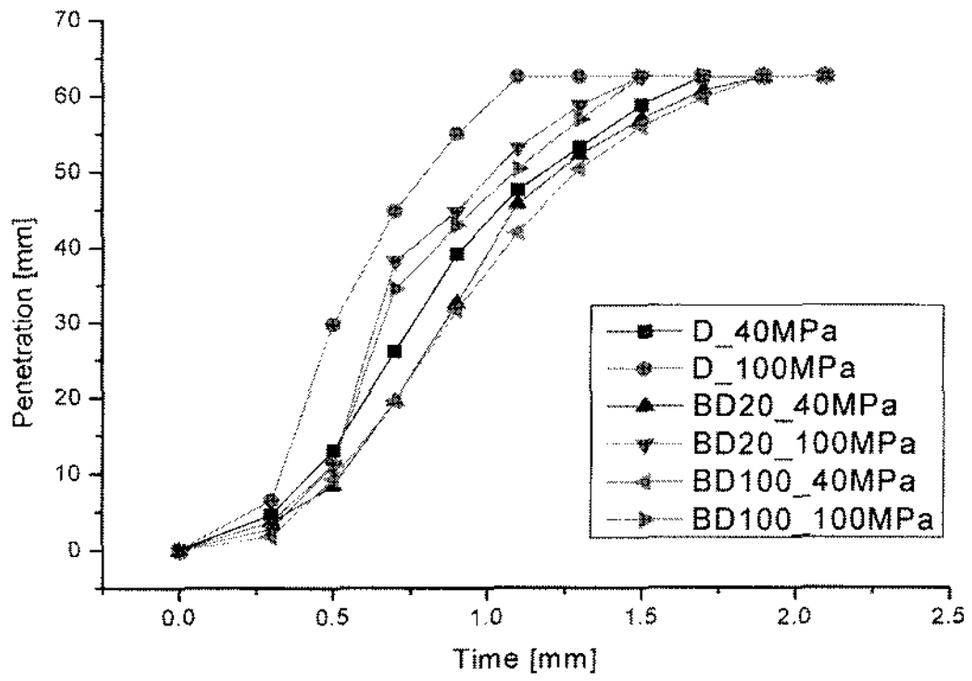

Fig. 3 Spray penetration between diesel and BD20 (Pamb=2MPa, Temp.= 20°C)

연료온도에 따른 분무특성을 계측한 결과, 연료온도가 -20°C인 경우에 바이오디젤의 관통력이 저하되는 것을 확인하였는데 이는 저온유동성의 악화로 인해 분무의 시작점과 발달과정에서 관통력이 약화된 것으로 판단된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 분사압력이 40MPa, 100MPa일

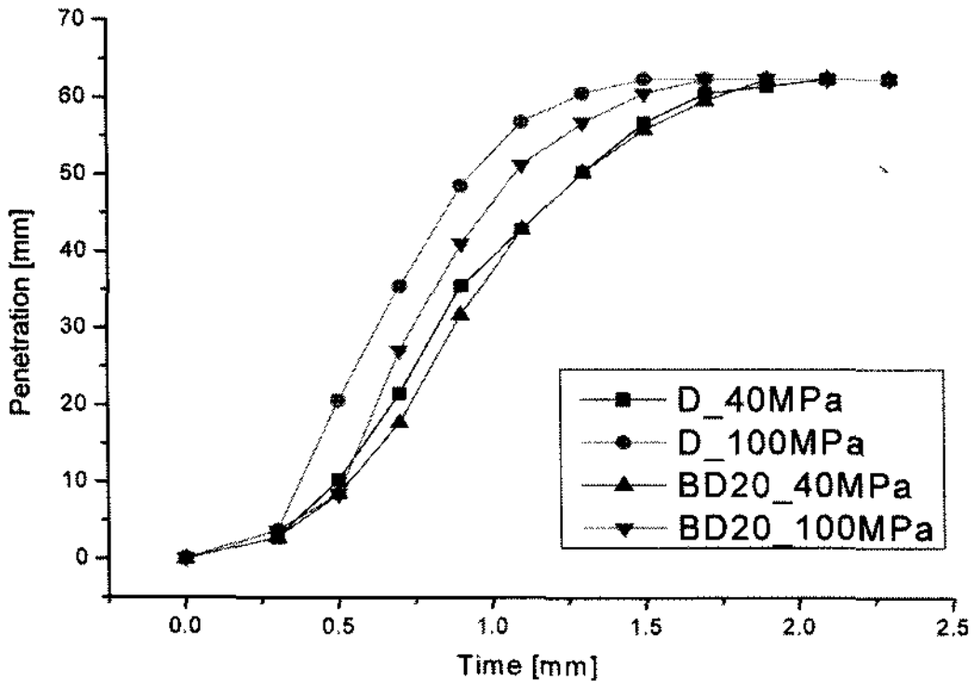

Fig. 4 Spray penetration between diesel and BD20 (Pamb=2MPa, Temp. = -20°C)

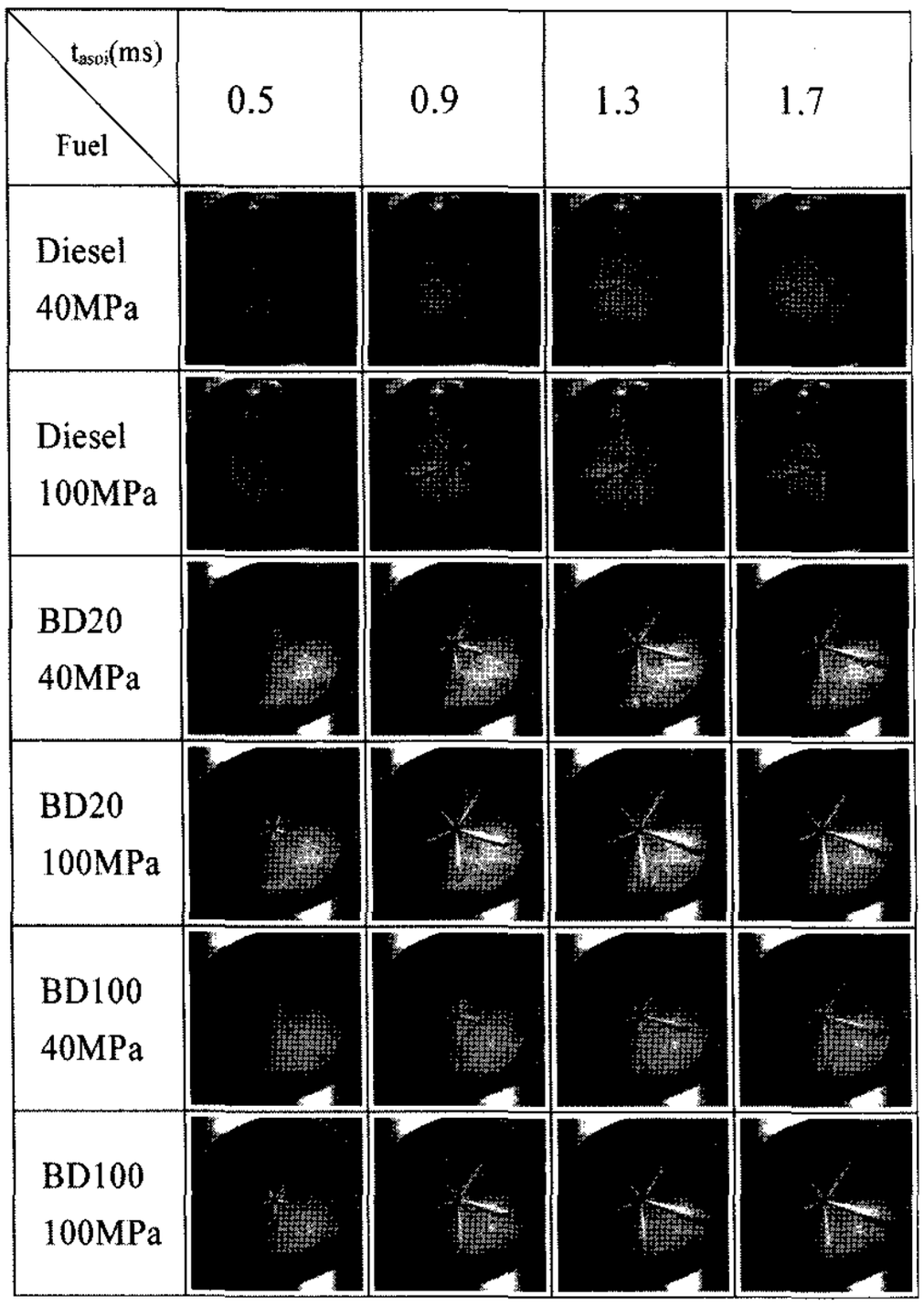

Fig. 5 Comparison of development process between diesel and BD20 (Pamb=2MPa, Temp.= 20°C)

때, 연료의 온도가 20°C와 -20°C일 때, 디젤과 바이오 디젤의 분무 발달과정을 분사 시작 후의 시간에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 나타나는 바와 같이 연료의 차이보다는 분사압력 변화에 따라 분무 발달 과정의 변화가 더 큰 것을 알 수 있었다. 40MPa에서 100MPa로 분사압력을 증가시켰을 때 디젤과 바이오 디젤 연료의 분무 도달 거리는 급격히 증가하

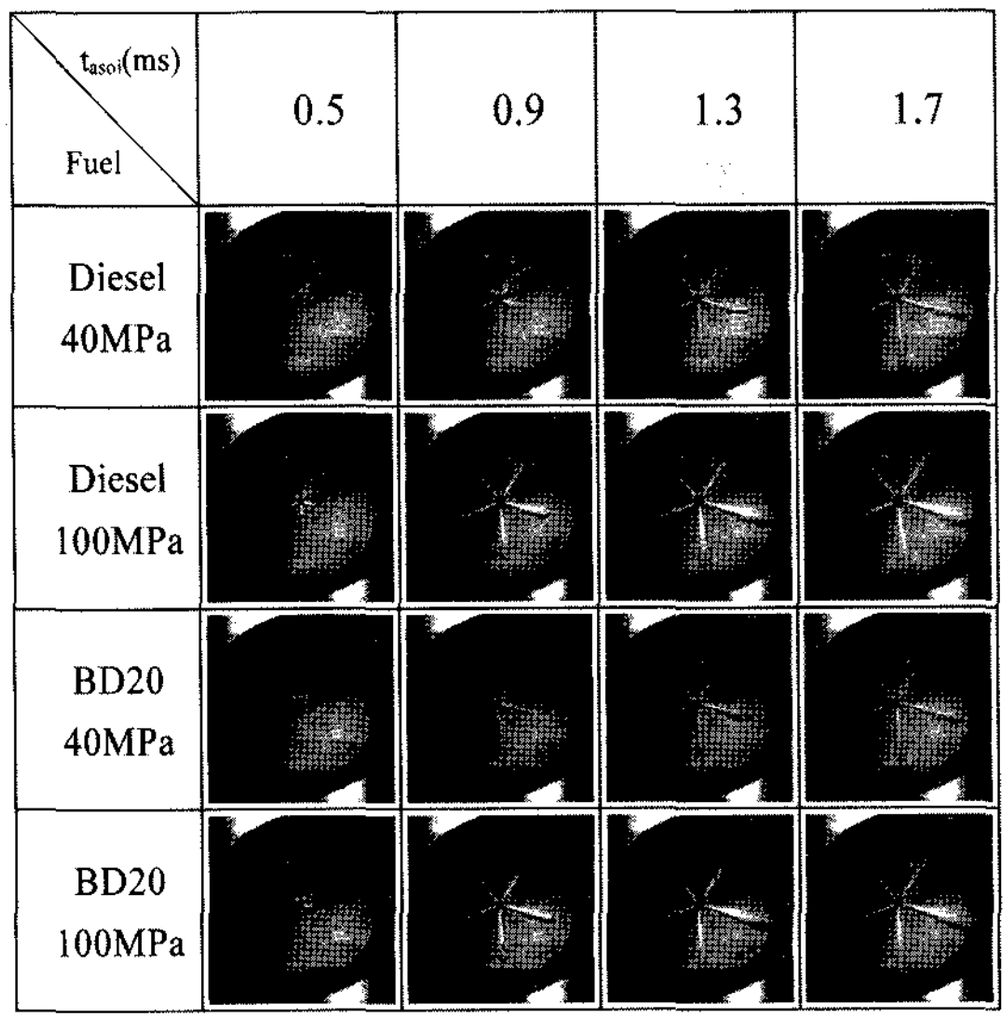

Fig. 6 Comparison of development process between diesel and BD20 (Pamb=2MPa, Temp.= -20°C)

고 분무 속도가 빨라지는 것을 알 수 있다.

BD20의 분무 발달 과정은 디젤 분무 발달 과정과 비슷하며 BD100은 디젤에 비하여 동점성도가 높아서 분사시 인젝터 노즐의 표면장력 등의 영향으로 분사 속도가 느린 것으로 나타났다. 연료 온도가 20°C와 -20°C인 경우에 분무 발달 과정을 비교하였을 때 디젤은 온도 변화에도 분무 발달 과정과 분무 속도의 변화가 없었는데 BD20은 온도가 -20°C가 되었을 때 분무 발달 과정과 분무 속도가 느려진 것을 확인하였다. 바이오 디젤의 저온유동성의 악화로 인하여 -20°C에서 분무 발달 과정이 더딘 것으로 판단된다.

3.2 연료온도 및 분사압력에 따른 연소 특성

전술한 분무 가시화 실험을 바탕으로 고온 고압의 조건을 만들어 주기 위해, 수소를 예비 연소로 사용하였다. 연소 후 정적 연소기 내 산소 농도가 20% 이상을 유지 하도록 수소, 산소, 질소를 주입하였으며 이때 디젤 및 바이오 디젤 연소가시화를 하였다. 디젤과 BD20, BD100의 연료, 분사압력 40MPa, 100MPa로 변환시키고, 연료 온도를 -20°C와 20°C 조건에서, 인젝터의 분사기간을 1ms로 일정하게 유지하였을 때 실험결과인 연소 가시화 사진과 압력 선도를 나타낸 것이다.

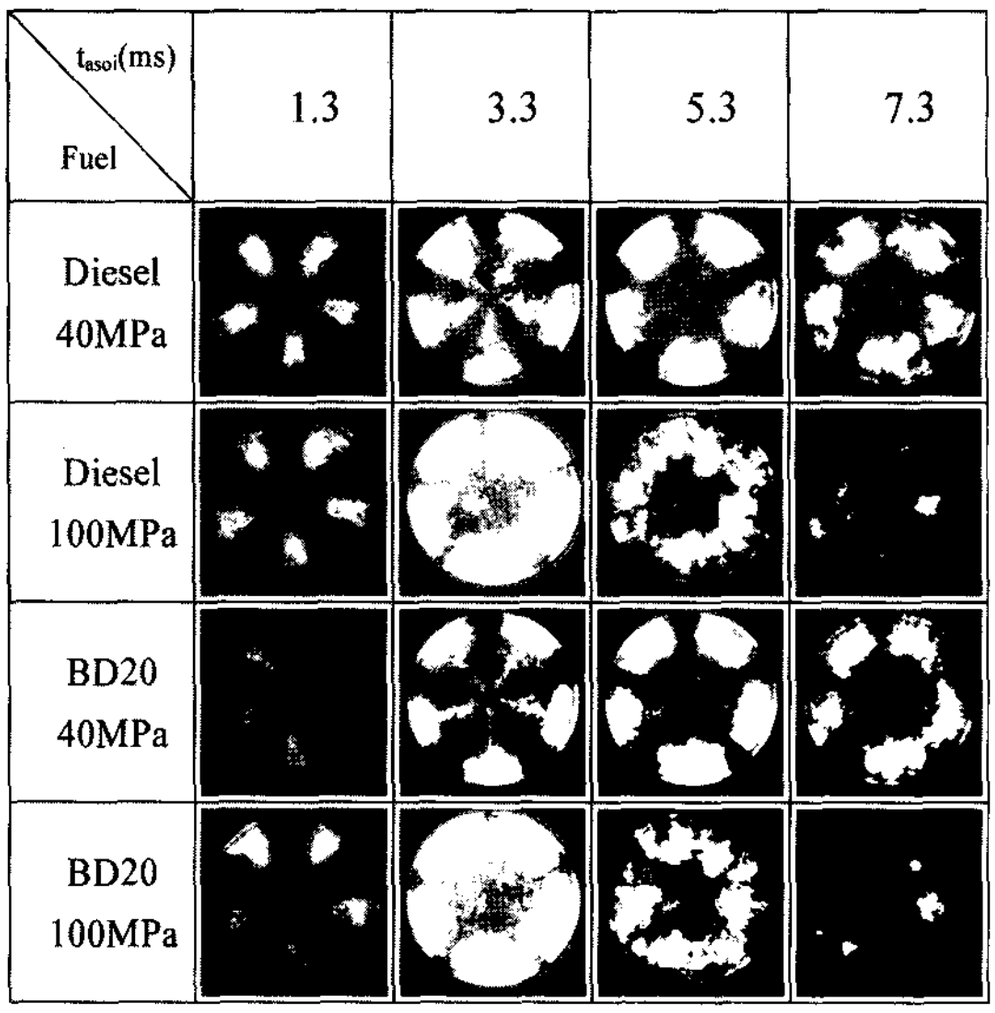

Fig. 7 Comparison of combustion between diesel and BD20 (Pamb=1MPa, Temp.= -20°C)

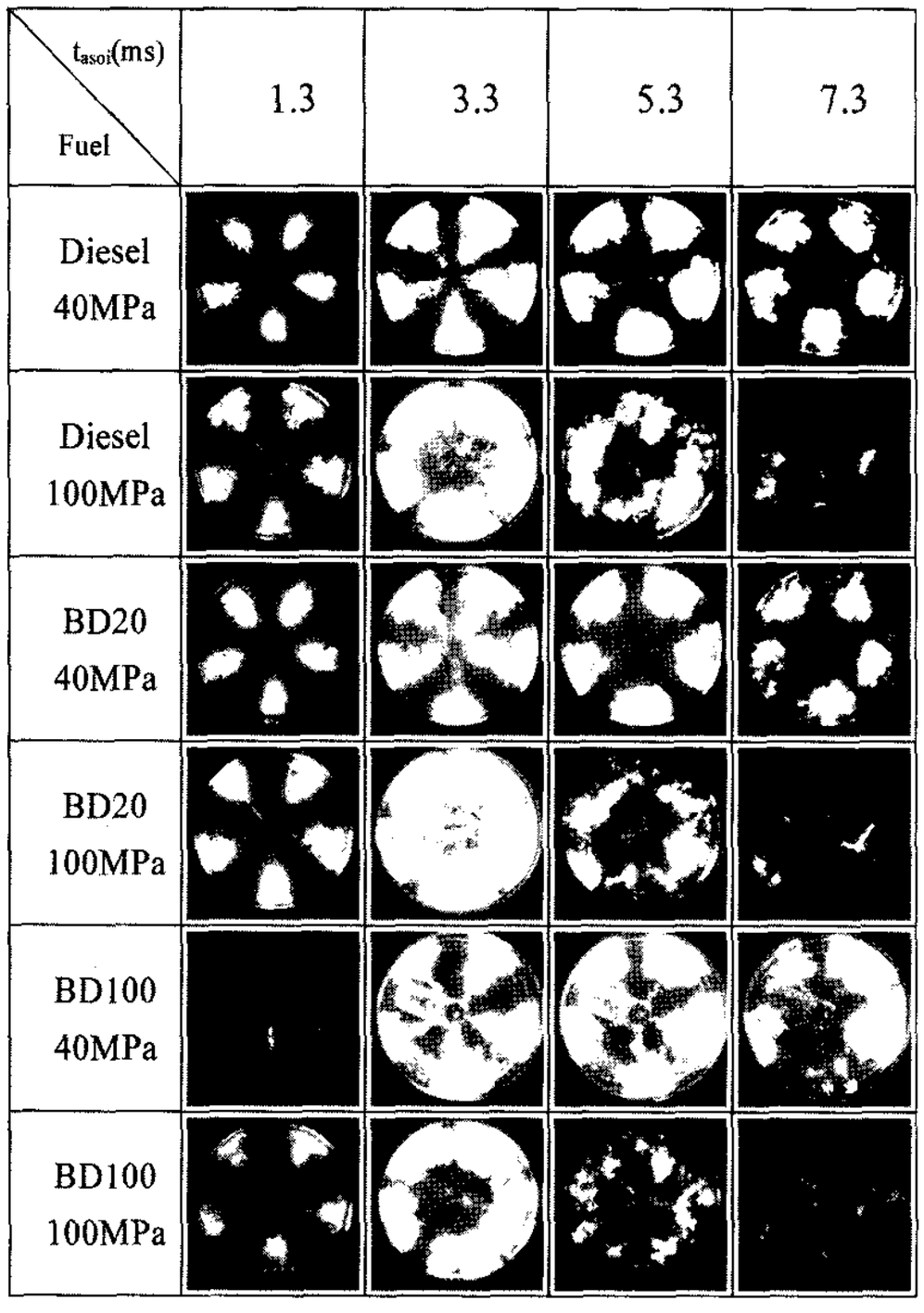

Fig. 8 Comparison of combustion between diesel and BD20 (Pamb=1MPa, Temp.= 20°C)

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 -20°C, 20°C 조건에서 디젤과 바이오디젤의 연소 상태를 나타내고 있다. 분무

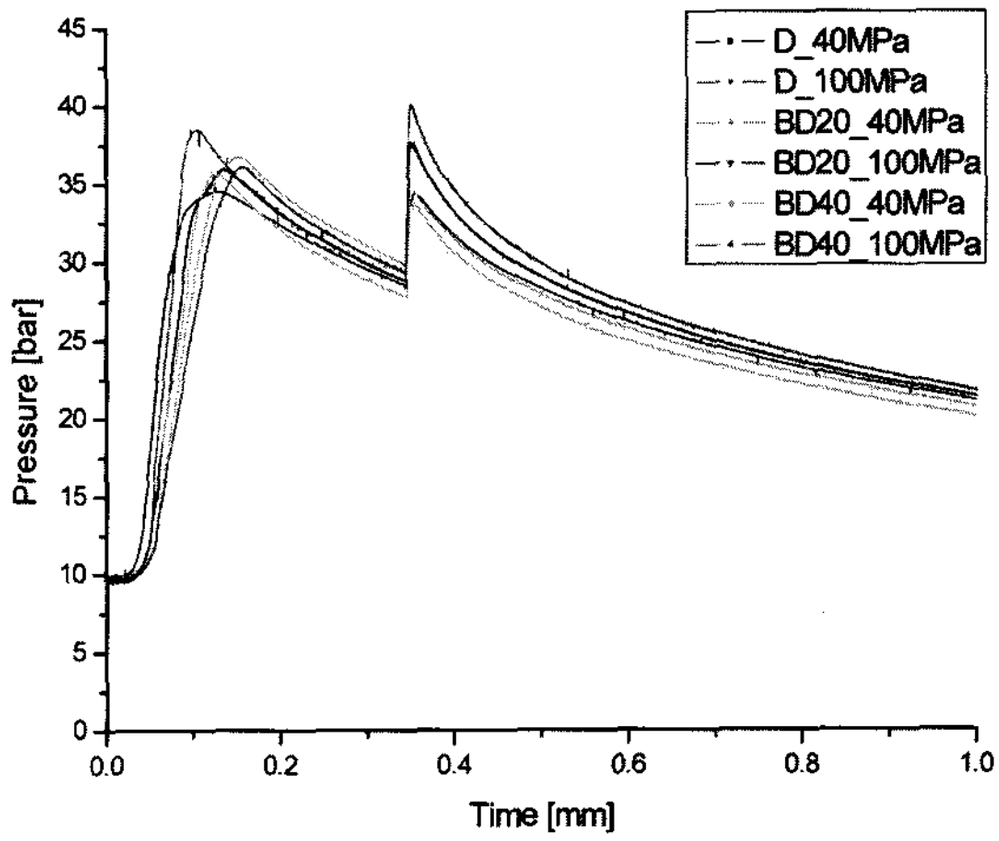

Fig. 9 Transition of pressure (Pamb=1MPa, Temp.= 20°C)

와 마찬가지로 연료의 차이보다는 분사압력 변화에 따라 연소 상태의 변화가 크게 변화하고 있음을 알 수 있었다. 즉, 100MPa에서 연료의 미립화가 촉진되어 연소 속도가 빠른 것을 확인하였다.

20°C에서 디젤과 BD20은 동일한 조건에서 연소 진행과정이 비슷한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다. BD100은 연소시점이 기존 디젤 및 BD20보다 다소 늦게 착화하지만 연료가 보유하고 있는 함산소량이 많아 연소 종료 시기는 비슷함을 알 수 있었다. 연료 온도가 20°C와 -20°C인 경우, 연소 과정을 비교하였을 때 디젤은 온도 변화에도 연소 상태에 큰 변화가 없는데 비해 BD20은 온도가 -20°C가 되었을 때 연소 상태에 변화가 있음을 알 수 있다. 즉, 바이오 디젤의 저온유동성의 악화로 인해 연소 속도가 다소 느려졌다.

Fig. 9에서 분사압력을 100MPa로 일정하게 유지하였을 경우 디젤보다 BD100의 연소압력이 약 0.4MPa 정도 증가함을 보였다. 이는 바이오 디젤 연료가 커먼레일을 통한 고압분사로 인하여 연료의 미립화가 향상되었고, 연료 자체 함 산소량이 디젤보다 높아 완전 연소를 촉진 시킨 것으로 판단된다.

분사 압력이 40MPa로 일정하게 유지하였을 경우 디젤과 BD20은 비슷한 압력 선도를 보여준다.

BD100은 디젤에 비해 압력이 낮게 나오는데, 동점성도가 높아서, 분사압력이 낮은 경우에 미립화를 촉진시키지 못하여 연소가 잘 이루어지지 않는 것으로 여겨진다. Fig. 10에서 연료온도가 -20°C인

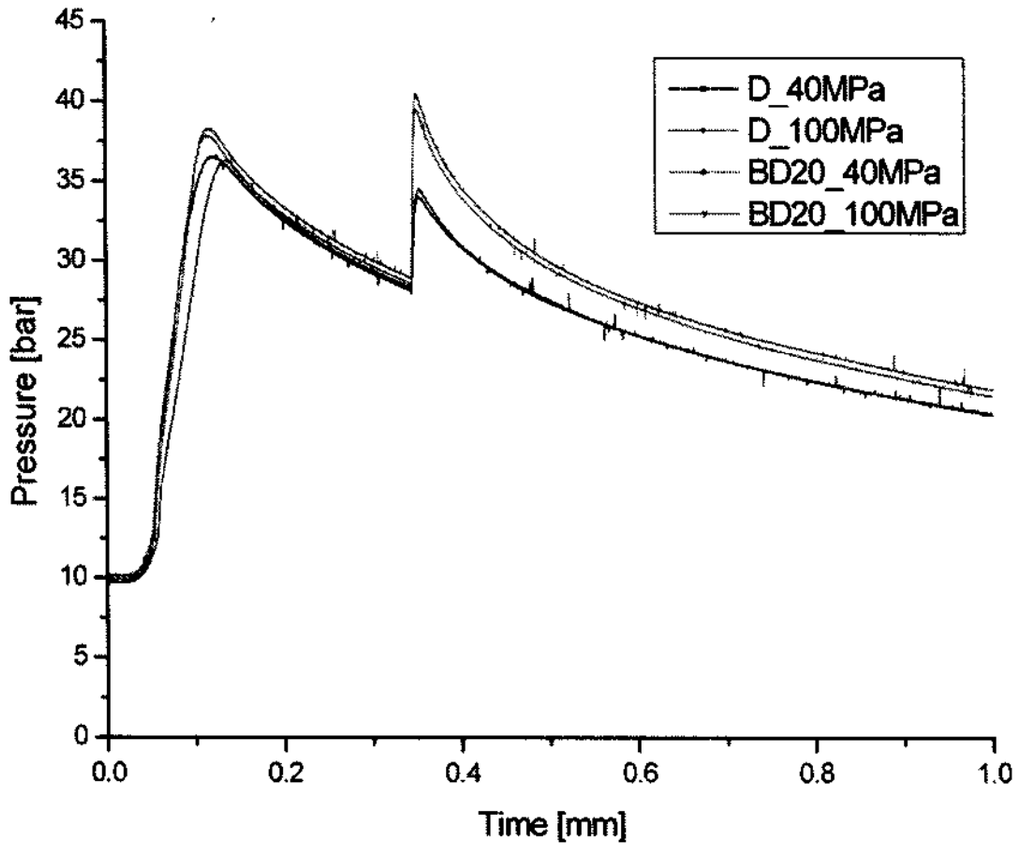

Fig. 10 Transition of pressure(Pamb=1MPa, Temp.= -20°C)

경우 20°C인 경우와 비슷한 최고 압력을 나타내는 것을 볼 수 있다.

분사 압력이 40MPa로 일정하게 유지하였을 경우 디젤과 BD20은 비슷한 압력 선도를 보여준다.

BD100은 디젤에 비해 압력이 낮게 나오는데, 동점성도가 높아서, 분사압력이 낮은 경우에 미립화를 촉진시키지 못하여 연소가 잘 이루어지지 않는 것으로 여겨진다. Fig. 10에서 연료온도가 -20°C인 경우 20°C인 경우와 비슷한 최고 압력을 나타내는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

바이오디젤의 연료온도에 따른 분무 및 연소 특성에 대해서 정적연소기와 고압분사시스템을 사용하여 연료의 온도와 분사 압력을 변화시키며, 분무 및 연소의 가시화로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 동일한 조건의 디젤연료의 실험 결과와 비교하여 디젤과 BD20의 분무 특성 및 연소 특성을 비교한 결과, 큰 차이를 나타내지 않았다.
2) 동일한 조건의 디젤연료의 실험 결과와 비교하여 저온에서 바이오디젤은 저온유동성의 악화로 분 무속도 및 연소시점이 다소 늦어지는 현상을 확인하였다.
3) BD100은 디젤과 비교하여 분무 및 연소시점은 느리지만 연소 종료 시점은 거의 유사하였다.
4) 100MPa 분사의 경우 바이오디젤이 디젤보다 연소 압력이 다소 높게 나타났다.

후 기

본 논문은 2007년도 대진대학교 학술연구비지원에 의한 것임.

References

1) Y. T. Seo, H. K. Suh, S. H. Bang and C. S. Lee "A Study on the Injection Characteristics of Biodiesel Fuels Injected through Common-rail Injection System," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.570-575, 2006.
2) J. Senda, N. Okui, T. Suzuki and H. Fugimoto "Flame Structure and Combustion Characteristics in Diesel Combustion Fueled with Bio-diesel," SAE 2004-01-0084, 2004.
3) S. H. Yoon, M Y Kim, J. W. Whang, H. S. Jeon and C. S. Lee, "Combustion Characteristics of Biodiesel with Injection Parameters in a Common-rail Diesel Engine," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.516-521, 2006.
4) S. H. Yoon, S. G. An, M. Y. Kim, S. I. Kwon and C. S. Lee, "Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel in a DI Diesel Engine," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.698-704, 2005.
5) C. A. Sharp, S. A. Howell and J. Jobe, "The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part 1 Regulated Emissions and Performance," SAE 2000-01-1967, 2000.
6) D. Y. Chang, "Determination of Particulate and Unburned Hydrocarbon Emissions from Diesel Engines Fueled with Biodiesel," SAE 982527, 1998.