

세탄가 향상 혼합 연료에 따른 디젤 연료의 분무 및 연소특성에 관한 연구

김지훈* · 이성욱† · 이한승* · 최정황* · 이영철* · 조용석**

The Spray and Combustion Characteristics by the Ratio of Cetane Number Enhancing Additives in Diesel

J. H. Kim, S. W. Lee, H. S. Lee, J. H. Choi, Y. C. Lee and Y. S. Cho

Key Words: Constant volume chamber(정적연소기), Hydrogenated biodiesel(수소첨가바이오디젤), Cetane number (세탄가), Spray(분무), Combustion(연소)

Abstract

In this research, combustion and spray characteristics were investigated experimentally in a constant volume chamber by applying different composition rates of cetane number in diesel fuel to a common-rail system. For the visualization, the experiment was carried out under different injection pressures and different cetane number. The test was done by three different types of diesel fuels, the different composition rates of cetane number in diesel fuel and HBD. In summary, this research aims to investigate the combustion characteristics in the application of fuels and compare the results with performance of conventional diesel fuel. This experimental data may provide with fundamentals of the development of diesel engines in future.

1. 서 론

현재 내연기관의 주 연료로는 가솔린과 디젤연료가 가장 일반적으로 사용되고 있으며, 디젤기관은 가솔린 기관에 비해 열효율이 높아서, 산업용의 동력원으로서 많이 사용되고 있다. 하지만 유해물질인 NO_x와 PM이 동시에 배출되는 문제로 환경에 심각한 우려가 되고 있다. 따라서 이에 대한 대응방안으로 자동차기관의 성능뿐만 아니라 연료를 개질화 하여 디젤분무 및 연소 특성의 연구가 이루어지고 있다.⁽¹⁻²⁾

한편, 세계 각국은 유해배출가스를 저감하기 위하여

배출가스 규제를 갈수록 강화하고 있으며 국내 규제치 또한 선진국 수준으로 크게 강화되고 있다.⁽³⁾

세탄가(Cetane Number)는 연료의 자기착화성을 나타내는 지표로서 압축착화기관인 디젤엔진의 안티노크(antknoc)성에 크게 관계하고 있다. 일반적으로 디젤연료 중 세탄가를 높이기 위해서는 세탄가향상제인 연료첨가제를 주입하는 경우가 있다. 또한 현재 시중에서 판매되고 있는 경우에는 바이오디젤(Biodiesel)이 1%정도 함유되어 있으며 바이오디젤의 경우 일반디젤연료보다 세탄가가 높아 바이오디젤에 따른 세탄가 향상도 일부 영향을 받는 것으로 조사되고 있다.⁽⁴⁾ 즉 합산소 연료를 상용경유와 혼합하는 방법 세탄가 개선제의 첨가 등과 같은 방법이 제시되고 있다. 이러한 합산소 연료에는 다양한 종류가 산재해 있다.⁽³⁻⁶⁾ 따라서 본 연구에서는 정적연소기를 통해 디젤연료에 세탄가 향상제 2-EHN(2-ethylhexyl nitrate)를 혼합한 디젤과, HBD를 혼합하여 연소실에 고압 압축분사(60 MPa, 100 MPa)

(2009년 6월 09일 접수 ~ 2009년 6월 22일 심사완료)

*국민대학교 자동차공학전문대학원

**국민대학교 기계자동차공학부

†책임저자, 회원, 국민대학교 기계자동차공학부

E-mail : energy@kookmin.ac.kr

TEL : (02)910-4819 FAX : (02)910-4718

하여 일반적인 디젤과 비교하여 세탄가 향상제 혼합연료에 따른 분무 및 연소와 배출가스의 특성을 관찰하고자 연구를 진행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

세탄가 향상 혼합 연료에 따른 연료의 분사 및 연소 현상을 가시화하기 위하여 실제 증소형 디젤기관과 유사한 조건으로 보어 86.2 mm, 폭 39 mm인 정적연소기를 제작하였다. 정적연소기 주변에 고속 디지털 카메라를 설치하여 연료의 분무 및 화염의 확산 형상을 실사 촬영하였다. 또한 정적연소기 주변장치로 흡배기밸브, 압력센서, 스파크 플러그를 장착하였고, 실사 촬영을 위해 양측에 직경 120 mm, 두께 25 mm의 강화유리를 설치하였고, 4개의 카트리지 히터를 정적연소기 벽면에 설치하여 벽면 온도를 50°C로 유지하였다. 연소기 내부 잔류 가스는 진공펌프와 감압탱크를 이용하여 제거하였으며, 본 연구에서 사용한 실험 장치 조건은 Table 1에 나타내었고, 실험기기의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental condition

Bore × Stroke (mm)	86.2× 9
Displacement (cm ³)	228
Fuel Delivery	Direct injection
Injection pressure (MPa)	60, 100
Injection duration (ms)	2.5
Ambient O ₂ concentration	2% vol. (spray) 21% vol. (combustion)

2.2 실험방법

세탄가 향상제 혼합 연료의 가시화 실험 조건으로는 일반 상용 디젤과 유사한 분위기 조건인분위기 압력 2.0 MPa, 분사 압력은 60 MPa, 100 MPa로 변화시켜 실험을 수행하였으며, 인젝터의 분사시간은 2.5 ms로 고정시켰다. 가시화에는 초고속 디지털카메라를 사용하였으며, 촬영속도는 4,000 fps로 설정하였고, 지속광원을 유지 하였다. 또한, 피에조식 압력센서를 이용하여 압력변화를 측정한 뒤 그에 따른 열 발생율을 구하여 연소를 해석하였다. 연소압력 데이터는 LabVIEW를 기반으로 하는 DAQ를 사용하여 수집하였고 연료의 분사, 점화시기, 촬영시기 등의 모든 신호는 CodeVision

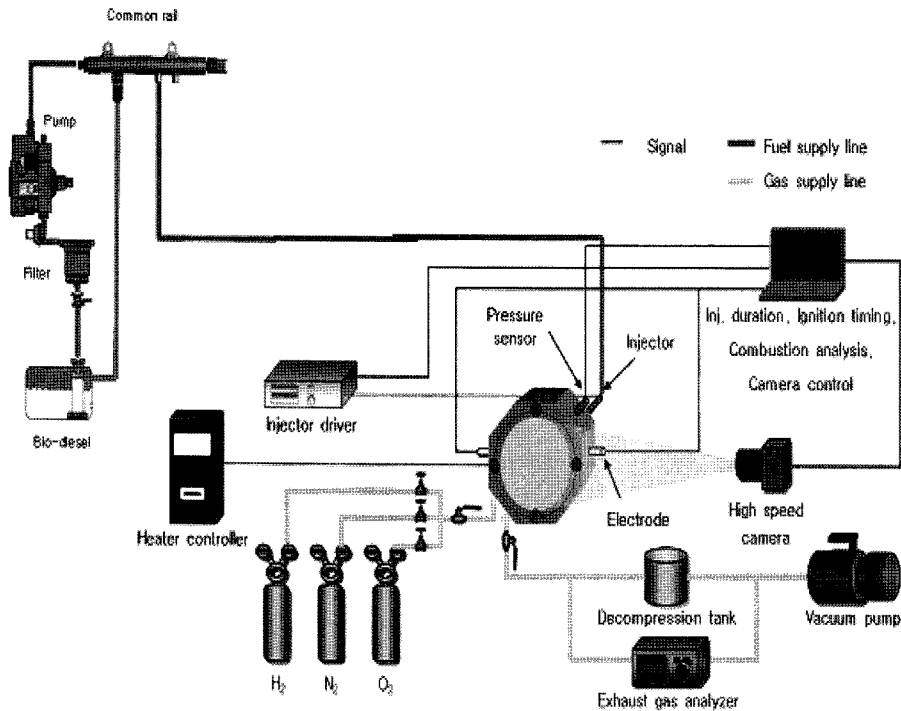


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

소를 하기 위해, 수소, 산소와 질소를 예 혼합 연소시킨 후 고온 고압 조건이 형성 되었을 때 연료를 분사하여 분무 및 연소 발달 과정을 가시화하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 분무 가시화 실험결과

정적연소기 내에서의 세탄가향상제 혼합연료의 분무 가시화 결과를 Fig. 2~5에서 나타내었다.

2-EHN 혼합연료와 Base Oil의 분무 가시화 결과를

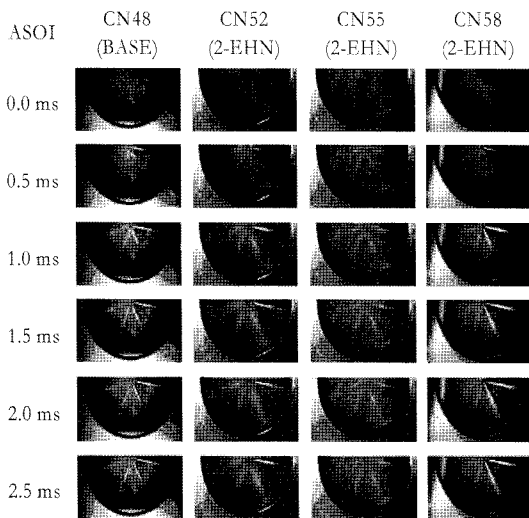


Fig. 2 Spray visualization of 2-EHN at 60 MPa

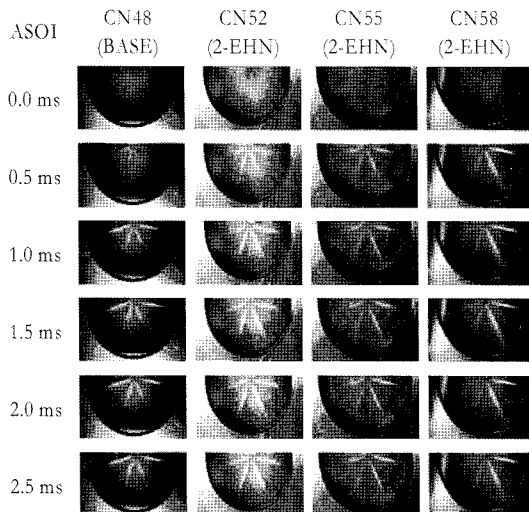


Fig. 3 Spray visualization of 2-EHN at 100 MPa

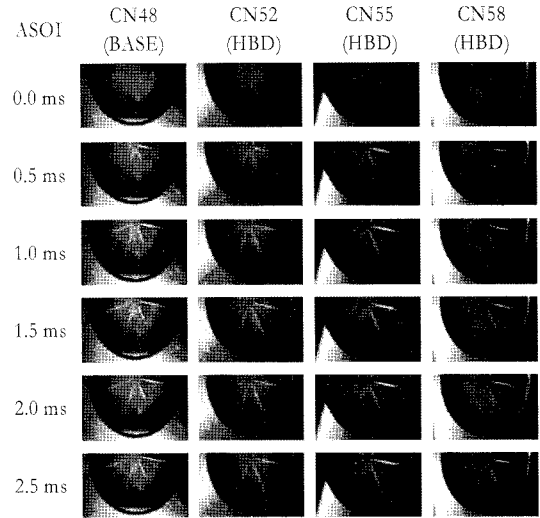


Fig. 4 Spray visualization of HBD at 60 MPa

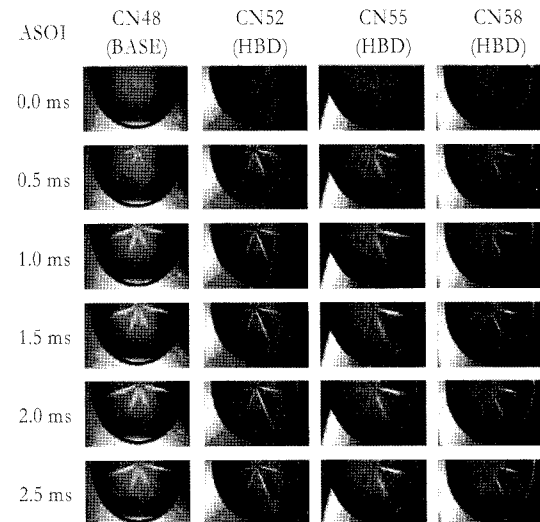


Fig. 5 Spray visualization of HBD at 100 MPa

비교해 본 결과 관통거리나 분무각에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 분사 압력이 증가함에 따라 분무 발달 과정이 빨라지고 연소기 하단으로 액적 분류의 도달 시간이 빨라진 것을 확인할 수 있었다.

분사압력 60 MPa, 100 MPa에서 HBD 혼합연료와 Base Oil의 분무 가시화 결과를 비교하였을 때, 관통거리나 분무각에서 큰 차이를 보이지 않았고, 분사압력 증가에 따라 분무 발달 과정이 빨라졌으며, 연소기 하단으로 액적 분류의 도달 시간이 빨라진 것을 확인할 수 있었다.

3.2 연소 가시화 실험결과

2-EHN 혼합연료와 Base Oil을 비교하였을 때, CN52 연료의 연소가 먼저 시작되었으며, 혼합비를 높아짐에 따라 연소반응은 더 늦어짐을 알 수 있었다 또한, 분사 압력 60 MPa에 비해 연소반응 속도는 더 빨라졌다. 연소 가시화 결과, 분사압력 증가로 인해 연료의 미립화 촉진으로 연소 반응이 더 빨라진 것으로 판단되어 진다. 또한, 화염은 분무방향으로 발달하다 벽면과 충돌 후 연소실 전체로 확산되고 있음을 알 수 있다.

HBD 혼합연료와 Base Oil과 비교하였을 때, HBD 혼합 비율이 상승함에 따라 착화가 더 빨리 일어났으며, HBD의 혼합비율 더 커질수록 연소 반응도 더 빨

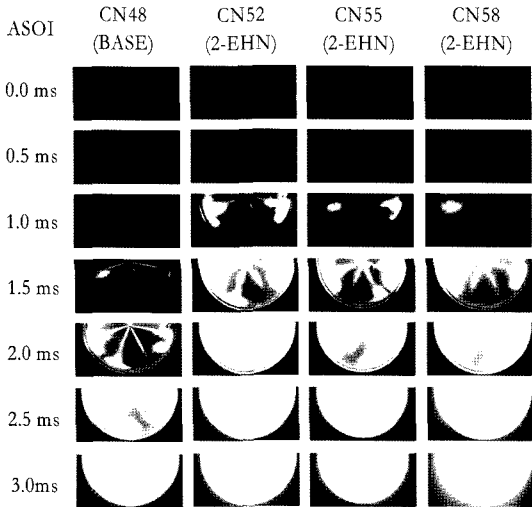


Fig. 6 Combustion visualization of 2-EHN at 60 MPa

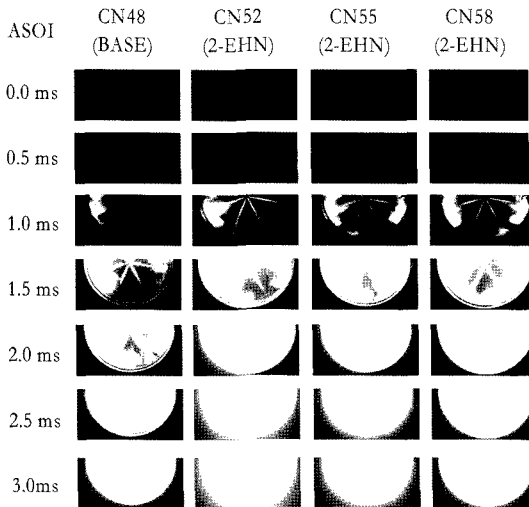


Fig 7 Combustion visualization of 2-EHN at 100 MPa

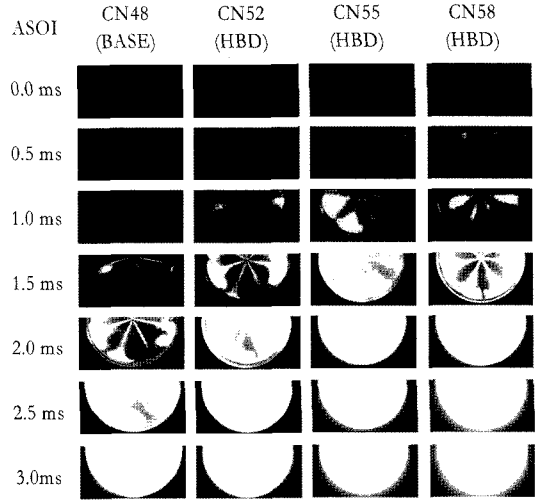


Fig. 8 Combustion visualization of HBD at 60 MPa

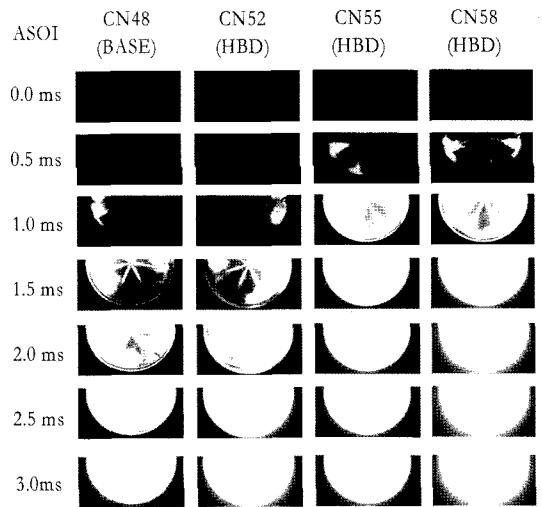


Fig 9 Combustion visualization of HBD at 100 MPa

라졌다. 또한, 연료 분사압을 높임으로써 분무 상단에 서부터 착화가 시작되고 있다. 이는 무화 촉진으로 인해 증발이 빠르고 주위 공기와의 혼합이 원활히 이루어졌기 때문인 것으로 추측된다.

3.3 연소 해석 결과

자발착화의 현상은 상당히 복잡한 물리화학적 과정의 일련의 과정으로 이루어진다. 각 과정의 상대적 중요성은 주위 조건, 연료 상대량 그리고 공기-연료 혼합기가 어떻게 마련되는지에 좌우된다.⁽⁵⁾ Fig. 10~13에서는 세탄가에 따른 압력선도 및 열 발생률을 보여주고 있다.

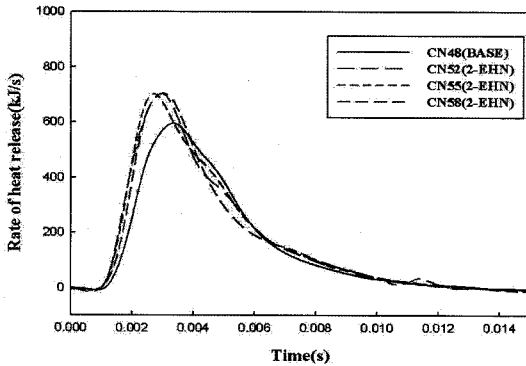


Fig 10 Rate of heat release for 2-EHN at 60 MPa

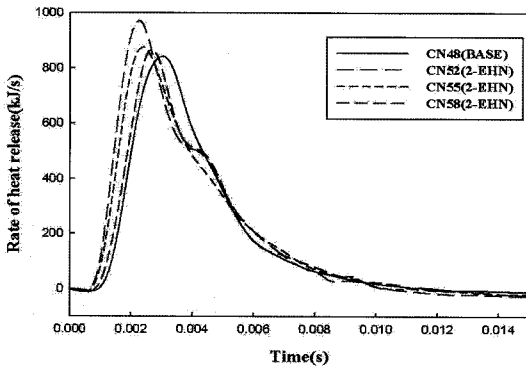


Fig 11 Rate of heat release for 2-EHN at 100 MPa

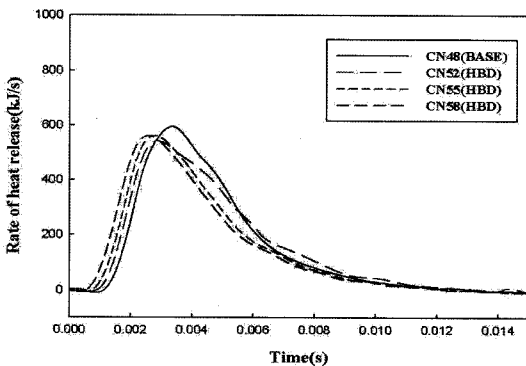


Fig 12 Rate of heat release for HBD at 60 MPa

Figure 10~11에서 2-EHN 혼합 연료가 Base Oil에 비해 먼저 열을 발생한 것으로 보아 착화가 먼저 일어났다고 판단 할 수 있었다. 연소 해석 결과, 2-EHN의 비율이 증가함에 따라 세탄가 지수는 향상 되지만 실험 결과, 2-EHN의 비율이 증가할수록 착화지연이 길어지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 2-EHN 혼합으로 인해 세탄가 이외에 연료의 물리적, 화학적 물성치 변화에 따른 것으로 판단되어진다.

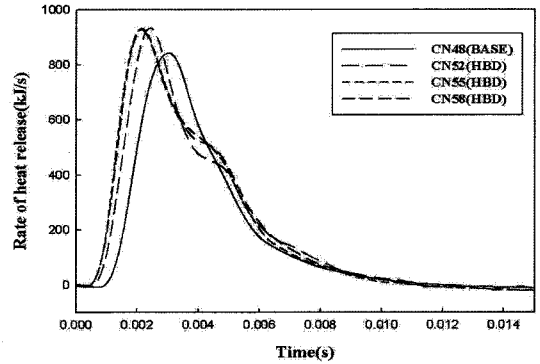


Fig 13 Rate of heat release for HBD at 100 MPa

Figure 12~13에서는 Base Oil에 비해 HBD 혼합 연료가 착화지연기간이 짧아지는 것을 확인 할 수 있었고, HBD 혼합비율이 증가 할수록 착화지연기간은 더 짧게 나타났다. 또한, 60 MPa에서 열 발생률은 Base Oil보다 미세하지만, 낮은 경향을 보였고, 100 MPa에서는 HBD 연료가 더 많은 열을 발생하였다. 또한, HBD 혼합 비율이 높아짐에 따라서 열 발생률은 거의 차이를 보이지 않았다.

4. 결 론

정적연소기와 커먼레일 시스템을 사용하여 세탄가 향상 혼합 연료에 따른 디젤 연료의 분무 및 연소특성에 대해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고온 고압 하에서 각 세탄가 향상제 첨가 연료별 분무 가시화 결과, 분사된 연료의 관통거리 및 분무각 등의 분무 특성에는 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 분사압력 변화에 따라 연소기 하단까지 액적 분류의 도달 시간이 단축됨을 확인하였다.

2. 연소 가시화 실험 결과, 고압 분사 시 무화촉진으로 인하여 연소특성이 향상되었고, 연소기 상단과 하단에서도 빠른 착화가 일어났다. 이는 고압 분사 시 연료의 미립화와 관통거리가 길어져 공기와 연료 혼합을 촉진시켜 착화 성능 향상 효과를 낸 것으로 판단된다.

3. HBD 혼합 비율이 높을수록 착화지연기간은 짧아졌고, 열 발생율은 큰 차이를 보이지 않았다. 반면에 2-EHN 혼합 비율이 커질수록 착화지연기간은 길어졌는데, 이는 세탄가 이외의 연료의 물리적, 화학적 물성치 변화에 따른 것으로 판단되며, 이에 관한 상세한 조사가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 환경부 및 국립환경과학원 교통환경연구소지원 “연료조성 변화에 따른 배출가스 특성연구”로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Journal of Energy Engineering, Vol. 16, No. 3, pp. 2007, 120~127.
- (2) Akihama, K.; Fujikawa, T.; Hattori, Y. “Simultaneous laser-induced fluorescence measurements of in-cylinder fuel behavior of different boiling point components”, Proc. 15th Internal Combustion Symposium, Seoul, 1999, 577.
- (3) Y. C. Han and D. J. Kim, “Internal Combustion Engine”, 1998, pp.179~203, pp.259~262.
- (4) Y. S. Yim, “Study on Vehicle Exhaust Emission Pollutants”, 2008, pp.75.
- (5) J. B. Heywood, “Internal combustion engine fundamentals”, p. 544, McGraw-Hill, Inc., 1988.
- (6) H. Raheman and S. V. Ghadge, “Performance of Diesel Engine with Biodiesel at Varying Compression Ratio and Ignition Timing,” Fuel, Vol. 87, Issue 12, 2008, pp.2659-2666.