

비에스테르화 바이오디젤유의 분무거동에 대한 실험적 연구

최승훈* · 오영택†

Experimental Study on the Spray Behavior of Non-Esterification Biodiesel Fuel

S. H. Choi and Y. T. Oh

Key Words: Non-esterification biodiesel fuel(비에스테르화 바이오디젤유), Spray tip penetration(분무선단도달거리), SMD(사우터 평균입경), Atomization(무화)

Abstract

Biodiesel fuel has different spray patterns, because viscosity and surface tension of biodiesel fuel are higher than that of diesel fuel. The diesel combustion is strongly controlled by the fuel spray behavior in combustion chamber. So, it was needed to understand the spray characteristics of non-esterification biodiesel fuel. In this study, the spray characteristics of non-esterification biodiesel fuel was investigated to confirm of an effect of WDP. The characteristics of fuel atomization was analyzed with SMD and span factor through laser diffraction particle analyzer (LDPA), and the process of spray injection was visualized through the visualization system composed of a halogen lamp and high speed camera. It was found that injection delay time and SMD of blended fuel with WDP get shorter and smaller than that of non-esterification biodiesel fuel.

1. 서 론

디젤기관은 다른 기관에 비해 높은 열효율과 내구성 등으로 인하여 여러 분야에서 다양한 목적으로 사용하고 있다⁽¹⁾. 그러나 세계적으로 환경오염에 대한 관심이 집중되면서 디젤기관의 매연과 이산화탄소는 환경오염을 일으키는 주범으로 인식되고 있으며, 석유에너지 매장량의 한계로 인하여 석유에너지를 대체하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 디젤연료의 대체 연료로서 바이오디젤유 연구는 배기가스와 엔진내구성, 연료분무 실험 등의 연구가 진행되고있으며, 유럽을 비롯한 해외에서는 경유와 바이오디젤유를 혼합한 연료의 사용⁽³⁾이 증가하고 있다. 바이오디젤유는 연료자체에 산

소를 함유하고 있기 때문에 기관 내에서 연소를 개선하여 다양한 배기가스 등을 저감⁽²⁻³⁾하는데 효과가 있지만, 바이오디젤유의 높은 점도로 인하여 저온유동점이 높기 때문에 순수 바이오디젤유를 동절기와 같은 저온상태에서 사용하는데 어려움이 있다. 이러한 고점도는 인젝터와 기관의 내부에서 마찰손실과 미립화에 악영향을 주는 것으로 보고되고 있다⁽⁴⁻⁵⁾. 이를 해결하기 위하여 바이오디젤유에 IPA, 에탄올 등의 연료첨가제를 혼합하는 연구가 진행되고 있다. Park⁽²⁾ 등은 바이오디젤유에 에탄올을 혼합할 경우 연료의 점도가 감소하고, 점화 지연 시간이 짧아지며, 액적의 입경이 작아진다고 보고하고 있다.

또한, 기존의 바이오디젤유는 제조과정에서 정유회사에서 대량생산되는 경유와 비교하여 상대적으로 높은 생산단가를 요구하게 되어 상용화하는데 많은 어려움이 있었다. 본 연구에서 사용되는 비 에스테르화 BDF는 촉매처리공정에서 발생하는 글리세린의 처리비용과 생산단가의 20%를 차지하는 메탄올을 사용하지 않으므로

(2009년 8월 28일 접수 ~ 2009년 9월 10일 심사완료)

*전북대학교 공과대학 기계공학과

†책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학과, 공업기술연구소

E-mail : ohyt@chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2323 FAX : (063)270-2315

기존 바이오디젤유의 높은 생산단가로 인한 문제점을 해결에 기여할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 상용 경유와 비에스테르화 바이오디젤유(Non-Esterification Biodiesel Fuel, 이하 BDF)와 WDP(Water Dipole Power)를 혼합한 연료의 혼합비율과 분사압력에 따른 분무거동을 LDPA와 고속카메라를 통하여 비교분석 하였다. 여기에서 WDP는 일본의 (주)TEMPER에서 제조한 연료 첨가제로서 비 에스테르화 바이오디젤유의 점도를 낮출 수 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 연료

본 실험에 적용한 연료는 상용 경유와 팜유로부터 추출한 BDF 그리고 연료첨가제인 WDP를 혼합하여 제조하였다. 비 에스테르화 바이오디젤유는 에스테르화 과정을 거치지 않아 메탄올 사용이 생략되었으며 일반 바이오디젤유 생산시 필연적으로 생성되는 글리세린의 배출을 방지할 수 있어 BDF 자체가 가지고 있는 연료의 순 발열량에도 효과적인 BDF의 일종으로 Table 1에 상세내용을 나타내었다.

BDF의 분무거동을 분석하기 위해 분무시스템을 Fig. 1과 같이 구성하여 본 연구를 수행하였으며, 실험 장치는 인젝터와 인젝터 구동부, 연료공급 장치, 분무 입경 측정 장치로 구성되었다. 연료공급은 연료탱크에서 연료필터를 통과하여 압축기에 의해 공급되는 공기압력을 이용하여 150:1의 면적비로 가압하는 고압연료펌프(Haskel pump, USA)에서 분사노즐에 공급하도록 하였다. 분사제어를 위해 인젝터 구동드라이브로서 TDA-

Table 1 Properties of test fuels

	diesel	BDF	WDP
Calorific value [MJ/kg]	43.96	39.17	16.61
Cetane number [wt%]	51.4	57.9	-
Sulfur [wt%]	0.05	<0.01	-
Carbon [wt%]	85.83	75.70	59.87
Hydrogen [wt%]	13.82	12.70	13.29
Oxygen [wt%]	-	11.60	26.61
Kinematic viscosity [30°C cSt]	3.76	12.06	3.59

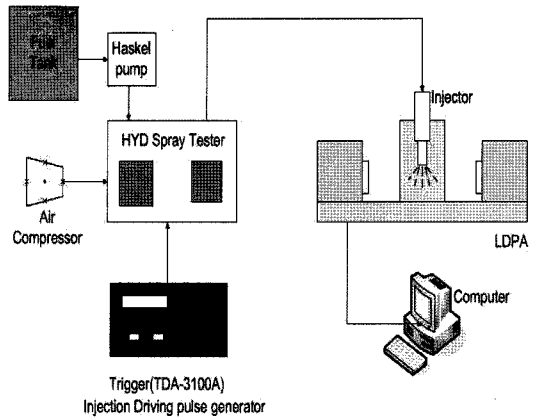


Fig. 1 Schematic diagram of spray apparatus

3100A(TEMS, Korea)를 적용하였다. 분사된 연료의 분무특성을 분석하기 위해 Sympeatec사의 KF-Vario모델의 LDPA를 이용하여 분무거동을 파악하였으며, 광원은 632.8 nm의 He-Ne 레이저를 사용하였고, 광원부와 수광부로 구성되어있다.

분무 가시화 장치는 초당 40500 프레임 촬영이 가능한 Photron사의 고속카메라(Fastcam-ultima40k)를 이용하였으며, 분사제어를 위해 인젝터 구동드라이브와 DG535를 이용하여 고속카메라를 동기 시켜 분무거동을 가시화 시켰다.

2.2 실험방법

본 실험에 사용된 연료는 경유와 BDF의 분무거동을 비교하기 위해 BDF 혼합율을 체적비로 변화하여 경유 100%, BDF 75%+WDP 25%(이하 WDP 25), BDF 100%(이하 BDF 100)의 혼합연료를 실험에 사용하였다. 분무압력은 30 MPa부터 60 MPa까지 10 MPa단위로 변화시켜 가며 측정하였으며, 분사제어는 TDA-3100A를 이용하여 분사시간을 4 ms로 설정하였다.

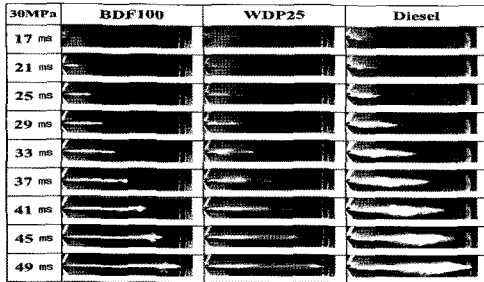
측정된 결과는 전체 액적들의 총 체적에 대한 누적된 액적의 체적분율, 즉, 체적누적분율이 10%(D₁₀), 50%(D₅₀), 90%(D₉₀)인 경우의 대표입경과 Sauter mean diameter(이하 SMD)이며, 분무 입경의 분산도는 상대적 분포구간지수인 Span factor를 계산하여 제시하였다. (1) 식에 나타난 액적 상대적 분포구간(Span factor)는 분무의 체적 누적분포를 사용하여 나타내는 LDPA측정에 가장 적합한 척도이다.

$$Spanfactor = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad (1)$$

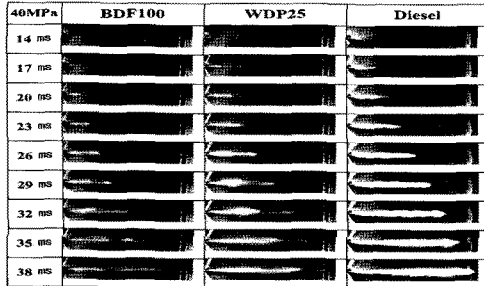
3. 실험결과 및 고찰

3.1 분사압력과 연료에 따른 분무거동

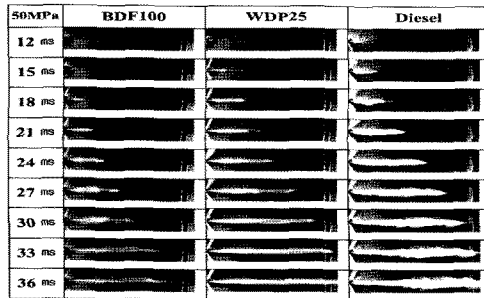
본 연구에서는 혼합된 연료의 분무거동을 알아보



(a) Injection pressure of 30MPa



(b) Injection pressure of 40MPa



(c) Injection pressure of 50MPa

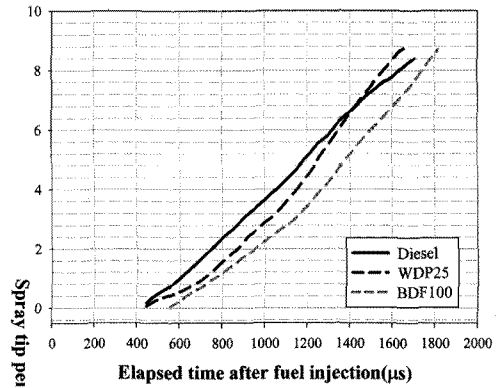


(d) Injection pressure of 60MPa

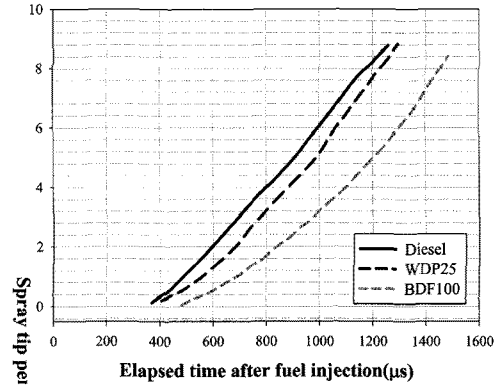
Fig. 2 Process of spray development after injection drive pulse

기 위하여 가시화장치와 LDPA를 이용하여 분사압력과 연료에 따른 분무선단도달거리, SMD 등을 측정하였다.

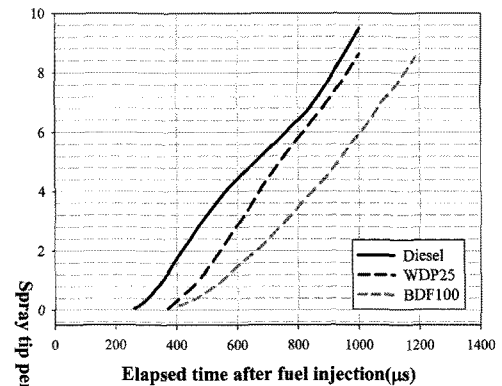
Figure 2는 연료별 각 분사압력에서의 분무형성과정을 구동 신호 후 경과시간에 따라 나타낸 것이다. 모든



(a) Injection pressure of 30MPa



(b) Injection pressure of 40MPa



(c) Injection pressure of 60MPa

Fig. 3 Effect of fuel on spray tip penetration

연료에서 분사압력이 증가함에 따라 분무개시 시기가 빨라진 것을 볼 수 있으며, 분무형성 시간 또한 짧아진 것으로 확인 하였다. BDF 100의 경우 분무형성이 가장 느리게 진행되었으며, 30 MPa에서는 분열이 거의 일어나지 않은 상태에서 분무가 진행되었다. WDP 25는 BDF 100에 비하여 각 분사압력에서 분무개시시간과 분무형성시간이 짧아졌으며, WDP 25의 미립화가 다소 개선된 것을 볼 수 있다. 이는 연료첨가제의 영향으로 WDP 25의 점도가 감소한 영향으로 BDF 100에 비하여 양호한 분무거동을 보이는 것으로 생각된다.

Figure 3은 연료의 분무 선단 도달거리를 각 분사압력에서 구동신호 입력 후의 시간에 대해 나타낸 것이며, 분무도달거리는 노즐 팁과 분사된 연료의 가장 먼 지점 사이의 거리이다. 모든 연료가 각 분사압력에서 선형적으로 분무 선단 도달거리가 증가하였으며, 경유가 모든 압력에서 가장 빠른 증가를 보였다. WDP 25와 BDF 100를 비교하였을 때 분무선단 도달거리는 비슷하였으나, 모든 분사압력에서 분무개시 시간과 발달 시간이 WDP 25가 빠른 것을 볼 수 있다. 그리고 분사압력 30 MPa의 1400 μ s에서 부터 경유의 분무선단거리가 WDP 25보다 작은 것은 낮은 분사압력에서 상대적으로 낮은 점도로 인하여 미립화가 활발히 진행되고, 주위공기의 항력으로 인한 분무속도의 저하로 인한 운동에너지의 감소 때문^(6,7)으로 생각된다.

3.2 혼합연료에 따른 입경분포

Figure 4는 노즐 팁에서 하류방향으로 측정위치가 6 cm 떨어진 지점에서 연료의 span factor를 나타낸 것으로 span factor의 값이 작을수록 액적크기 분포가 상대적으로 평균입경과 편차가 작고 좁은 입경범위에서

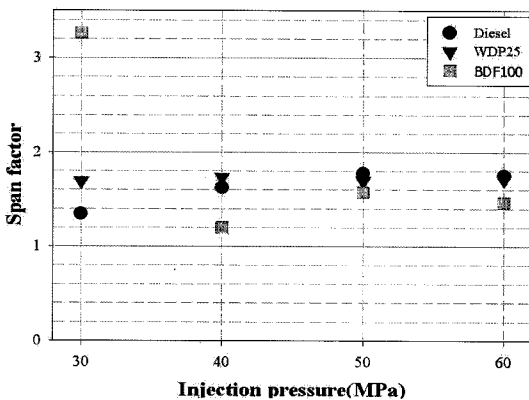


Fig. 4 Variation of span factor with various fuel (L=6 cm)

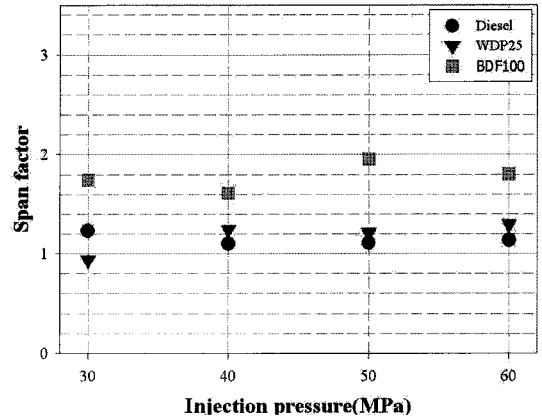


Fig. 5 Variation of span factor with blended fuel (L=10 cm)

분포하는 것을 의미한다. 경유의 분사압력이 증가할 때 span factor가 다소 증가한 것은 미립화가 촉진되면서 액적의 분열로 인하여 액적의 크기가 다양해졌기 때문으로 생각되며, BDF의 경우 30 MPa의 분사압력에서 span factor의 값이 확연한 차이를 보이며 전체적으로 일정치 않는 값을 나타내고 있다. 이는 BDF의 높은 점도의 영향으로 생각되며 낮은 분사압력에서는 분무의 미립화가 거의 되지 않아 넓은 영역의 액적크기가 존재하는 것으로 보인다. 그리고 WDP 25는 분무압력에 영향을 받지 않으며, 평균입경과 편차가 크지 않고, 좁은 영역에서 균일하게 액적이 분포하는 것을 알 수 있다.

Figure 5는 Fig. 4와 동일한 조건에서 노즐 팁에서 측정위치가 10 cm 떨어진 위치에서 연료의 span factor를 나타내고 있다. 이 지점은 분무의 하류 지점으로 경유와 WDP 25의 경우 미립화가 거의 완료되어 분사압력 증가의 영향을 크게 받지 않고 비슷한 크기의 액적이 분포한 것으로 보인다.

Figure 6은 노즐 팁에서 6 cm와 10 cm 떨어진 위치에서 연료의 sauter 평균입경(SMD)을 나타내고 있다. 분사압력이 증가함에 따라 모든 연료의 SMD가 감소하는 것을 볼 수 있으며, 이는 분사압력이 증가할수록 미립화의 촉진으로 액적이 작아지는 것으로 생각된다. 그리고 WDP를 혼합한 연료는 낮은 분사압력에서 SMD가 BDF 100과 차이가 크게 나타났다. 또한 노즐 팁에서 10 cm 떨어진 지점에서의 SMD가 6 cm 떨어진 지점보다 전체적으로 크게 나타난 것을 볼 수 있으며 이는 거리가 멀어질수록 관통력이 작아져 다시 액적들이 응집되기 때문으로 생각된다.⁽⁵⁾

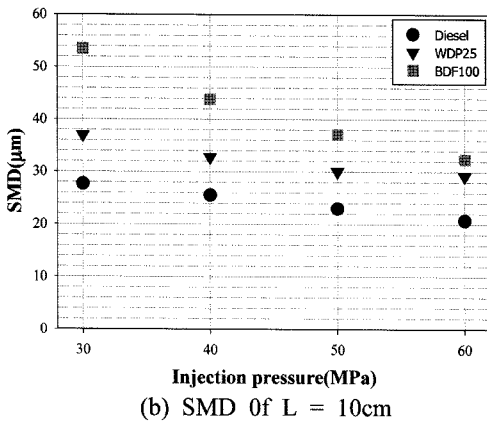
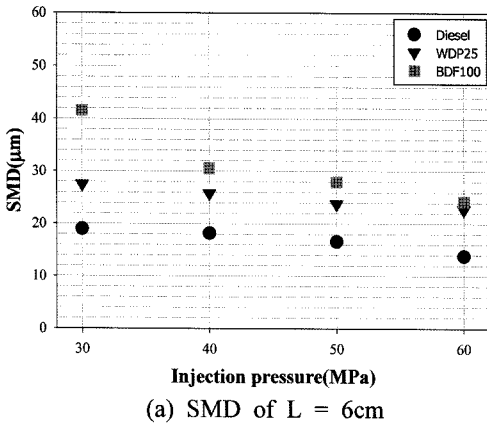


Fig. 6 Variation of SMD with various fuel

4. 결 론

비에스테르화 바이오디젤유의 분무거동을 파악하기 위해 연료첨가제를 혼합한 연료를 분사압력과 혼합연료를 변화시켜가며 분무실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 분사압력이 증가함에 따라 모든 연료의 분무형성시간이 빨라졌으며, 동일압력에서 WDP 25의 혼합연료는 BDF보다 빠른 분무 개시시간과 분무형성시간을 보였다. 또한 WDP 25의 미립화가 개선된 것을 확인하였다.
2. BDF에 WDP 25%를 혼합한 경우에는 분무압력에 크게 영향을 받지 않으며, 평균입경과 편차가 크기 않게

액적의 크기가 일정하게 분포하는 것을 확인 하였다.

3. BDF에 WDP를 혼합한 연료는 분사압력이 증가함에 따라 일정하게 SMD의 감소를 확인할 수 있어 고압 분사식 디젤기관에 적용가능함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구이며(No. 2009-0071578), 관계제위에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 류근영, 하종석, 노수영, “함산소물질이 혼합된 디젤 연료의 분무특성”, 한국액체미립화학회지, 제6권, 3호, 2001, pp. 38~44.
- (2) 박수환, 김형준, 서현규, 전문수, 이창식, “분위기 조건이 바이오디젤과 에탄올 혼합연료의 분무거동 및 미립화 특성에 미치는 영향”, 한국액체미립화학회지, 제13권, 4호, 2008, pp. 180~186.
- (3) S. H. Choi and Y. T. Oh, “An Experimental Study on Simultaneous Reduction of Smoke and NOx with Biodiesel Fuel in a CRDI Type Diesel Engine”, Transaction of KSAE, Vol. 15, No. 3, 2007, pp.35~40.
- (4) D. S. Eom, Y. S. Choi, Y. S. Cho, and S. W. Lee, “Spray and Combustion Characteristics of Biodiesel-Ethanol Blending Fuel”, Transaction of KSEA, Vol. 17, No. 3, 2009, pp.1~7.
- (5) 송용식, 김용철, 류정인, “초음파 에너지 부가 저 점도 바이오디젤 혼합연료의 미립화 특성에 관한 연구”, 한국액체미립화학회지, 제9권, 3호, 2004, pp. 1~7.
- (6) Y. T. Suh, H. K. Suh and C. S. Kee, “A Study on the Injection Characteristics of Biodiesel Fuels Injected through Common-rail Injection System”, Transaction of KSAE, Vol. 15, No. 5, 2007, pp.97~104.
- (7) D. Y. Jeong, J. T. Lee, “A Study on Visualization of Diesel Spray Patterns In Ultra high Pressure”, Spring Conference Proceedings, KSAE, 2002, pp.1367~1373.