

커먼레일 분사시스템에서 바이오에탄올 및 디젤연료 혼합 바이오디젤의 분무 특성

박수한¹⁾ · 서현규¹⁾ · 김형준¹⁾ · 이창식²⁾

한양대학교 대학원¹⁾ · 한양대학교 기계공학부²⁾

Spray Characteristics of Biodiesel Fuel by Blending Bioethanol and Diesel Fuel in a Common Rail Injection System

Su Han Park¹⁾ · Hyun Kyu Suh¹⁾ · Hyung Jun Kim¹⁾ · Chang Sik Lee²⁾

¹⁾Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received 11 June 2008 / Accepted 17 October 2008)

Abstract : In order to investigate the spray characteristics according to diesel and bioethanol blending with biodiesel fuel, macroscopic spray characteristics were analyzed from the comparison of the effect of the injection pressure, ambient pressure and density on the spray tip penetration and spray cone angle. In addition, spray atomization characteristics were studied with local and overall Sauter mean diameter (SMD) and the contour map of SMD distribution at various injection conditions. It was revealed that the spray tip penetration of biodiesel fuels blended with diesel and ethanol was shorter than that of an undiluted biodiesel fuel at low injection pressure. However, the difference of spray tip penetration among three test fuels reduces at a high injection pressure. Increase of the ambient gas density leads to the decrease of the spray tip penetration of three test fuels. When diesel and ethanol fuels add to an undiluted biodiesel fuel, spray cone angle increases due to the decrease of the fuel density at the same ambient pressure condition. On the other hand, the droplet mean diameter decreases due to the reduction of the kinematic viscosity and surface tension.

Key words : Biodiesel(바이오디젤), Spray tip penetration(분무 도달 거리), Spray cone angle(분무각), Fuel atomization(연료 미립화)

1. 서론

직접분사식 디젤엔진에서 연료의 분무특성 및 미립화 특성은 엔진의 출력특성 뿐만 아니라, 배기 특성에도 많은 영향을 미치고 있다. 특히, 연비 향상과 온실효과의 요인이 되고 있는 CO 및 CO₂ 배출량을 저감하기 위해서는 연료의 분무특성 및 미립화 특성이 규명되어야 한다.

대두유, 코코넛, 유채 등 바이오매스로부터 생산

이 가능한 바이오디젤은 합산소 연료로써, 높은 세탄가를 가지며, HC 및 P.M. (Particulate Matter)을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 바이오디젤은 기존 디젤연료와 물성이 비슷하여 디젤엔진의 별도 개조 없이 바로 사용할 수 있으므로 디젤연료의 대체연료로 적합하다.

Ramadhas¹⁾ 등은 디젤엔진에 바이오디젤을 적용한 연소실험을 수행하여 대체연료로써의 가능성을 확인하였다. Suh^{2,3)} 등은 통전기간에 따른 바이오디젤의 평균 분무 입경 특성을 실험적으로 분석하여,

*Corresponding author, E-mail: cslee@hanyang.ac.kr

바이오디젤의 미립화 특성은 높은 점도로 인하여 기존 디젤연료보다 분무 속도가 낮고, 입경이 증가하는 것으로 보고하였다. 이와 같이 바이오디젤은 물성치 특성으로 인하여 디젤보다 미립화가 어렵고, 연료 내에 포함된 산소로 인해 질소 산화물(NOx)의 배출이 증가하는 단점이 있다.^{4,5)} 이러한 문제점을 해결하기 위해, 100% 바이오디젤에 여러가지 연료를 첨가하여 미립화 특성 및 연소특성을 개선하고자 하는 연구들이 국내·외에서 많이 수행되고 있다.

Yoon⁶⁾ 등은 직접 분사식 디젤 엔진에서 디젤연료와 바이오디젤의 혼합비에 따른 연소 및 배출물 특성을 실험적으로 연구하였으며, Lee⁷⁾ 등은 디젤연료에 바이오디젤의 혼합비율이 높아질 경우, 점도, 밀도 및 표면장력은 증가하지만, 분무 도달 거리는 큰 차이가 없음을 보고하였다. 또한, 혼합비율의 증가는 착화 지연시간을 짧게 하고, 최고 연소압력을 증가시킴으로 인해, 탄화수소(HC)는 감소하고, 질소산화물은 증가하였음을 보고 하였다. Shudo⁸⁾ 등은 바이오디젤의 냉시동성을 개선하기 위해 에탄올을 첨가한 경우에 대한 냉시동 및 연소특성에 관하여 실험을 수행하였다.

바이오디젤의 높은 점성으로 인하여 발생하는 문제점을 개선하기 위하여 점성이 다른 연료를 혼합하면 연료의 분무 및 미립화 특성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서, 본 연구에서는 커먼레일 분사 시스템에서 디젤연료 및 바이오에탄올 연료를 바이오디젤에 체적비율로 혼합하여 분무 도달 거리 및 분무각과 같은 거시적 분무 특성과 평균 분무 입경(Sauter mean diameter, SMD) 및 입경 분포 등의 미시적 분무 특성을 조사하여, 100% 바이오디젤의 분무특성과 비교·분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 바이오디젤에 디젤연료 및 바이오에탄올을 체적비 20%로 각각 혼합한 두 가지의 혼합연료와 100% 바이오디젤의 분무 및 미립화 특성을 분석하기 위하여 Fig. 1과 같은 6공 및 단공 인젝

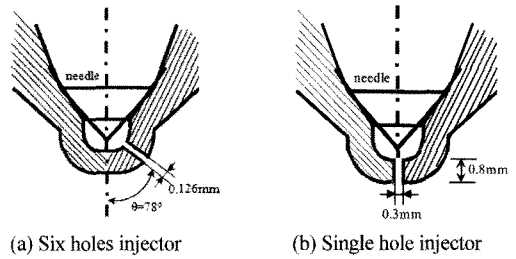


Fig. 1 Schematic of test injectors

터를 사용하였다. 다양한 분사 조건에서 가시화 영상을 통한 분무 특성의 연구를 위해 Fig. 1(a)와 같은 분공 직경이 0.126mm이고, 분사각이 156°인 6공 인젝터와 Fig. 1(b)에 표시된 분공직경이 0.3mm인 단공 인젝터를 사용하여 연료 액적의 입경 및 입경 분포를 조사하였다.

다양한 분사 조건에서 인젝터로부터 분사된 연료의 입경 및 분포특성을 분석하고, 분무 영상을 얻기 위해 Fig. 2와 같은 위상 도플러 입자 분석 장치(phase Doppler particle analyzer, PDPA) 및 가시화 장치를 구성하였다.

PDPA 실험 장치는 트랜스미터, 리시버 및 광원으로 사용된 Ar-ion 레이저(INNOVA 70C, Coherent) 등으로 구성하였다. PDPA 시스템의 자세한 제원은 Table 1과 같다. 가시화장치는 2개의 메탈할라이드 램프(metal-halide lamp, Photron, HVC-SL)를 광원으로 사용하는 고속카메라(Photron, Fast cam-APX RX)와 영상 취득 및 저장 장치가 장착된 컴퓨터로 구성하였다.

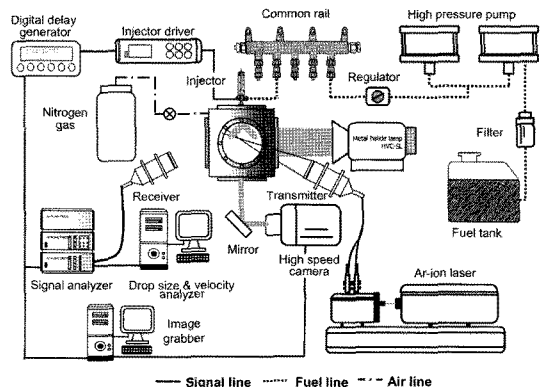


Fig. 2 Schematic of the visualization and droplet measuring system

Table 1 Specification of the droplet measuring system

Light source	Ar-ion laser
Wave length	514.5nm, 488nm
Focal length	500mm for tansmitter and receiver
Collection angle	30°

본 실험에서는 디지털 신호 발생기(Berkeley Nucleonics Corp, Model 555)를 이용하여 인젝터 드라이버(TEMS, TDA-3200H)에서 발생하는 인젝터 분사 신호와 PDPA 시스템의 신호 분석기 및 고속 카메라를 동기화하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서 사용된 연료의 대표적인 물성치와 연료의 혼합비율은 Table 2에 나타내었으며, 다이얼식 점도계(Brookfield, LVT and ULA-36)와 비중계를 사용하여, 점도 및 밀도를 각각 측정하였다.

또한 BD100은 동일 분사량에서 분사압력의 차이에 따른 평균 입경 분포의 특성을 조사하기 위하여 두 가지 분사압력(60MPa, 120MPa)하의 측정결과를 비교·분석하였다.

Fig. 3(a)는 액적의 평균 입경 측정 실험의 측정점이며, 축방향으로는 노즐 팁으로부터 15mm 지점에서 70mm 지점까지 5mm 간격으로, 반경방향으로는 2mm 간격으로 최대 12mm 지점까지 측정하였다. PDPA 시스템에서는 20,000개의 유효 데이터를 저장하여 처리였으며, 평균 분무 입경의 측정 유효 범위는 2~100µm, 레이저 출력은 2.0W로 설정하였다. 분무도달거리와 분무각에 대한 정의는 Fig. 3(b)에 나타내었다.

Table 3은 연료혼합에 따른 바이오디젤의 분무 특성 및 미립화 특성을 알아보기 위한 분사조건을 나타낸 것이다.

Table 2 Fuel properties and notation of blended fuels

	BD100 ⁹⁾	BD80D20 ⁹⁾	BD80E20 ¹⁰⁾
Dynamic viscosity (mPa · s, 20°C)	6.05	5.66	3.68
Kinematic viscosity (mm ² /s, 20°C)	6.95	6.51	4.28
Density (kg/m ³ , 20°C)	870	869	860
Cloud point (°C)	4.3	3.4	2.1
Blending ratio (%)	100% Biodiesel (Soybean oil)	80%Biodiesel 20%Diesel oil	80%Biodiesel 20%Bioethanol

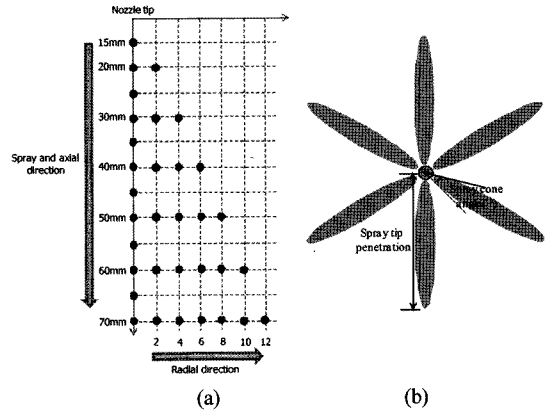


Fig. 3 (a) Measuring points for the analyzing of microscopic spray characteristics and (b) definition of the macroscopic spray characteristics

Table 3 Experimental conditions

Spray visualization	Injection pressure, P_{inj} (MPa)	60, 120
	Ambient pressure, P_{amb} (MPa)	1, 3
	Injection quantity, m_f (mg)	12
	Ambient density, ρ_{amb} (kg/m ³)	11.5, 33.7
Droplet measurement	Injection pressure, P_{inj} (MPa)	60, 120
	Ambient pressure, P_{amb} (MPa)	0.1
	Ambient density, ρ_{amb} (kg/m ³)	1.15

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분무 발달 과정

Fig. 4는 60MPa 및 120MPa의 분사압력과 1MPa과 3MPa의 분위기압력 하에서의 바이오디젤 및 혼합 연료의 통전 후 시간(t_{asoe})에 따른 분무발달과정을 나타낸 것이다. 바이오디젤은 동일한 분사압력에서 분위기압력이 높아졌을 때 분무의 발달은 느리게 진행되고 분무각 또한 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 분위기압력의 증가에 따른 고압 체임버 내의 기체 저항이 증가하였기 때문이다. 분무 발달

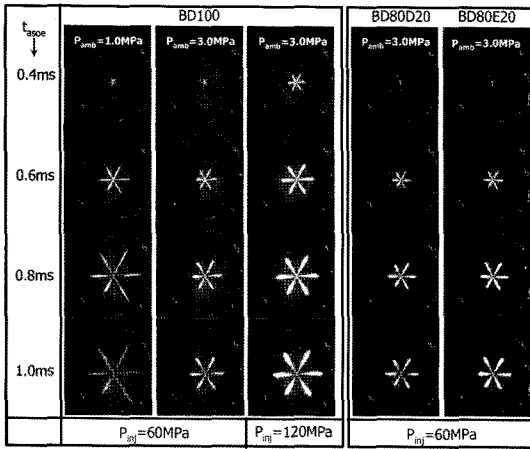


Fig. 4 Spray development process at various injection and ambient conditions ($m_f = 12mg$)

에 대한 기체 저항의 증가는 노즐 팁으로부터의 축방향 분무 발달을 억제하며, 상대적으로 반경방향의 분무 발달이 활발해지기 때문이다. 또한 동일한 분무기압력에서 분사압력이 증가하였을 경우 초기 분무 운동량의 증가로 분무 발달은 더 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다. 동일한 분사 압력 및 분무기 조건에서 혼합연료의 분무 발달속도는 바이오디젤보다 다소 느린 것을 확인할 수 있었다.

3.2 거시적 분무 특성

분무 도달거리는 Fig. 3(b)에 나타낸 바와 같이 정지된 기체 내로 분사되는 액체 분무의 선단이 도달하는 최대거리로 정의하였다. 디젤엔진에서 분무 도달 거리가 노즐팁과 실린더 헤드 사이의 거리보다 길어지게 되면 실린더 헤드의 벽면 젖음 현상이 발생되어 연소가 불완전하게 되고, 너무 짧으면 연료와 실린더 내 기체의 혼합이 충분히 이루어지지 않아 역시 연소가 잘 이루어지지 않는다. 따라서, 최적화된 연소실 설계를 위해서는 분무 도달 거리에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이러한 분무 도달거리는 분사 압력, 주위 기체의 물성치, 분사시작 시점으로 부터의 시간 등에 많은 영향을 받는다.¹¹⁾

Fig. 5는 60MPa, 120MPa의 분사압력(P_{inj})에서 주위 기체의 밀도(ρ_{amb})에 따른, 각 실험연료의 분무 도달 거리를 시간(t_{soe})의 함수로 나타낸 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이, 분무 도달 거리는 시간의 경

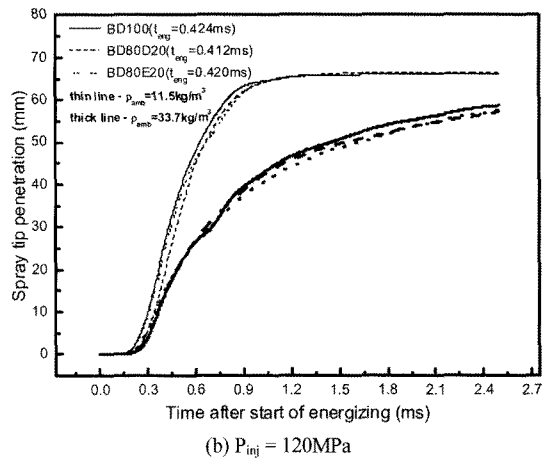
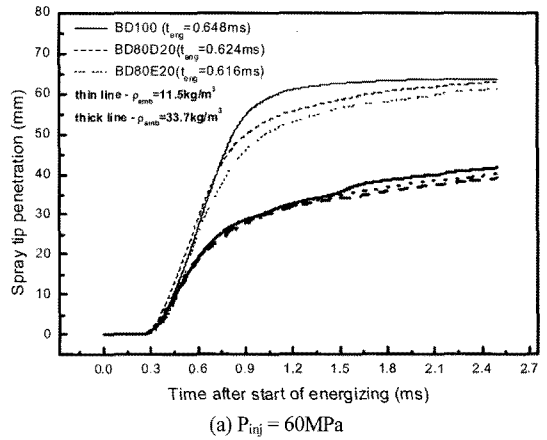


Fig. 5 Effect of the ambient gas density on the spray tip penetration ($m_f=12mg$)

과에 따라 전반적으로 증가하고 있으며, 분무기 밀도가 낮을 때 분무 도달거리는 급격히 증가하여 벽면에 도달하였다.

Fig. 5(a)에서는 분무기 밀도가 $11.5kg/m^3$ 으로 낮을 때, 바이오디젤에 디젤연료 및 바이오에탄올을 각각 20% 씩 혼합함에 따라 동일한 분무기 조건에서 분무 도달 거리는 짧아짐을 알 수 있다. 바이오디젤은 동일 분사량을 얻기 위해 다른 혼합연료보다 긴 통전신호를 인젝터에 보내주어야 하며, 미소한 차이지만, 다른 두 혼합연료에 비해 다소 높은 연료 밀도를 갖고 있어 분사된 액주가 분열되는 시간(t_b)이 길어지게 된다($t_b \propto \rho_{liquid}^{12}$). 이러한 이유로 먼저 분열이 일어난 혼합연료에 비해 액체 상태를 보다 길게 지속하는 바이오디젤의 분무 도달 거리가 길

어지게 되는 것으로 판단된다. 반면, 분사압력이 120MPa로 증가하였을 경우 분사압력 60MPa에서와 달리 통전시간이 더 긴 바이오디젤과 나머지 두 혼합연료의 분무 도달 거리의 차이는 현저히 작아지는 경향을 확인할 수 있었다. 이것은 실험에 사용된 고압 체임버의 반경이 약 65mm (직경 약 130mm)로 분사압력 60MPa에서 이미 고압 체임버의 끝에 도달하였으며, 분사압력이 높아짐에 따라 다른 두 혼합연료 또한 고압 체임버의 끝에 도달하여 Fig. 5와 같은 결과를 나타내었다. 그러나 동일 분무 도달 거리(60mm 지점)에 도달 하는 시간을 비교했을 때 분사압력이 60MPa일 경우, BD100은 1.1ms, BD80D20은 1.7ms, BD80E20은 2.1ms로 세 연료 간 차이가 확연히 나타나지만 분사압력이 120MPa일 경우, BD100은 0.8ms, BD80D20 및 BD80E20은 0.9ms로 그 차이가 크지 않았다. 이것은 분사압력 60MPa에서는 일정량의 분사량에 대한 통전시간의 차이가 분사압력 120MPa일 때보다 상대적으로 커서 통전시간에 따른 분무 운동량의 영향을 많이 받지만 분사압력 120MPa일 때는 통전시간의 차이가 크지 않아 분무 운동량의 차이가 크지 않기 때문이다.

한편, 분위기 밀도가 33.7kg/m³으로 증가하였을 경우 분사압력 60MPa, 120MPa에서 세 연료의 분무 도달 거리의 차이는 크지 않았다. 이것은 분위기 밀도가 증가하면 각 연료의 분무 발달이 기체밀도의 증가로 인하여 억제되기 때문이다. 이러한 결과로부터 분무 도달 거리는 연료의 물성치보다 분사압

력 및 분위기 압력(밀도) 등에 많은 영향을 받고 있음을 의미하는 결과이다.

동일한 분사압력에서 실험에 사용된 세 가지 연료의 분무각에 대한 주위 기체 밀도의 영향을 Fig. 7에 나타내었다. 분무각은 인젝터 노즐의 형상, 분무 액체의 물성치, 주위 기체의 물성치, 분사 압력 등 여러 가지 인자들에 영향을 받는다.¹¹⁾ 본 연구에서 분무각은 노즐팁과 분무의 최외곽선이 형성하는 사이각으로 정의하고 이들을 비교·분석하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 BD100은 다른 혼합연료보다 다소 작은 분무각을 나타내는데 이것은 바이오디젤의 높은 점도로 인해 인젝터 노즐 내 벽면에 두꺼운 경계층이 형성되어, 분무각의 감소에 영향을 주

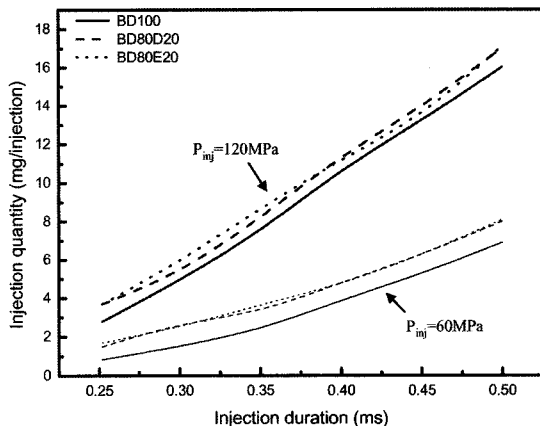
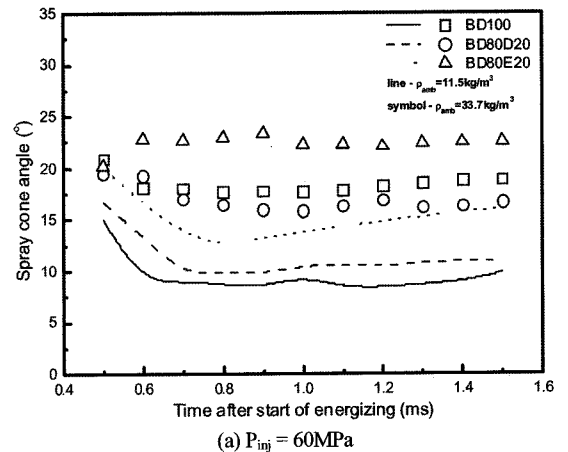
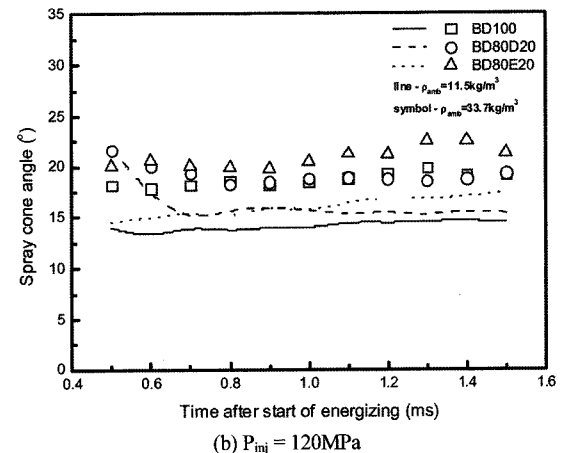


Fig. 6 Comparison of the injection quantity



(a) $P_{inj} = 60\text{MPa}$



(b) $P_{inj} = 120\text{MPa}$

Fig. 7 Effect of the injection pressure on the spray cone angle of three test fuels at the same ambient gas density ($m_f = 12\text{mg}$)

때문으로 판단된다.¹³⁾ 한편, 주위 기체 밀도의 증가는 분무의 축방향 진행을 억제하여 각 연료의 분무 각은 증가하는 경향을 나타내었다. 분위기 밀도의 증가는 분무의 축방향으로의 진행을 억제하여 분무 각을 증가시킨다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 높은 분사압력에서는 주위 기체 밀도의 증가에 따른 분무각의 증가율이 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 분사압력의 증가는 주위 기체와의 상대속도 차이를 증가시켜 주위 공기의 유입량이 증가하는 등 분사된 연료와 주위 기체와의 혼합이 활발히 이루어지기 때문이다.

3.3 미시적 분무 특성

본 연구에서는 세 가지 실험연료에 대한 미립화 특성을 조사하기 위해 축 방향 거리에 따른 평균 분무 입경 및 시간에 따른 분무 입경(Overall SMD)을 비교, 분석하였다. 평균 분무 입경은 특정 위치를 지나가는 액적의 크기를 분무 중심축을 기준으로 축 방향 거리 15mm 지점에서 70mm 지점까지 측정된 것이며, 여기에는 반경 방향의 액적은 포함되지 않았다. 반면, 시간에 따른 분무 입경은 평균 분무 입경과 달리, 반경 방향의 측정점을 포함한 모든 지점에서 동일한 시간에 통과하는 모든 액적들의 크기를 평균한 값이다.

Fig. 8은 60MPa의 분사압력에서 세 가지 실험 연료의 평균 분무 입경을 비교한 것이다. BD80D20의 경우, 분무입경의 변화는 크지 않았으나 에탄올

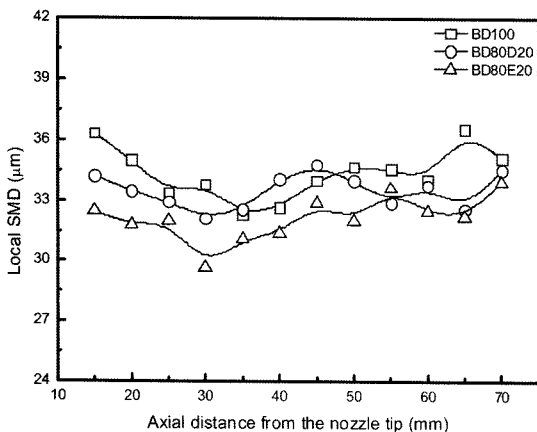


Fig. 8 Mean droplet size distribution according to the axial distance from the nozzle tip ($P_{inj} = 60\text{MPa}$, $P_{amb} = 0.1\text{MPa}$, $m_f = 12\text{mg}$)

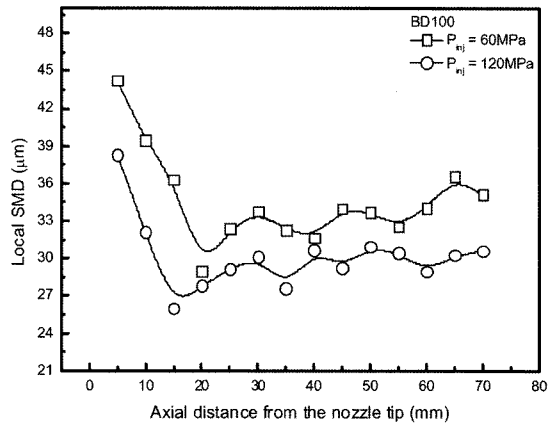


Fig. 9 Effect of injection pressure on local SMD distribution of a biodiesel fuel at the same injection quantity ($m_f = 12\text{mg}$, $P_{amb} = 0.1\text{MPa}$)

20%를 함유하였을 때 약 7% 감소하였다(BD100 : $34.5\mu\text{m}$, BD80D20 : $33.4\mu\text{m}$, BD80E20 : $32.0\mu\text{m}$). 이것은 에탄올의 낮은 표면장력과 동점도로 인해 혼합 연료의 동점도 및 표면장력이 낮아졌기 때문이다.

Fig. 9는 바이오디젤을 동일한 분사량에서 분사압력을 증가시켰을 경우, 평균 입경을 비교한 것이다. 높은 분사압력에서는 분사된 연료와 주위 기체와의 상대속도가 증가하게 되고, 이는 분무 액적과 주위기체의 혼합을 촉진시키는 결과를 가져온다. 따라서 분사압력이 증가하면 분무 입경은 감소하고, 분무 입자군의 총 표면적은 증가하게 된다. 또한 분무 하류에서는 연료 액적의 분무 속도가 감소하게 되어 충돌 및 흡착이 이루어져, 평균 분무 입경은 다소 증가하였다.

Fig. 10은 혼합연료에 따른 액적 평균입경의 분포를 나타낸 것이다. 이 SMD분포에서 보는 바와 같이, BD80D20 및 BD80E20 연료는 BD100에 비해 미립화가 원활하게 이루어지고 있음을 알 수 있으며, 또한 분무 하류로 갈수록 충돌 및 흡착 등으로 인하여 SMD가 다소 증가했음을 확인할 수 있다. BD100의 경우 축방향 및 반경방향으로 갈수록 SMD는 대체로 감소하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 바이오디젤과 바이오디젤에 디젤 및 바이오에탄올을 각각 체적비로 20%씩 혼합한 연

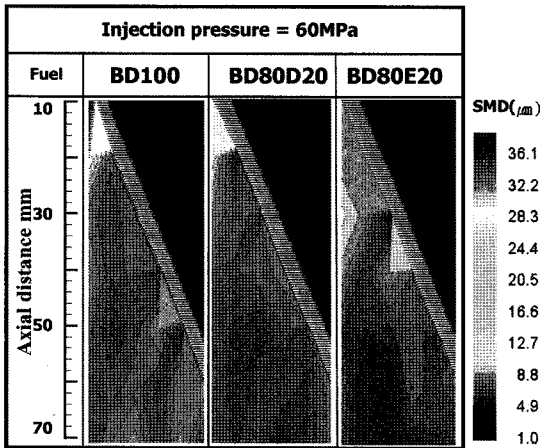


Fig. 10 SMD distribution of an undiluted biodiesel fuel and diesel and ethanol blended biodiesel fuels at the same injection pressure

료의 분무 특성 및 미립화 특성에 대한 실험적 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 분사압력이 증가하면(120MPa), BD100, BD80D20 및 BD80E20의 동일한 분사량을 얻기 위한 통전 시간의 차이가 분사압력이 낮을 때(60MPa) 보다 현저히 감소하였다. 그리고 세 가지 연료의 노즐 출구로부터 동일한 지점에 도달하는 시간의 차이 또한 감소하였다.
- 2) 바이오디젤은 높은 점성계수로 인해 인젝터 노즐 내부에 두꺼운 경계층을 형성하며, 이로 인해 바이오디젤-디젤, 바이오디젤-바이오에탄올 혼합연료에 비해 작은 분무각을 갖는다.
- 3) 동일한 분사압력에서 순수 바이오디젤에 비해 혼합연료는 다소 낮은 평균 분무 입경을 가지며, 이것은 연료 혼합에 따라 동점성계수 및 표면장력이 감소하기 때문이다.
- 4) 분사압력이 120MPa로 증가하면 주위 기체와의 상대속도가 증가하여 주위기체와 연료의 혼합이 원활하게 이루어져 평균 분무 입경은 감소하게 되고, 이로 인해 분무 입자의 총 표면적은 증가하게 된다.
- 5) 혼합연료의 경우, 동일한 분무 도달 거리에서 분무각은 다소 증가하고 SMD는 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 바이오디젤은 디젤 및 에탄올 연료의 혼합으로 연소실 내에서의 혼합기 형

성을 양호하게 할 수 있다.

후 기

본 연구는 교육인적 자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실 지원 사업 및 환경부 Eco-STAR project(무·저공해 자동차 사업단)의 지원으로 진행되었으며, 연구를 지원하여 주신 기관에 감사드립니다.

References

- 1) A. S. Ramadhas, S. Jayaraj and C. Muraleedharan, "Characterization and Effect of using Rubberseed Oil as Fuel in the Compression Ignition Engines," *Renew-able Energy*, Vol.30, No.5, pp.795-803, 2004.
- 2) H. K. Suh, S. H. Park and C. S. Lee, "Effect of Injector Energizing duration on the Atomization Characteristics of Biodiesel Fuel," *Journal of ILASS-Korea*, Vol.12, No.2, pp.108-114, 2007.
- 3) H. K. Suh, S. W. Park, S. I. Kwon and C. S. Lee, "Macroscopic Behavior and Atomization Characteristics of Biodiesel Fuels," *Transactions of KSAE*, Vol.12, No.6, pp.23-29, 2004.
- 4) S. Fernando, C. Hall and S. Jha, "NOx Reduction from Biodiesel Fuels," *Energy&Fuels*, Vol.20, pp.376-382, 2006.
- 5) C. H. Cheng, C. S. Cheung, T. L. Chan, S. C. Lee, C. D. Yao and K. S. Tsang, "Comparison of Emissions of a Direct Injection Diesel Engine Operating on Biodiesel with Emulsified and Fumigated Methanol," *Fuel*, Vol.87, pp.1870-1879, 2008.
- 6) 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 Proceeding*, Vol.1, KSAE, pp.698-704, 2005.
- 7) C. S. Lee, S. W. Park and S. I. Kwon, "An Experimental Study on the Atomization and Combustion Characteristics of Biodiesel-blended Fuels," *Energy&Fuels*, Vol.19, pp.2201-2208, 2005.

- 8) T. Shudo, A. Fujibe, M. Kazahaya, Y. Aoyagi, H. Ishii, Y. Goto and A. Noda, "The Cold Flow Performance and the Combustion Characteristics with Ethanol Blended Biodiesel Fuel," SAE 2005-01-3707, 2005.
- 9) S. H. Yoon, S. H. Park and C. S. Lee, "Experimental Investigation on the Fuel Properties of Biodiesel and its Blends at Various Temperature," Energy & Fuels, Vol.22, pp.652-656, 2008.
- 10) S. H. Park, S. H. Yoon, H. K. Suh and C. S. Lee, "Effect of the Temperature Variation on Properties of Biodiesel and Biodiesel-ethanol Blends Fuels," Oil & Gas Science and Technology, Vol.63, No.6, pp.737-745, 2008.
- 11) A. H. Lefebvre, Atomization and Sprays, Taylor & Francis, 1989.
- 12) H. Hiroyasu, "Experimental and Theoretical Studies on the Structure of Fuel Sprays in Diesel Engine," Proc. 5th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, pp.17-31, 1991.
- 13) S. Y. Lee, Liquid Atomization, Minumsa, Seoul, Korea, 1996.