

BOS법을 이용한 함산소 연료들의 충돌분무특성에 관한 실험적 연구

방승환[†]

Experimental Investigation of Impinged Spray Characteristics of Oxygenated fuels Using BOS Method

Seung Hwan Bang

Key Words: Biodiesel(바이오디젤), Background oriented schlieren(BOS, 배경이미지 슈리렌), Dimethyl ether(DME, 디메틸에테르), Impinged spray(충돌분무)

Abstract

This paper describes the effect of DME, biodiesel blended fuels on the macroscopic spray characteristics in a high pressure diesel injection system using Background Oriented Schlieren (BOS) method. The BOS method for visualization of impingement evaporation sprays to analyze macroscopic spray properties and evolutionary processes. In this work, the blending ratio of DME in the blended fuel are 0, 50, 100% by weight ratio. In order to investigate the macroscopic impinged spray characteristics under the various injection parameters and blending ratio. In this work, a mini-sac type single-hole nozzle injector with nozzle hole was length 0.7 mm and diameter of 0.3 mm was used. According to the result, the spray area of the collision wall increased as the DME mixing ratio increased, and the evolutionary pattern showed a stepwise increase due to the collision effect of the wall. Also, results of impinged spray area were increased according to increasing injection pressure.

기호설명

BD	: 바이오디젤
DB50	: DME(50%) + 바이오디젤(50%)
n	: 굴절율
ΔP_{inj}	: 연료분사압과 정적용기내의 압력차
t_{eng}	: 인젝터 통전시간
ρ_{amb}	: 챔버내 기체 밀도
ρ	: 매질 밀도
ε_y	: 광원굴절각도
Δy	: 영상변위

1. 서론

강화된 배기가스 배출 규제를 충족하기 위해 첨단 연소기술 개발, 후처리 기술 적용, 대체연료 사용 등 3가지 방법을 사용되고 있다. 특히, 기존 엔진에서 대체연료를 사용하는 경우 엔진 시스템의 구조를 변경함에 최소화할 수 있다는 장점이 있고, 대체연료에 대한 연구가 많이 진행되어 디젤 엔진의 유해배기배출량을 방안들이 많이 연구되고 왔다⁽¹⁻³⁾.

디메틸에테르(DME)연료는 산소가 함유된 세탄가가 높은 연료로 압축착화엔진을 위한 대체연료로 평가 받고 있다. 또한, 바이오디젤도 함산소연료로 디젤연료의 연소특성으로 발생하는 PM의 발생량을 줄일 수 있는 연료로 인식되고 있다. 이러한 연료들의 장점에 관한 연구들이 보고되었다⁽⁴⁻⁷⁾.

그러나, 바이오디젤은 디젤 연료에 비해 점도가 높은 편이며, 저온 시에는 결정화현상들이 급증하여 유동에

(Received: 5 Aug 2020, Received in revised form: 4 Sep 2020, Accepted: 4 Sep 2020)

[†]방승환, 회원, 신한대학교 기계자동차융합공학과
E-mail : swanbang@shinhan.ac.kr
Tel : (031)870-3691 Fax : (031)870-3689

장해가 되는 단점을 가지고 있으며, 디젤과 혼합연료로 사용시에 점도 상승에 따른 미립화 특성 악화는 장애요소로 판단되고 있다⁽⁸⁾.

반면에, DME는 액상 유동 시 디젤에 비해 상대적으로 낮은 동점성 계수를 가지고 있어서 관로 누설 및 연료공급계통에 마찰로 인한 훼손을 가져 올 수 있다는 단점을 가지고 있다⁽⁹⁾. 그리고 상대적으로 낮은 DME의 저위발열량은 순수 DME만으로 연료로 사용될 경우 높은 연료소비율을 보일 것을 예측된다⁽¹⁰⁾.

이에 따라 두 연료의 장단점을 보완하는 방안으로 적당한 조성비를 통한 혼합 물질을 연료로 사용하여 단점을 보완할 수 있는 압축착화기관의 연료로 판단된다⁽¹¹⁾.

본 연구에서는 이 두 연료의 혼합물을 가지고 분무의 발달특성을 분석하고자 하였다. 고압 디젤 분사 시스템에서 함산소연료간의 혼합비에 따른 연료의 충돌 분무의 발달에 관한 거시적 분무 특성을 분석하는 것이다. 연료분사압력차와 분위기 압력 변화에 따른 충돌 분무의 발달과정 영향을 분석하였다. 분무의 발달 과정 촬영은 액상 및 기상까지의 발달과정을 분석할 수 있는 밀도장 변화를 측정하는 BOS(Background Oriented Schlieren) 이미지 촬영법을 통해 취득하였다.

2. 연료특성 및 실험장치

2.1 실험연료특성

사용된 연료의 기본 물성값은 Table 1에 비교하여 나타내었다.

본 실험에서는 DME의 혼합비율을 중량을 기준으로 정하였으며, DME의 낮은 동점성값으로 연료분사계통이 훼손되기 쉽기 때문에 1%의 연료 첨가물(LUBRIZOL, 539M)을 DME연료에는 혼합하여 유효성을 개선하였다.

실험용 연료는 DME혼합물성함으로 인해 점도 및 증발압력이 변화가 발생할 것으로 예상되므로, 선행연구

Table 1 Properties of fuels

Item, unit	DME	Biodiesel
Density in liquid (kg/m ³)	667	886
Cetane number	>55	48-65
Structure	(CH ₃) ₂ O	
Boiling point, °C	-25	315-350
% wt. oxygen	34.8	11

Table 2 Properties of test fuels

Property	Bio	DB50	DME
Viscosity (cSt) 40°C	4.12	0.55*	0.185
Vapor pressure (MPa)	0.0026	2.813 ⁺	5.6
Density (kg/m ³)	886	819	667

*ASTM D341 at 40°C Eq(12)
 Viscosity=[(E-A)(C-D)/(E-F)(A-C)+1]-1
 + Raloul's law⁽¹³⁾ P=P_a+P_b=P_{av} m_a+P_{bv} m_b

된 ASTM D341의 점성도와 온도에 경험식과 Raloul법에 의한 증기압 값을 적용하였다.

2.2 실험장치와 BOS측정법

Figure 1은 실험장치의 구성도를 나타내고 있다. 실험용 인젝터는 솔레노이드 구동장치로 작동하고, 인젝터 드라이버(TDA-3200H, TEMS)에 의해 제어되었으며, 광원으로 메탈할라이드 램프를 사용하였다. 연료 분사 및 카메라 셔터 신호를 동기화하기 위해 다채널 디지털 발생기(Berkeley Nucleonics Corporation, Model 555)를 사용하였고, 고속 카메라(FASTCAM APX-RS, Photron)의 프레임 속도와 셔터 속도는 10000 fps (frame per second) 및 1/10000 sec으로 설정하였으며, 이미지 해상도는 512 × 512 pixels로 측정하였다.

분무의 가시화 실험용 고압챔버를 250 mm × 250 mm × 250 mm로 구성하였으며, 100 mm궤차 광학창을 설치하여 분무의 거동을 촬영하였다. 본 실험에서는 노즐 직경이 0.3 mm이고 관로길이가 0.7 mm인 mini-sac 형상의 단공노즐을 솔레노이드 인젝터에 장착하여 실험 연료의 거시적 분무특성을 분석하였다.

Background Oriented Schlieren(BOS)방법은 최근 수십 년 동안 밀도구배를 정량적으로 측정하기 위한 기술로 발전하였다⁽¹⁴⁻¹⁷⁾.

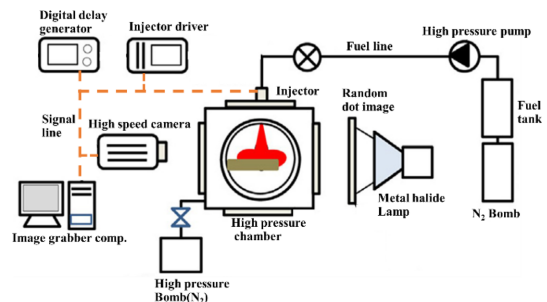


Fig. 1 Schematic of the experimental apparatus

BOS 광학기법은 흐름장 내 밀도구배율에 따른 이미지의 변화를 측정하는 방법이다.

매질의 굴절률과 측정 유체 사이의 굴절률은 Gladstone-Dale⁽¹⁸⁾방정식으로 액체의 굴절률과 밀도 사이의 관계를 나타낸다.

$$\frac{n-1}{\rho} = G(\lambda) \quad (1)$$

$$G(\lambda) = 2.2244 \times \left\{ 1 + \left(\frac{6.7132 \times 10^{-8}}{\lambda} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

n 은 굴절율, ρ 는 밀도, $G(\lambda)$ 는 Gladstone-Dale 상수를 나타내며, 가스의 특성에 따라 달라지며, 공기의 상수 값은 $0.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ 으로, λ 는 파장(m)을 나타낸다. Gladstone-Dale관계에 의해 밀도의 영향을 받아 배경이 미지패턴은 변화(Fig. 2, Δy)의 원인이 되고, 이 변화는 인자들에 의해 변환의 값으로 나타난다.

밀도 변화가 없을 시 배경패턴은 초점렌즈에 의해 CCD의 이미지셀에 나타난다. 만일, 배경과 초점렌즈 사이에 분무가 형성되면, 밀도장의 변화로 인해 패턴은 광선 진행에서 각도 ϵ_y 만큼의 이탈이 발생하고, 이 변화는 밀도변화전과 다른 위치로 변위이동을 나타내게 된다. 두 이미지 사이의 발생한 이동거리 Δy 는 밀도 변화로 인해 원위치에서 다른 지점으로 이동이 이뤄진 것이다.

$$\Delta y = L_D M \epsilon_y \quad (3)$$

$M = L_A/L_B$ 로 확대상수, L_D 는 배경패턴으로부터 밀도장과의 거리를 나타내며,

$$\Delta y = f \left(\frac{L_D}{L_D + L_A - f} \right) \epsilon_y \quad (4)$$

L_A 는 밀도장과 렌즈와의 거리를 나타내며, f 는 렌즈의 초점거리를 나타낸다.

위의 방정식에 의해 밀도의 변화는 매체 특성에 따라 달라지고, Fig. 2에서 도트이미지의 변화가 분무의 흐름

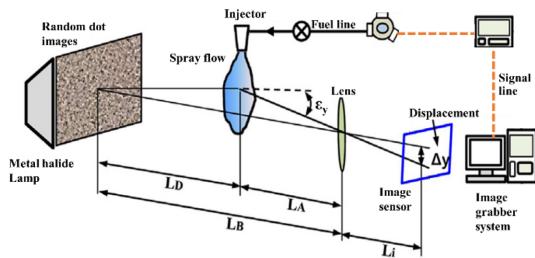


Fig. 2 Schematic diagram of BOS

으로 밀도 분포의 시각화가 CCD센서에 취득된다.

3. 실험방법

3.1 실험조건

실험조건은 Table 3과 같이 설정하였다. 액체분무의 발달은 노즐전단의 압력과 분사압력과의 차이에 영향 받는다는 선행연구자들의 경험식에 참고로 연료분사압력과 챔버의 분위기압력과의 차이를 실험조건으로 설정하였다^(19,20).

BOS법에 의한 충돌분무 연구는 실험연료의 분사조건을 분위기압과 분사압과의 차압기준으로 30 MPa, 50 MPa, 60 MPa로 하였으며, 분위기 밀도는 5.56 kg/m³, 11.11 kg/m³, 22.22 kg/m³으로 분위기 밀도를 설정하였다. 챔버내 기체의 분위기 온도가 303K의 상태에서 실험연료를 분사하였으며, 인젝터의 통전시간은 1.0 ms로 하였다. 실험연료는 바이오디젤(BD), DME를 50% 혼합

Table 3 Experimental condition

Injection system	Common-rail
Injection differential pressure (ΔP_{inj})	30, 50, 60 MPa
Ambient density (ρ)	5.56, 11.11, 22.22 kg/m ³
Ambient temperature	303K
Energizing time (t_{eng})	1.0 ms
Test fuel	BD, DB50 (DME50%), DME

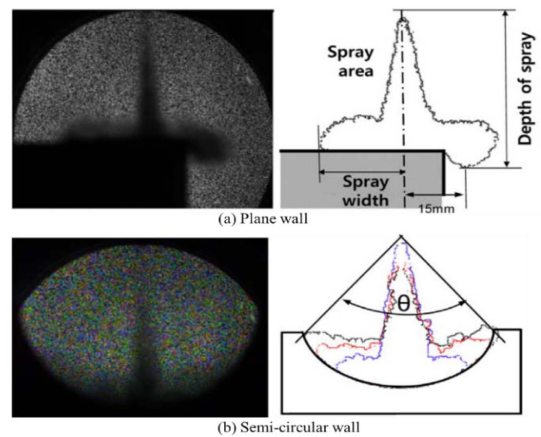


Fig. 3 Shapes of impingement plane & semi-circular wall

한 연료(DB50) 그리고 DME를 사용하였다.

Figure 3은 충돌판과 충돌한 분무의 형성과 충돌한 분무의 측정영역을 나타낸 그림이다. 노즐의 끝으로부터 수직으로 38 mm 떨어진 곳에 충돌 평판을 설치하여 분무와의 충돌이 이루어지게 하였다. 충돌 분무영상으로부터 왼쪽 수평방향으로 진행되는 충돌분무의 발달정도를 충돌 분무폭(spray width)으로 정의하였고, 측정된 분무의 전체영역을 충돌분무의 단면적으로 정의하였다. 분무의 수직방향에 설치된 평면 충돌판을 기준으로 왼쪽과 오른쪽으로의 분무발달을 분석하였다. 분무의 중심축으로부터 오른쪽 15 mm 까지만 평판을 설치하여 평판을 지난 후의 분무발달을 관측하여 디젤 엔진 연소실의 림(rim)영역에서의 발달 특성을 보고자 하였다.

디젤 피스톤 bowl의 단면 형상을 반원형 충돌판을 모사한 semi-circular의 충돌판을 사용하였다. 반원형 충돌판을 노즐 끝으로부터 수직으로 45 mm 떨어진 곳에 설치하여 디젤 피스톤 내의 연소실면과의 충돌 분무의 특성을 간접적으로 관측하고자 하였다. 촬영된 충돌 분무의 영상에서 충돌한 분무의 전체 측정영역을 분무의 단면적으로 정의하였고, 충돌분무각은 노즐을 중심으로 충돌분무의 퍼짐정도를 충돌분무각으로 정의해 분석하였다.

촬영된 이미지는 entropy방식에 의해 threshold값을 결정하여, threshold로 이진화 된 영상으로 분무의 경계선 찾아 분무의 발달값들을 측정 분석하였다⁽²¹⁾.

4. 고찰과 결과

4.1 분무의 발달특성

Figure 4의 상단 그림은BOS법에 의해 촬영된 이미지로, 노즐로부터 38 mm 떨어진 곳에 평면 충돌판을 설치하였고, 분위기 밀도(ρ_{amb})를 11.11 kg/m^3 로 고정한 상태에서 연료의 분사압력차(ΔP_{inj})를 30 MPa로 분사했을 때 영상을 이미지 처리한 결과이다. 분사 후 1.3 ms, 2.3 ms 그리고 3.3 ms후의 충돌 분무영상을 이미지 처리하여 외각형상만을 취득해 비교해 나타내었다. 각각의 영상을 분사 후 1.3 ms와 2.3 ms와 3.3 ms의 영상으로 각 연료 별로 비교해 보면, 충돌 후의 분무의 발달은 밀도가 높은 바이오 디젤이 조금 빠르게 수평방향으로 진행되는 경향을 보여주었고, DME의 혼합비의 증가에 따라 평판에서의 분무 선단의 발달은 느리게 진행되는

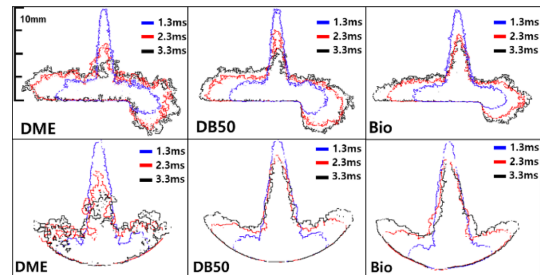


Fig. 4 Spray development process of time after start of injection on plane & semi-circular wall ($\Delta P_{inj} = 30 \text{ MPa}$, $\rho_{amb} = 11.11 \text{ kg/m}^3$)

것으로 나타났다.

반면에, 충돌 후 수직방향으로의 발달은 DME 및 DB50 연료의 분사 경우가 바이오디젤보다 빠르게 상승하는 경향을 보여 주었다. 이는 충돌 후 바이오 디젤은 퍼짐(spread)이 크게 발생하고, DME의 경우는 충돌 후 반발(bounce)현상이 상대적으로 크게 진행되는 것으로 판단된다. DME의 낮은 점도와 표면장력으로 젖음현상(wall-wet)이 낮게 나타나 퍼짐 보다는 반발 현상이 크게 나타난 것으로 판단된다⁽²²⁾. 이후 빠르게 주위의 기체와 혼합이 이루어져 밀도장의 변화가 감소하는 현상이 발생하여 경계면이 많이 흐트러진 분무선단의 모습을 나타내고 있다. 혼합된 연료인 DB50은 바이오디젤과 DME의 충돌 후 분무의 성질을 모두 나타내 퍼짐과 반발현상이 비슷한 정도로 발생 되는 것으로 판단되었다.

또한, DME분무의 경우는 분무 끝단의 경계선이 빠르게 무너지는 현상을 보여주고 있어서 이는 DME의 낮은 증발압력과 점도로 인해 빠른 미립화 및 주위 기체와의 혼합이 잘 이루어져 분무의 밀도영역이 주위 기체와 균일화 되는 것으로 판단된다.

충돌판 하단으로 움직이는 분무의 현상은 DME가 더 빠르게 진행이 되고 있고 바이오디젤은 수평방향으로 퍼짐이 더 크게 나타나고 있다.

이는 바이오디젤이 높은 운동량을 유지한 채 수평방향으로 발달하고 있으나, 상대적으로 낮은 운동량을 가진 실험연료들은 운동량이 소실되고 미립화가 주로 발생하면서 주위의 기체와 혼합되고 밀도장이 상대적으로 균일화 되고 있는 분무의 발달과정으로 판단된다.

반원형 충돌판에 도달한 분무의 발달과정을 보면, 원형면에 충돌된 분무는 단면을 따라 수직방향으로 상승하는 경향을 나타내고 있다. 대부분의 충돌분무는 분사 중심축에 분무가 조금씩 정체 되는 현상을 보여주고 있

으며, 분무의 선단은 원형단면을 따라 움직이는 결과가 대부분의 실험연료에서 나타나고 있다.

DME의 경우에는 충돌 후 분무의 끝단에서 빠르게 경계선이 사라지는 현상을 보여주고 있는데, 이것은 앞의 평면판의 충돌현상과 같은 결과를 나타내고 있다. DME를 혼합한 DB50의 경우는 바이오디젤의 분무와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 이는 평면판과 다르게 수직단면 원형판에 분무가 쌓이는 현상이 나타나는 것으로 정체 현상이 크게 존재하는 것을 볼 수가 있었다.

분무선단에서는 와류의 발달로 DME가 빠르게 주위의 가스와의 혼합으로 하여 주위의 가스층과의 밀도차가 많이 줄어들어 경계면이 많이 없어지는 현상을 나타내고 있다. 이것은 DME의 빠른 증발 효과가 분무의 선단에서 보다 빠르게 진행되어 경계층이 변화가 이루어지는 것으로 볼 수 있다.

또한, 충돌분무가 충돌판을 벗어나면서 분무에 영향을 미치는 와류가 충돌판 아래쪽에서의 발달에 더 큰 영향을 주고 있는 것으로 예측되며 이런 영향으로 DME 및 DB50의 경우가 더 빠르게 넓은 영역에서 주위의 기체층과 비슷한 밀도조건으로 형성되는 것으로 볼 수 있다.

반원형 충돌판 실험 경우 연료의 충돌분무의 발달은 원형충돌판면을 따라 주로 발달 하였으며, 충돌분무선단에서 DME경우만 주위의 가스와의 활발한 혼합이 이루어져 경계층이 빠르게 사라지는 것으로 나타났다.

DME 연료의 낮은 끓는점과 점도로 인해 보다 빠른 미립화가 발생된 것으로 판단되며 이것은 경계면에서 주위 기체와의 혼합증가로 인해 밀도의 균일화 되어 상대적으로 불규칙적인 경계면이 증가하는 것으로 판단된다.⁽²³⁾

4.2 분무의 충돌특성

Figure 5는 분위기 밀도를 11.11 kg/m³으로 하고, 분사압차(ΔP_{inj})를 30, 50 MPa로 정하여 혼합비에 따른 분무의 단면적의 변화를 측정한 그래프이다.

분사압차가 50 MPa인 (a) 그래프를 보면, 분사초기의 분무의 발달은 큰 연료별 차이 없이 발달하다가 1.7 ms 이후부터는 DME의 경우 단면적이 완만하게 증가하는 경향을 보여 이 시점부터 연료는 주위 기체와 충분히 혼합이 되어 비슷한 밀도조건으로 변화하여 경계선이 사라지는 것으로 판단된다.

반면에, 분사압차(ΔP_{inj})가 30 MPa인 (b) 그래프의 경우는 충돌분무의 단면적의 증가 정도가 낮게 나타나고

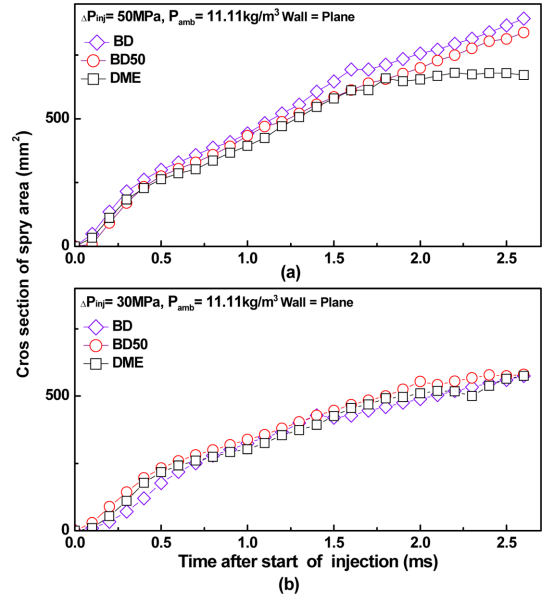


Fig. 5 Effect of fuel injection pressure on spray area of time after start of injection on plane wall (ΔP_{inj} = 30 MPa, 50 MPa, ρ_{amb} = 11.11 kg/m³)

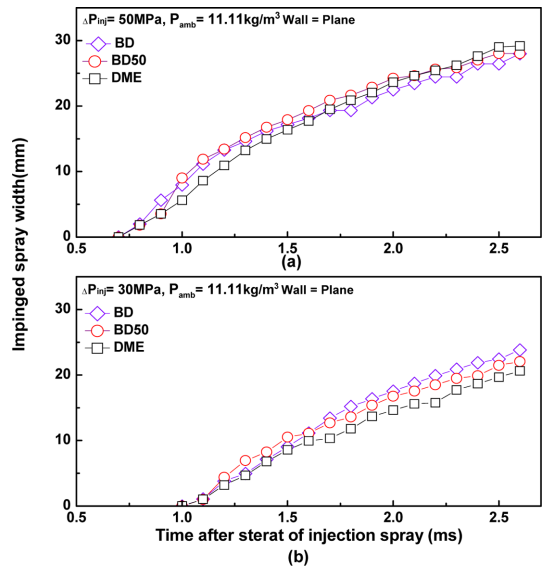


Fig. 6 Effect of fuel injection pressure on spray width of time after start of injection on plane wall (ΔP_{inj} = 30 MPa, 50 MPa, ρ_{amb} = 11.11 kg/m³)

있으며, 초기부터 0.6 ms까지는 바이오디젤의 단면적이 작게 나타나는 경향을 보여 주었고, 후반구간에서는 증가의 경향을 나타내 주었다.

상대적 고압 연료분사차(ΔP_{inj})인 50 MPa의 연료 분

사의 경우가 DME의 빠른 혼합효과를 주어 주위 기체와의 밀도경계층을 빠르게 균일화 되는 현상이 나타난 것으로 예측이 된다. 추후 경계영역에 대한 미립화측정을 실험하면 보다 자세한 결과를 얻으리라 생각한다.

Figure 6은 분위기 밀도를 11.11 kg/m³으로 고정하고 연료분사압차를 30 MPa, 50 MPa로 변화하여 충돌한 분무 폭의 발달을 측정한 그래프이다.

분사 후 시간경과에 따라 충돌분무폭은 증가하는 경향을 나타내었다. 분사압력의 차에 따라 충돌판까지의 도착시간은 고압분사압력차의 경우가 보다 빠르게 도달하였으며, 충돌직후의 퍼짐은 바이오디젤이 빠르게 증가하는 경향으로 발달하였다. 반면에, 분사압차가 30 MPa의 결과는 DME가 퍼짐현상이 작게 나타나고 있으며, 바이오디젤이 빠른 퍼짐현상을 보여주고 있다.

Figure 7의 그래프는 분사압력차는 동일하게 60 MPa로 설정하고, 분위기 밀도를 5.56 kg/m³과 22.22 kg/m³ 조건에서 실험한 결과 그래프이다.

분위기 밀도의 증가로 인해 (a) 그래프에서는 실험연료별 특성이 크게 나타나지 않았으나, 분위기 밀도가 5.56 kg/m³으로 실험한 경우인 (b) 그래프에서는 낮은 분위기압의 영향으로 분사초기엔 DME의 분무폭이 크게 나타나다가 후반에서는 바이오디젤이 큰 충돌분무폭을 나타내 주었다. 충돌분사초기는 자유분무단계의 영

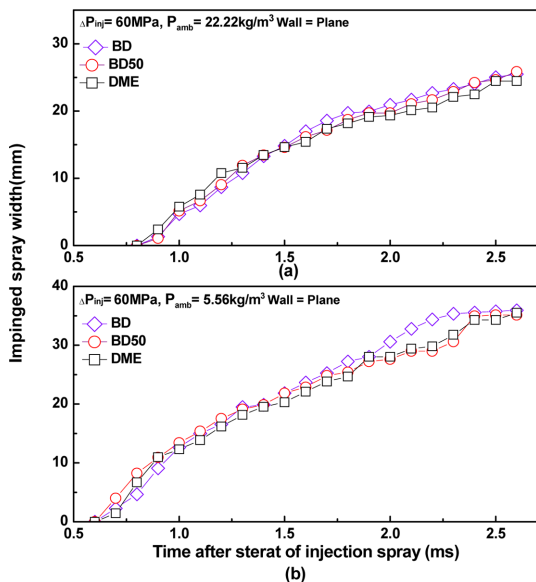


Fig. 7 Effect of fuel ambient density on spray width of time after start of injection on plane wall ($\rho_{amb} = 5.56 \text{ kg/m}^3, \rho_{amb} = 22.22 \text{ kg/m}^3, \Delta P_{inj} = 60 \text{ MPa}$)

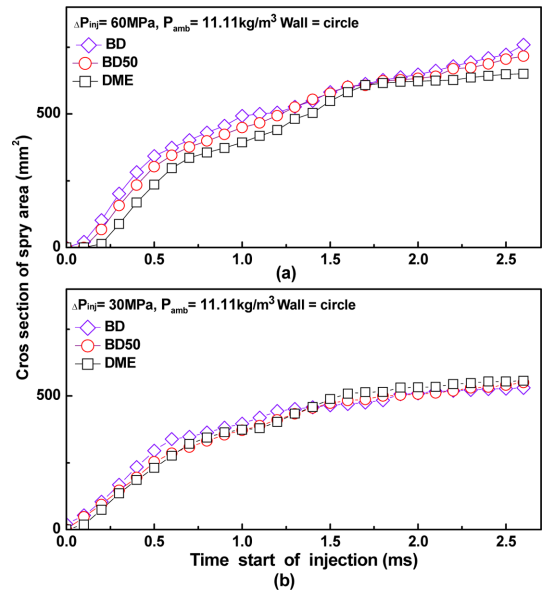


Fig. 8 Effect of fuel injection pressure on spray area of time after start of injection on semi-circular wall ($\Delta P_{inj} = 30 \text{ MPa}, 60 \text{ MPa}, \rho_{amb} = 11.11 \text{ kg/m}^3$)

향으로 인해 잠시 DME폭이 증가하는 경향을 나타냈으나, 충돌판에 충돌후 바이오디젤의 퍼짐현상이 두드러지게 드러나 연료별 차이가 감소하는 것으로 판단된다.

Figure 8은 반원형 충돌판에 다른 연료분사압력차로 연료들을 분사하여 단면적의 변화를 분석한 결과 그래프다. 분위기 밀도를 11.11 kg/m³으로 고정하고, 연료분사압력의 차이를 30 MPa과 60 MPa로 실험한 결과이다. 고압의 경우가 더 빠르게 단면적이 증가하는 현상을 나타내고 있다. 30 MPa의 연료분사압력차에서는 실험연료별 비슷한 증가 곡선을 나타내고 있으나, 60 MPa의 분사압력차의 경우는 DME의 발달이 상대적으로 낮게 나타나는 현상을 보고 주고 있다. 이는 고압의 분사조건에서 DME는 주위의 기체와 경계층에서 빠른 혼합현상이 나타나면서 측정될 수 있는 밀도장의 영역이 상대적으로 빠르게 소멸되고 있는 것으로 판단된다. 즉 높은 분사력은 DME빠른 미립화와 균질화 밀도장의 형성에 영향을 주고 있는 것으로 예측된다.

Figure 9는 반원형 단면에 분사한 분무의 각도를 측정 한 그래프이다. 분위기 밀도는 22.22 kg/m³으로 설정하였고, 분사압력차이를 30 MPa와 60 MPa로 분사했을때의 충돌분무의 각도를 나타낸 결과이다.

분사 초기의 분무각은 DME 다소 크게 진행되었으나, 충돌이후부터는 각도증가곡선은 감소하여 모든 실험연

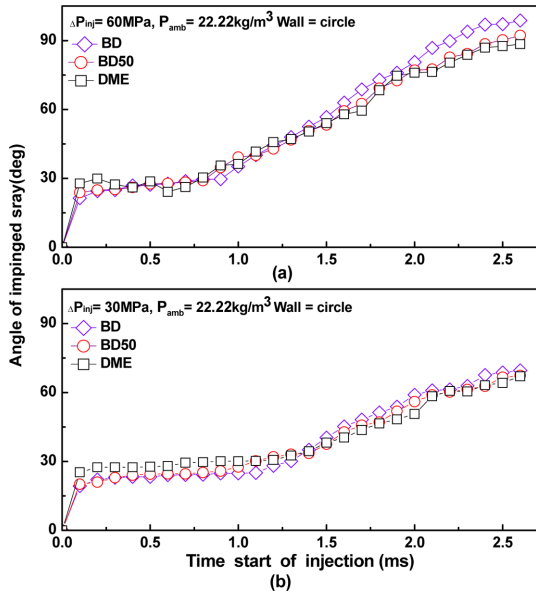


Fig. 9 Effect of fuel ambient density on spray area of time after start of injection on semi-circular wall ($\Delta P_{inj} = 30 \text{ MPa}, 60 \text{ MPa}, \rho_{amb} = 22.22 \text{ kg/m}^3$)

료가 완만한 증가곡선으로 발달하는 경향을 보여주었다. 분사압력차이가 60 MPa의 경우가 충돌판에 먼저 도달한 후 완만한 증가곡선을 유지하다가 1.6 ms 이후부터는 DME의 경우 완만하게 증가속도가 감소하다가 일정한 충돌분무각을 형성한데 반해, 바이오디젤은 꾸준히 증가하다가 2.3 ms 부터 감소하는 현상을 나타내었다. 이는 Fig. 4의 그림과 Fig. 8의 단면적 그래프에서 나타나듯이 DME의 경우 분무선단에서 충분한 미립화와 주변 기체와 빠른 섞임으로 인해 밀도장의 균일화로 변화가 관측되지 않는 것으로 판단된다. 즉, 바이오디젤은 반원형 충돌판을 따라 분무의 발달이 계속 진행되고 있으나, DME 경우는 발달이 끝나면서 혼합이 빠르게 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 고압 디젤 분사 시스템을 사용하여 DME, 바이오디젤 및 DME 혼합 연료를 BOS 방법을 사용하여 가시화를 통한 분석을 결과로 증발 현상에 수반되는 충돌 분무의 특성을 BOS 방법을 사용하여 분무의 충돌발달과정과 분무의 특성들을 효과적으로 시각화했다.

(1) 분무의 발달은 충돌 후 점도가 높은 바이오디젤이 상대적으로 퍼짐 현상이 크게 발생하였고, DME의 경우는 충돌 후 반발과 분열현상이 상대적으로 크게 진행되었으며, 충돌분무 선단에서 빠른 혼합과 밀도의 균일화 진행이 되었다. DME 혼합비의 증가에 따라 충돌 후 분무높이가 상승하면서 발달하는 현상이 나타났다.

(2) 분사압력차에 따른 결과는 고압분사압력의 차에서 빠른 충돌시간을 보여주었으며, 고압의 분사로 인해 액적들의 증발효과가 빠르게 진행되어 30 MPa 분사경우보다 빠르게 연료들이 분열하여 넓은 면적으로 발달하였고, DME의 경우 빠르게 선단이 소멸하여 주위의 밀도장과 비슷한 분포를 나타내는 현상을 보여주었다.

(3) 분무폭의 변화는 충돌이후 충돌분무각과 같이 증가하였고, 연료분사압력이 증가함에 따라 증가하였고 분위기밀도의 증가함에 따라서는 감소하였다. 충돌분무각도는 분사압력의 증가에 따라 증가하는 경향을 보여주었고, 연료별 차이는 크게 나타나지 않았다. 다만 고압분사압력차의 경우 DME의 충돌후반에는 선단분무의 소멸로 인해 분무각은 바이오디젤보다 빠르게 원만한 각도를 유지하였다.

(4) 분위기 밀도차에 따른 분무폭의 변화는 낮은 분위기 밀도에서 빠르게 분무폭이 증가하는 현상을 나타냈으며 22.22 kg/m³의 조건에서는 분무폭의 증가는 느리게 증가하였으며, 모든 실험연료가 비슷한 발달과정을 보여주었다.

후 기

본 논문은 2020년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

참고문헌

- (1) Myung Yoon Kim, Seung Hwan Bang, and Chang Sik Lee, "Experimental Investigation of Spray and Combustion characteristics of Dimethyl Ether in a Common-Rail Diesel Engine", Energy & Fuels, Vol. 21, 2007.
- (2) F. Aydın and H. günt, "Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions", Renewable Energy, Vol. 103, 2017, pp. 688~694

- (3) Ertan Alptekin, Huseyin Sanli, and Mustafa Canakci, "Combustion and performance evaluation of a common rail DI diesel engine fueled with ethyl and methyl esters", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 149, 2019, pp. 180~191.
- (4) Chang Sik 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, 2006.
- (5) Li Li, Jianxin Wang, Zhi Wang, and Jianhua Xiao, "Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/biodiesel/pentanol fuel blends", *Fuel*, Vol. 156, 2015, pp. 211~218.
- (6) Ho Teng, James C Mccandless, and Jeffrey B Schneyer, "Thermodynamic properties of dimethyl ether—An alternative fuel for compression-ignition engines", *SAE transactions*, 2004, pp. 134~157.
- (7) Su Han Park and Chang Sik Lee, "Combustion performance and emission reduction characteristics of automotive DME engine system", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 39, 1, 2013, pp. 147~168.
- (8) Z. Franco and Q. D. Nguyen, "Flow properties of vegetable oil–diesel fuel blends", *Fuel*, Vol. 90, 2, 2011, pp. 838~843.
- (9) Ho Teng, James C Mccandless, and Jeffrey B Schneyer, "Viscosity and lubricity of (liquid) dimethyl Ether—An alternative fuel for compression-ignition engines", *SAE transactions*, 2002, pp. 325~334.
- (10) Myung Yoon Kim, Seung Hyun Yoon, Bong Woo Ryu, and Chang Sik Lee, "Combustion and emission characteristics of DME as an alternative fuel for compression ignition engines with a high pressure injection system", *Fuel*, Vol. 87, 12, 2008, pp. 2779~2786.
- (11) June-Pyo Cha, Su-Han Park, Chang-Sik Lee, and Sung-Wook Park, "Study on spray and exhaust emission characteristics of DME-biodiesel blended fuel in compression ignition engine", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, Vol. 35, 1, 2011, pp. 67~73.
- (12) Elana M. Chapman, Andre Boehman, Kimberly Wain, Wallis Lloyd, Joseph M. Perez, Donald Stiver, and Joseph Conway, "Impact of DME-Diesel Fuel Blend Properties on Diesel Fuel Injection System", DOE, DE-FC26-01NT41115, 2003.
- (13) E. A. Guggenheim, "The theoretical basis of Raoult's law", *Transactions of the Faraday Society*, Vol. 33, 1937, pp. 151~156.
- (14) Hugues Richard and Markus Raffel, "Principle and applications of the background oriented schlieren (BOS) method", *Measurement Science and Technology*, Vol. 12, 9, 2001, pp. 1576.
- (15) Gea Meier, "Computerized background-oriented schlieren", *Experiments in Fluids*, Vol. 33, 1, 2002, pp. 181~187.
- (16) Sb Hughes Dalziel, Graham O Sutherland, and Bruce R, "Whole-field density measurements by 'synthetic schlieren'", *Experiments in Fluids*, Vol. 28, 4, 2000, pp. 322~335.
- (17) Markus Raffel, "Background-oriented schlieren (BOS) techniques", *Experiments in Fluids*, Vol. 56, 3, 2015, pp. 60.
- (18) J. F. Gladstone and T. P. Dale, "Researches on the refraction, dispersion, and sensitiveness of liquids", *Philos. Trans. R. Soc. Lond*, Vol. 153, pp. 1863.
- (19) Hiro Hiroyasu and Masataka Arai, "Structures of fuel sprays in diesel engines", *SAE transactions*, 1990, pp. 1050~1061.
- (20) Ho Teng and James C Mccandless, "Comparative study of characteristics of diesel-fuel and dimethyl-ether sprays in the engine", *SAE transactions*, 2005, pp. 1202~1213.
- (21) Ahmed S. Abutaleb, "Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional entropy", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 47, 1, 1989, pp. 22~32.
- (22) Hanzhengnan Yu, Xingyu Liang, Gequn Shu, Xiuxiu Sun, and Hongsheng Zhang, "Experimental investigation on wall film ratio of diesel, butanol/diesel, DME/diesel and gasoline/diesel blended fuels during the spray wall impingement process", *Fuel Processing Technology*, Vol. 156, 2017, pp. 9~18.
- (23) Ho Teng, James C Mccandless, and Jeffrey B Schneyer, "Thermochemical characteristics of dimethyl ether—an alternative fuel for compression-ignition engines", *SAE transactions*, 2001, pp. 96~106.