

디젤 고압 분사 시스템에서 디젤-에탄올 혼합연료의 분무 및 미립화 특성에 관한 연구

김 세 훈¹⁾ · 박 수 한¹⁾ · 이 창 식^{*2)}

한양대학교 대학원¹⁾ · 한양대학교 기계공학부²⁾

A Study on the Spray-atomization Characteristics of Diesel-ethanol Blended Fuels in a High Pressure Diesel Injection System

Se Hun Kim¹⁾ · Su Han Park¹⁾ · Chang Sik Lee^{*2)}

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

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

(Received 26 June 2009 / Accepted 14 September 2009)

Abstract : The purpose of this paper is to analyze the effects of ethanol blending ratio and fuel temperature in diesel-ethanol blended fuel on the spray-atomization characteristics in a high pressure common-rail injection system. In this work, a diesel fuel and three blended fuels were used as test fuels. Blended fuels were made by blending ethanol with a purity 99.9% to diesel fuel, from 0% to 30%. In order to keep diesel-ethanol blending stability, 5% of biodiesel fuel as volumetric ratio was added into test fuels. The fuel temperature was controled in steps with 40K, from 290K to 370K. Macroscopic spray characteristics were investigated by analyzing the spray tip penetration and spray cone angle through spray images obtained from visualization system. In addition, in order to study microscopic spray characteristics of ethanol blended fuels, the droplet diameter, was analyzed using the droplet measuring system. It is revealed that the spray tip penetration is similar regardless of ethanol blending ratio. As ethanol blending ratio is increased, the spray cone angle becomes wider. It is shown that the spray cone angle is affected by low viscosity and density of ethanol. As the fuel temperature increases, the spray tip penetration and spray cone angle become shorter and narrower respectively. The SMD of ethanol blending fuels is smaller than that of diesel fuel because of low viscosity and surface tension of ethanol.
Key words : Diesel-ethanol blended fuel(디젤-에탄올 혼합연료), Spray tip penetration(분무 도달 거리), Spray cone angle(분무각), SMD(Sauter 평균 입경)

1. 서론

디젤엔진은 높은 압축비조건에서 운전되는 특성으로 인해 가솔린 엔진에 비해 열효율이 높아 자동차, 선박뿐만 아니라 여러 산업분야에서 널리 적용되고 있다.¹⁾ 그러나 디젤엔진의 직접분사식 연료 공급 방식으로 인한 입자상 물질(particulate matter, P.M.) 생성과 연소실 내 국부적인 고온 영역 발생

로 인한 질소산화물 (NO_x) 등은 점차 강화되고 있는 환경규제의 주요 대상이 되고 있다. 디젤엔진의 이러한 문제를 해결하기 위해 연료와 공기의 혼합을 촉진시키는 수단으로 분무의 미립화, 분무 도달 거리 및 연소실 내의 연료의 분산성 개선 등의 방법이 많은 연구자들에 의해 연구되고 있다.²⁾ 또한, 바이오디젤, 바이오에탄올 등과 같은 재생에너지 적용에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.^{3,4)} 바이오에탄올은 옥수수, 고구마, 나무줄기, 풀 등 식물자원에

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

효소분해 및 발효 등 바이오기술을 적용해 생산되는 에탄올로 석유정제로 생산한 에탄올과 구분하여 바이오에탄올로 부르고 있으며, 식물의 기본 성분인 당을 발효시켜 제조하므로 모든 식물을 원료로 사용가능한 재생연료이다. 바이오에탄올 연료 연소 시 생성되는 이산화탄소는 식물이 성장할 때 다시 흡수되므로 온실가스 저감에 효과적이다. 또한, 바이오에탄올 연료는 액체연료로 기존 수송 인프라 구조의 변경 없이 적용할 수 있는 장점이 있다.^{5,6)} 특히, 에탄올을 디젤 연료에 혼합함으로써 화석연료를 일정 부분 대체할 수 있는 효과를 얻을 수 있으며, 에탄올 내 함유되어 있는 산소로 인해 연소실 내에서의 연소를 증진시켜 HC 및 soot의 배출을 저감할 수 있다.⁷⁾ 또한, 에탄올의 낮은 점도 및 표면장력으로 인해 디젤-에탄올 혼합연료의 미립화 특성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 반면, 알코올계의 에탄올 연료는 낮은 세탄가와 높은 증발 잠열로 인한 연료의 불안정 착화 특성을 갖는 단점이 있으며, 디젤 연료에 에탄올을 혼합하였을 경우 혼합 조건에 따라 상(phase) 분리 현상이 발생하여 연료의 저장특성이 나쁜 단점을 가지고 있다. 혼합연료의 상 분리 현상 및 낮은 세탄가 등의 문제를 해결하기 위해 다양한 해결방법이 제시되고 있다.

Magin⁸⁾ 등은 디젤-에탄올 혼합연료의 이용 가능성을 입증하기 위해 첨가제를 혼합하여 상분리 현상을 막고, 온도와 수분함량에 대한 안정성 실험을 수행하였다. 또한 Hansen⁹⁾ 등은 디젤-에탄올 혼합연료의 물성에 관한 실험을 수행하여 기존 디젤에 비해 안정성과 내구성, 배기성능이 개선됨을 보고하였다. Mohammadi¹⁰⁾ 등은 PCCI (Premixed Charge Compression Ignition) 연소를 이용하여 디젤-에탄올 혼합연료의 배기생성물 중 질소산화물과 입자상 물질의 저감에 효과적인 반면 탄화수소(HC), 일산화탄소(CO)는 증가된다고 보고하였다. 그리고 Ludivine¹¹⁾ 등은 디젤-에탄올 혼합연료의 물성에 관한 실험을 수행하여 안정성과 내구성 향상을 확인하였고, 커먼레일 분사 시스템을 통해 질소산화물과 입자상 물질의 저감을 보고하였다. Chen¹²⁾ 등은 에탄올의 혼합비가 분무거동 및 배기성능에 미치는 영향을 분석하여 혼합비가 증가할수록 액적이 쉽게 분열하

여 분무 도달 거리가 짧아지고 분무각이 넓어져 공기와의 혼합이 잘 일어나고, 혼합비 20% 이상에서 입자상 물질이 저감되는 것을 보고하였다. 이러한 선행연구로부터 디젤-에탄올 혼합연료의 대체연료로써 가능성을 확인할 수 있었다. 그러나, 대부분 디젤-에탄올 혼합연료를 이용한 연구들은 엔진 성능이나 배기특성에 초점이 맞춰져 있어 연소 및 배기특성과 긴밀한 연관성을 가지는 기본적인 분무특성에 대하여는 더욱 체계적인 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 디젤과 에탄올 연료의 혼합비와 연료온도 등의 조건 변화에 따른 분무도달 거리, 분무각, 분무액적의 입경 등 분무 특성에 관한 실험을 수행하여 디젤 및 디젤-에탄올 혼합연료의 거시적·미시적 분무 특성을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

디젤-에탄올 혼합연료의 분사조건에 따른 미립화 특성과 분무 거동을 분석하기 위해 사용된 디젤 단공 인젝터는 전자 제어식 인젝터 드라이버 (TEMS, TDA-3200H)로 작동 및 제어되는 솔레노이드형이며, 노즐직경이 0.3mm, 오리피스 길이가 0.8mm로, 형상비(length/diameter)가 2.67이다. 또한, 분무영상과 입경을 측정하기 위해 가시화 장치 및 위상 도플러 입자 분석기(PDPA, phase Doppler particle analyzer)를 Fig. 1과 같이 구성하였다. 고압 연료 분사조건에 따른 분무 실험을 안정적으로 수행하기 위하여 병렬로 연결된 두 개의 고압 펌프 (Haskel, HSF-300)와 커먼레일을 사용하였다. 고압 체임버 내의 분위기 압력은 질소가스로 조절하였으며, 고속카메라(Photron, Fastcam APX RS)와 메탈랄라이드 램프(Photron, HVX-SL)로 가시화 장치를 구성하였다. 또한, 고속카메라로부터 얻어진 분무 영상은 영상 취득기가 장착된 컴퓨터에 저장하였다. 분사 후 시간의 경과에 따른 분무 거동의 특성을 취득하기 위해, 디지털 신호 발생기(Berkeley Nucleonics Corp, Model 555)를 이용하여, 인젝터 드라이버에서 발생하는 인젝터 분사 신호와 고속카메라를 동기화하였다. 디젤-에탄올 혼합연료의 분무 입경과 분포를 분석하기 위한 PDPA 장치는 0.8W 출력

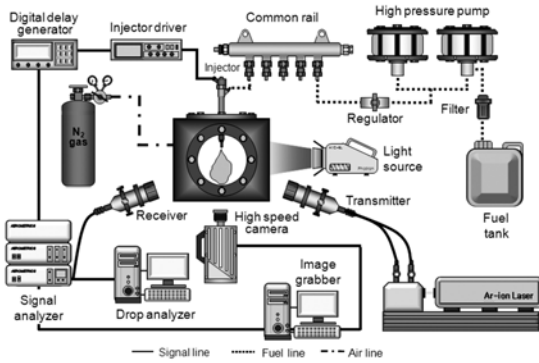


Fig. 1 Schematic diagram of visualization system and PDPA system

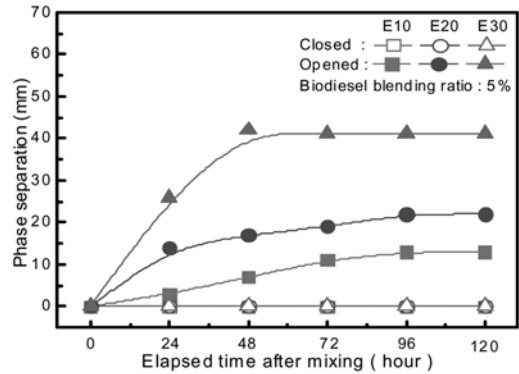


Fig. 3 Effect of fuel blending ratio on the phase separation at opened and closed cap conditions

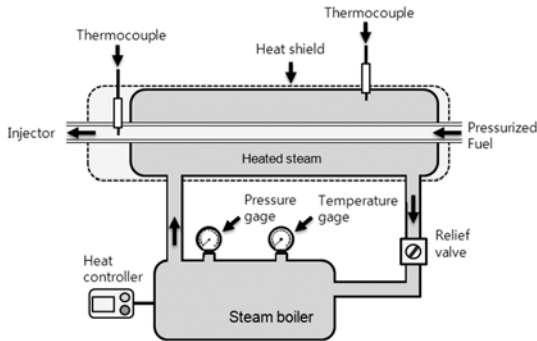


Fig. 2 Schematic diagram of heating system

을 갖는 Ar-ion 레이저를 광원으로 하고 트랜스미터와 리시버, 신호 분석기 등으로 구성하였다.

또한 공급되는 연료의 온도조건을 변화시키기 위해 Fig. 2와 같은 증기 보일러를 이용한 열교환 장치를 이용하였으며, 증기 보일러로부터 생성되는 고온·고압의 증기가 연료 공급관 주변에 분포함으로써 연료의 온도를 조절할 수 있도록 하였다. 또한, 인젝터로 공급되는 연료라인의 입구에 열전대를 설치하여 연료온도를 측정함으로써 실험오차를 최소화하였다.

2.2 실험 방법

본 실험에서는 디젤연료와 세 가지의 디젤-에탄올 혼합연료를 사용하였다. 디젤-에탄올 혼합연료는 디젤 연료에 에탄올을 부피비로 10%, 20%, 30%씩 각각 혼합하여 만들었다. 디젤-에탄올 혼합연료는 상 분리가 발생하게 되며 이를 방지하기 위해

본 연구에서는 각각의 혼합연료에 상 분리 방지를 위한 첨가제로 바이오디젤을 5%씩 혼합하였다. Fig. 3과 같이 디젤-에탄올 혼합연료는 혼합 상태 및 조건 등에 따라 시간의 경과와 함께 상 분리되는 현상을 관찰할 수 있었으며, 공기와의 접촉을 차단한 경우 시간이 경과하더라도 상 분리가 발생하지 않아 혼합 안정성을 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 상 분리 및 혼합 안정성의 유지를 위해 바이오디젤 5%를 첨가제로 사용하고, 실험을 수행하는 동안 혼합연료와 공기의 접촉을 차단하였다.

실험에 사용된 연료의 물성치(밀도, 점성계수, 표면장력)는 Table 1에 나타내었으며, 밀도, 점성계수 및 표면장력은 비중계, 점도계 (Brookfield, LVT and ULA-36)와 표면장력계(Itoh, 514-B2)를 이용하여 각각 측정하였다. 디젤-에탄올 혼합연료의 분무 거동을 가시화하기 위해 분사압력, 에탄올 혼합비와 연료온도를 변수로 정하여 실험을 수행하였으며, 자세한 실험조건은 Table 2에 나타내었다. 분무가시화를 위해 프레임 속도 10,000 fps, 셔터 속도는 1/10,000 sec로 하였으며, 통전 후 0.1ms 간격으로 사진을 취득하였다. 또한, 실험연료의 미립화 특성을 분석하기 위해 노즐팁에서 축 방향 10mm지점부터 60mm 지점까지 10mm간격으로 측정하였다. 또한, 취득한 액적의 입경범위는 1.8 μ m~90 μ m로 제한하였으며, 각 지점에서 10,000개의 액적을 평균하여 액적 입경을 분석하였다.

Table 1 Fuel properties of the ethanol-diesel blended fuel

Test fuels	D100	DE10	DE20	DE30	E100	
Dynamic viscosity (mPa · s, 20°C)	2.81	2.6	2.44	2.36	1.19	
Kinematic viscosity (mm ² /s, 20°C)	3.414	3.175	2.994	2.91	1.51	
Density (kg/m ³ , 20°C)	823	819	815	811	789	
Surface tension (dyne/cm, 20°C)	31.77	30.36	29.72	28.63	22.8	
Refractive index	1.42-1.43	-	-	-	1.364	
Blending ratio (%)	Diesel	100	85	75	65	0
	Ethanol	0	10	20	30	100
	Biodiesel	0	5	5	5	0

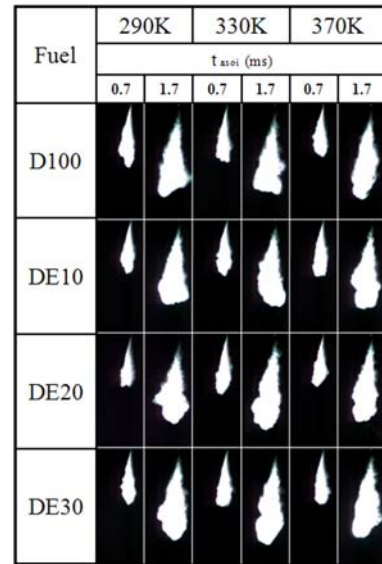
Table 2 Experimental conditions

Test fuels	D100, DE10, DE20, DE30	
Energizing duration	0.7 ms	
Spray visualization system	Injection pressure	60, 120 MPa
	Ambient pressure	2 MPa
	Fuel temperature	290, 330, 370 K
PDPA system	Injection pressure	60 MPa
	Ambient pressure	0.1 MPa
	Fuel temperature	290 K

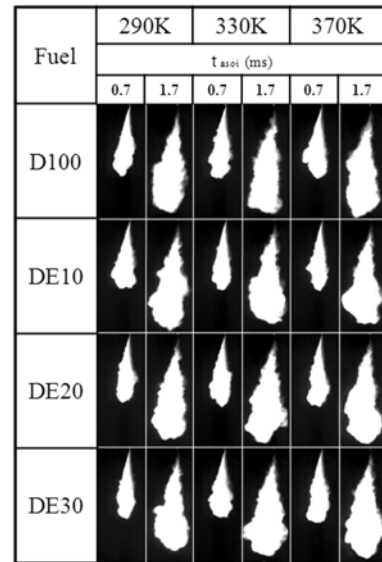
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 분무의 거시적 특성

Fig. 4는 에탄올 혼합비와 연료온도에 대한 분무 발달 과정을 분사 압력($P_{inj}=60\text{MPa}$, 120MPa)에 따라 분류하고 분사 시작 후 경과 시간 0.7ms와 1.7ms에서의 이미지를 나타내었다. 분무 거동은 분사액적의 운동에너지와 주변 공기 저항력의 서로 반대되는 힘에 의한 상대속도에 의해 영향을 받는다.¹³⁾ 에탄올 혼합비가 10%씩 증가함에도 불구하고 분무의 거동은 분사시작 후 경과 시간 0.7ms, 1.7ms에서 현저한 차이를 보이지 않았다. 또한, 모든 혼합연료에 대해 연료온도를 290K, 330K, 370K로 증가시킨 경우 분사 시작 후 경과시간 0.7ms, 1.7ms에서의 분무 거동은 큰 차이를 확인할 수 없었다. 그러나, 분사압력이 증가할수록 혼합연료의 분무 도달 거리와 분무 면적은 더욱 증가하였고, 분무의 발달은 축 및 반경 방향으로 빠르게 진행되었다. 따라서, 혼합연료의 거시적 분무 특성은 에탄올 혼합비 및 연료온도



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



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

Fig. 4 Effect of fuel blending ratio and fuel temperature on the spray development process ($P_{amb}=2\text{MPa}$, $t_{eng}=0.7\text{ms}$)

의 변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 또한, 디젤-에탄올 혼합연료의 거시적 분무특성은 분사압력의 증가에 따른 높은 분사속도와 운동량을 가지는 액적들이 주위공기와의 상호작용에 의한 마찰과 혼합이 활발해져 분무 거동 및 확산이 더 활발히 이루어진 것으로 판단된다.

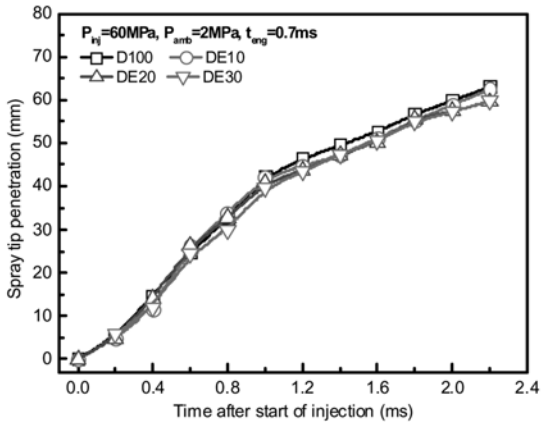
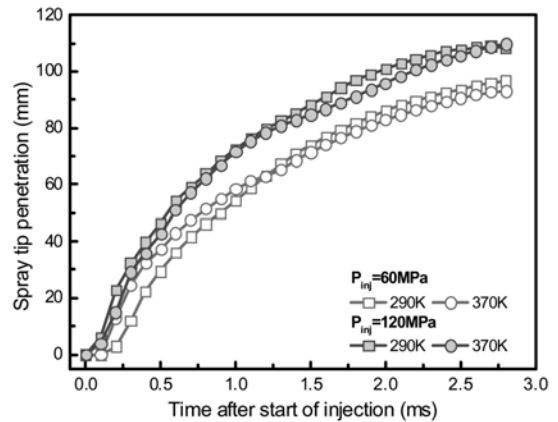


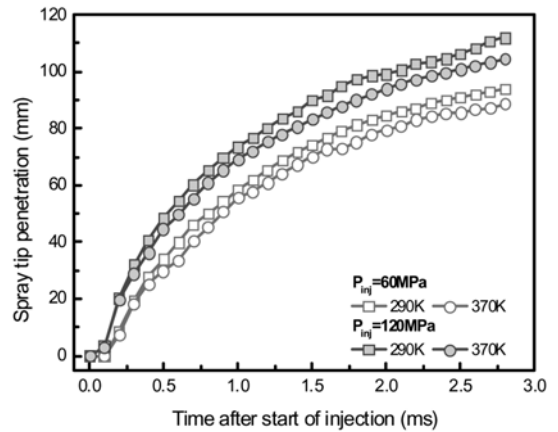
Fig. 5 Effect of fuel blending ratio and injection pressure on the spray tip penetration ($P_{amb}=2MPa$, $t_{eng}=0.7ms$)

Fig. 5는 Fig. 4의 실험결과로부터 분무 도달 거리를 정량적으로 나타낸 것이다. 분무 도달 거리는 노즐팁에서 분무의 선단이 도달하는 최대거리로 정의하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 에탄올 혼합비의 증가에 따라 분무 도달 거리가 다소 작아지는 경향을 나타내었지만, 현저한 차이는 확인할 수 없었다. 에탄올 혼합비 증가에 따른 분무 도달 거리의 감소는 혼합연료의 밀도가 감소했기 때문인 것으로 판단된다. 분무 영상 사진의 분석결과 분사압력 60MPa, 통전시간 0.7ms로 분사하였을 경우, 디젤 및 혼합연료의 실제 분사시간은 약 1.0ms인 것으로 측정되었다. 이것은 분사되는 연료의 관성력 때문에 통전이 끝난 후 인젝터의 니들이 닫히는 시간이 소요되었기 때문이다. 또한 분사 시작 후 시간에 대한 분무 도달 거리의 기울기는 분사 시작 후 약 1.0ms 부근에서부터 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 인젝터로 통전이 되어 분사되는 초기에는 연료의 액적이 가지는 운동량으로 인해 분무 도달 거리가 급격히 증가하였으나, 분사종료 이후에는 연료 자체의 운동량이 급격히 소멸되고, 주위기체와의 마찰 등으로 인해 분무 도달 거리의 기울기가 감소되는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 연료온도의 조건에 따른 분무 도달 거리를 정량적으로 나타낸 것이다. Fig. 6(a), (b)에서 보는 바와 같이 연료온도가 290K에서 370K로 증가함에 따라 D100의 분무 도달 거리는 약 3% 정도 감소하였고, DE30의 분무 도달 거리는 약 6.8% 정도 감



(a) D100



(b) DE30

Fig. 6 Effect of fuel blending ratio and fuel temperature on the spray tip penetration ($P_{amb}=2MPa$, $t_{eng}=0.7ms$)

소하였습니다. 연료온도의 증의 증가에 따라 DE30의 분무 도달 거리 감소폭이 큰 것을 확인할 수 있었다. 혼합연료 DE30의 분무 도달 거리는 연료온도 증가에 의한 감소된 밀도와 점성¹⁴⁾의 영향으로 분사된 연료의 운동량이 감소하였고 에탄올의 끓는점(78.32°C)을 초과하는 연료온도로 인해 분사된 혼합연료의 에탄올이 빠르게 증발함으로 인해 분무 도달 거리는 감소하는 것으로 판단된다.

Fig. 7과 Fig. 8은 에탄올 혼합비와 연료온도가 분무각에 미치는 영향을 분석한 것이다. 분무각은 분무의 양측 외곽 지점과 노즐팁을 이은 두 직선사이의 각으로 정의하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 디젤-에탄올 혼합연료의 분무각은 분사가 진행됨에

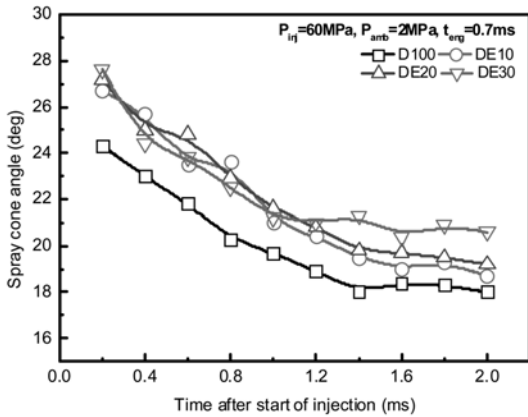
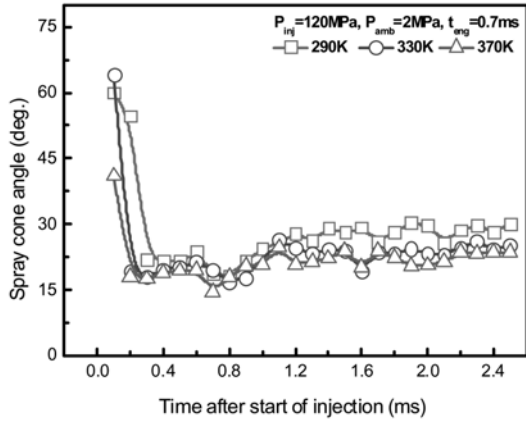
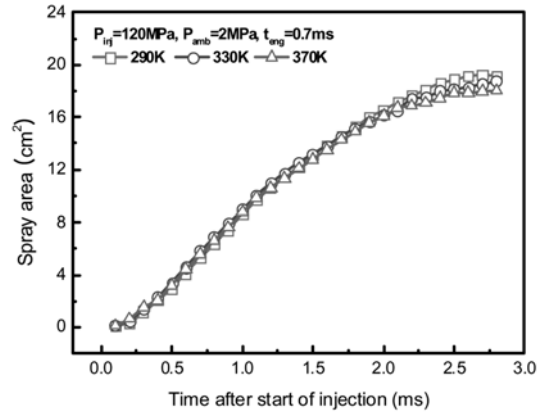


Fig. 7 Effect of fuel blending ratio on the spray cone angle ($P_{amb}=2MPa$, $t_{eng}=0.7ms$)

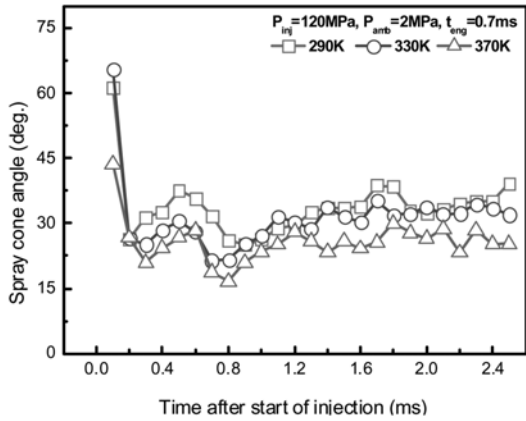
따라 분무각은 점점 감소하였고, 혼합연료 내 에탄올 혼합비가 증가할수록 분무각이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 에탄올의 낮은 점도와 표면장력으로 미립화가 잘 일어나고, 주변 공기와의 혼합 및 유입이 활발하게 일어났기 때문이라 판단된다. 또한, 분사되는 연료의 밀도감소로 인해 축 방향 운동량이 반경 방향 분무 액적 운동량보다 많이 감소한 것도 원인이 될 것으로 판단된다. Fig. 8(a), (b)에서 보는 바와 같이 D100과 DE30의 분무각은 실험연료의 연료온도에 증가에 감소하였다. 이는 분무 외곽과 주위 기체사이의 비교적 작은 액적들이 연료온도의 영향으로 쉽게 증발이 일어나게 되어 분무각이 작아진다고 판단된다.



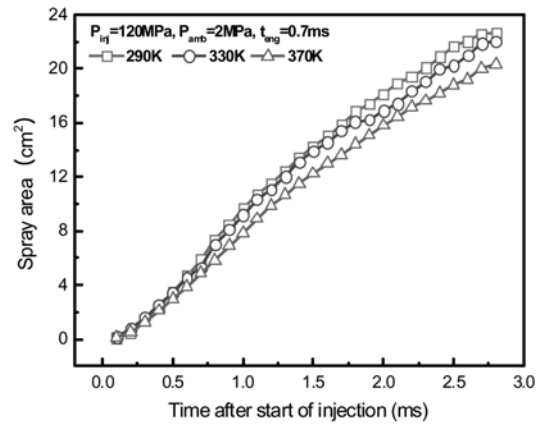
(a) D100



(a) D100



(b) DE30



(b) DE30

Fig. 8 Effect of fuel temperature on the spray cone angle ($P_{amb}=2MPa$, $t_{eng}=0.7ms$)

Fig. 9 Effect of fuel temperature on the spray area ($P_{amb}=2MPa$, $t_{eng}=0.7ms$)

Fig. 9는 연료온도 변화에 따른 실험연료 D100과 DE30의 분무 면적을 나타낸 것이다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 에탄올 혼합비가 증가함에 따라 분무 면적은 증가하였고, 연료온도의 증가는 분무 면적을 감소시켰다. 에탄올 혼합비의 증가로 인한 감소된 점도와 표면장력으로 분무각은 증가하였고, 결국 분무 면적이 넓어졌다고 판단된다. 반면, 연료온도의 증가로 인한 연료의 감소된 점도와 표면장력의 영향보다 연료 증발특성의 영향으로 분무 면적은 감소하였다. 특히, 혼합연료 DE30에서 에탄올의 끓는점 이상의 연료온도를 공급함에 따라 분무 외곽 지점에서 에탄올을 포함하는 혼합연료의 작은 액적들이 빠르게 증발을 하면서 분무 면적이 감소함을 확인하였다.

3.2 분무의 미시적 특성

본 연구에 사용된 SMD(Sauter mean diameter)는 연료 분무의 미립화 특성을 나타내는 가장 대표적인 평균 직경으로 액적군의 총 표면에 대한 총 체적의 비로 나타낼 수 있다. 또한, Local SMD란 각 측정 지점에 지나는 액적들의 크기를 평균하여 나타낸 것이다. Fig. 10은 디젤-에탄올 혼합연료의 축 방향과 반경 방향 거리에 따른 SMD 분포를 나타낸 것이다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 모든 혼합 연료의 분무는 축 방향과 반경 방향으로 진행됨에 따라 SMD가 미세하게 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 분무가 축 방향과 반경 방향으로 진행할수록 주위 기체의 저항과 마찰에 의해 액적의 분열이 활발해짐으로 SMD가 작아짐을 의미한다. 에탄올 혼합비가 증가함에 따라 각 측정 지점에서 SMD가 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 액적의 분열과 미립화에 영향을 미치는 표면장력과 점도가 에탄올 혼합비의 증가에 의해 감소되어 주위 기체의 항력에 의해 액적 분열이 쉽게 일어나기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 에탄올 연료의 혼합은 디젤 연료의 미립화 성능을 향상시킨다고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 디젤-에탄올 혼합연료를 사용하여 혼합연료 내 에탄올의 혼합비와 혼합연료의 온

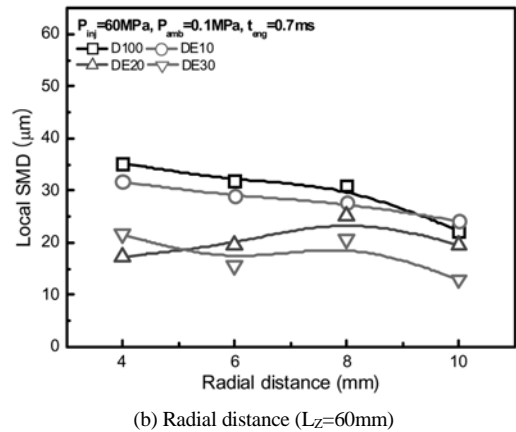
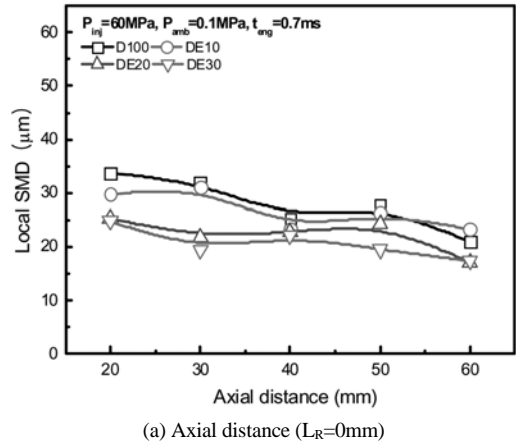


Fig. 10 Effect of fuel composition on the local SMD ($P_{amb}=0.1MPa$, $t_{eng}=0.7ms$)

도 조건 변화에 따른 거시적 · 미시적 분무 거동 특성에 대한 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 디젤-에탄올 혼합연료의 분무 도달 거리는 혼합비가 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 나타내었으나, 현저한 감소는 확인할 수 없었다. 반면, 혼합연료 DE30의 경우 연료온도를 370K까지 높였을 때 분무 도달 거리는 감소하였다. 이것은 에탄올 혼합비율의 증가와 높은 연료 온도가 혼합연료의 밀도 감소를 통한 분무 운동량의 감소로 인해 분무 도달 거리가 감소한 것으로 판단된다.
- 2) 에탄올 혼합비의 증가는 혼합연료의 분무각 증가에 영향을 주었으며, 연료온도의 증가는 혼합

연료 내 에탄올 연료의 증발에 영향을 주어 분무 각이 감소하는 경향을 나타내었다.

- 3) 디젤-에탄올 혼합연료의 분무 면적은 에탄올 혼합비율이 증가와 연료온도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이것은 혼합연료 내 에탄올 연료 액적의 빠른 증발과 연료온도 및 혼합비 변화에 따라 분무 외주 영역에서 주변 기체와의 혼합이 주된 원인으로 판단된다.
- 4) 혼합 연료 내 에탄올의 혼합비율이 증가함에 따라 표면장력 및 점성계수의 감소로 인해 SMD는 감소하는 경향을 보여, 혼합연료 내 에탄올이 디젤 연료의 미립화를 증진시키는 것으로 판단할 수 있다.

후 기

본 연구는 환경부 Eco-STAR project (무·저공해 자동차 사업단)와 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다. 또한 2단계 두뇌한국21 사업의 지원으로 진행되었으며, 연구를 지원하여 주신 기관에 감사드립니다.

References

- 1) H. L. MacLean, L. B. Lave, R. Lankey and S. Joshi, "A Life-cycle Comparison of Alternative Automobile Fuels," Journal of the Air & Waste Management Association, Vol.50, No.10, pp.1769-1779, 2000.
- 2) H. Hiroyasu and M. Arai, "Structure of Fuel Sprays in Diesel Engines," SAE 900475, 1990.
- 3) M. K. Veltman, P. K. Karra and S. C. Kong, "Effects of Biodiesel Blends on Emissions in Low Temperature Diesel Combustion," SAE 2009-01-0485, 2009.
- 4) V. L. Stringer, W. L. Cheng, C. F. Lee and C. Hansen, "Combustion and Emissions of Biodiesel and Diesel Fuels in Direct Injection Compression Ignition Engines using Multiple Injection Strategies," SAE 2008-01-1388, 2008.
- 5) A. C. Hansen, P. W. L. Lyne and Q. Zhang, "Ethanol-diesel Blends: A Step towards a Bio-based Fuel for Diesel Engines," ASAE No. 01-6048, 2001.
- 6) A. V. Pantar and K. C. Corkwell, "E-diesel : A Viable Alternative Fuel," SAE 2004-28-0074, 2004.
- 7) H. Kim and B. Choi, "Effect of Ethanol-diesel Blend Fuels on Emission and Particle Size Distribution in a Common Rail Direct Injection Diesel Engine with Warm-up Catalytic Converter," Renewable Energy, Vol.33, pp.2222-2228, 2008.
- 8) L. Magi'n, A. Octavio and G. C. Reyes, "Stability of Diesel-bioethanol Blends for Use in Diesel Engines," Fuel, Vol.86, Issues 10-11, pp.1351-1357, 2007.
- 9) C. A. Hansen, Q. Zhang and P. W. L. Lyne "Ethanol-diesel Fuel Blends-a Review," Biore-source Technology, Vol.96, Issue 3, pp.277-285, 2005.
- 10) A. Mohammadi, S. Kee, T. Ishiyama, T. Kakuta, and T. Matsumoto, "Implementation of Ethanol Diesel Blend Fuels in PCCI Combustion," SAE 2005-01-3712, 2005.
- 11) P. Ludivine, P. Laurie and J. Nicolas, "Ethanol as a Diesel Base Fuel Potential in HCCI Mode," SAE 2008-01-2506, 2008.
- 12) H. Chen, J. Wang, S. Shuai, X. An and W. Chen, "Effects of Ethanol in Ester-ethanol-diesel Blended Fuels on Spray Behavior and PM Emission," SAE 2006-01-0236, 2006.
- 13) A. H. Lefebvre, Atomization and Sprays, Taylor&Francis, USA, 1989.
- 14) 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.