

< 논문 >

Mie 산란광법 및 Shadowgraph법을 이용한 다성분 혼합연료의 증발특성연구

윤준규[†] · 명광재^{*} · 千田二郎^{**} · 藤本元^{**} · 차경옥^{***}
(2006년 3월 16일 접수, 2006년 5월 30일 심사완료)

A Study on Evaporative Characteristics of Multi-component Mixed Fuels Using Mie Scattered Light and Shadowgraph Images

Jun-Kyu Yoon, Kwang-Jae Myong, Jiro Senda, Hajime Fujimoto and Kyung-Ok Cha

Key Words: Multi-component Mixed Fuels(다성분 혼합연료), Mie Scattered Light(Mie 산란광), Evaporative Characteristics(증발특성), Liquid Length(액상길이)

Abstract

This study was conducted to assess the effect of mixed fuel composition and mass fraction on spray inner structure in evaporating transient spray under the various ambient conditions. Spray structure and spatial distribution of liquid phase concentration are investigated using a thin laser sheet illumination technique on the multi-component mixed fuels. A pulsed Ar⁺ laser was used as a light source. The experiments were conducted in a constant volume vessel with optical access. Fuel was injected into the vessel with electronically controlled common rail injector. Used fuel contain i-octane(C₈H₁₈), n-dodecane(C₁₂H₂₆) and n-hexadecane(C₁₆H₃₄) that are selected as low-, middle- and high-boiling point fuel, respectively. Experimental conditions are 25MPa, 42MPa, 72MPa and 112MPa in injection pressure, 5kg/m³, 15kg/m³ and 20kg/m³ in ambient gas density, 400K, 500K, 600K and 700K in ambient gas temperature, 300K and 368K in fuel temperature, and different fuel mass fraction. Experimental results indicate that the more high-boiling point component, the longer the liquid phase it were closely related to fuel physical properties, but injection pressure had no effect on. And there was a high correlation between the liquid phase length and boiling temperature at 75% distillation point.

1. 서론

산업발달에 따라 지구온난화와 화석연료의 고갈이 점점 심각해짐으로써 전 세계적으로 환경보전에 대한 강구책을 마련하기 위해 끊임없는 연구가 절실히 요구되고 있다. 특히 자동차의 배출

가스에 함유되는 PM, NO_x 및 CO₂ 등의 배기성분은 환경오염 및 지구온난화에 큰 영향을 미치고 있으므로 이에 대한 배출가스저감 대책안으로 새로운 연소시스템개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 그 예로서 균일 예혼합 압축착화(HCCI; Homogeneous Charge Compression Ignition) 및 대체연료 등이 연구되고 있지만, HCCI는 운전부하영역이 좁아 적용범위가 제한되며, 대체연료로서는 인프라구축을 위해 많은 시설 및 정비가 요구되어 많은 문제점을 안고 있다. 이를 해결하기 위해서 기존 연료의 분무연소현상에 제어법을 최

[†] 책임저자, 회원, 경원전문대학 자동차과
E-mail : jkyoon@kwc.ac.kr
TEL : (031)750-8843 FAX : (031)750-8849

^{*} 일본 교통안전환경연구소 환경연구부

^{**} 일본 동지사대학 기계공학과

^{***} 회원, 명지대학교 기계공학과

적합 연구할 필요가 있다. 따라서 디젤분무는 분사되는 연료가 기상과 액상으로 나타나는 거동에 의하여 기관의 연소 및 배출가스특성에 영향을 미치기 때문에 비점이 다른 연료를 혼합한 다성분연료의 분무연소제어법이 제안되고 있다. 이에 따른 연구동향으로 Krämer 등⁽¹⁾은 레이저유도형 광법을 이용한 다성분연료의 분무특성을 촬영함으로써 저비점성분은 연소실내에 균일한 분포를, 중비점성분은 실린더내의 유동에 따라 불균일한 분포를 나타남을 관찰하였으며, Abraham 등⁽²⁾은 디젤기관의 냉간운전시 분위기조건에서 다차원간이증발모델을 적용하여 다성분 혼합연료중의 각 성분의 증기분포가 공간적인 층류분포를 이루어 연소 및 배출가스에 큰 영향을 미친다고 하였다. 그 밖에 다성분 혼합연료의 증발 및 착화연소해석⁽³⁻⁶⁾에 의해서 연료증기의 공간분포를 재현시켜 정성적인 연구의 가능성을 제시하였다.

본 연구에서는 다성분 혼합연료를 사용하여 비연소장에서 연료조성, 분사조건, 분위기조건 등을 변화시켜 Mic 산란광법 및 Shadowgraph법에 의해 기·액상을 동시촬영한 증발거동 및 액상길이의 특성을 고찰하고, 이들 인자가 다성분 혼합연료의 증발과정에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험연료

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 다성분 혼합연료의 각 성분의 분류곡선을 수치계산⁽⁷⁾에 의해 산출하여 나타낸 것이다. 이는 3성분 연료인 i-옥탄, n-도데칸, n-헥사데칸의 혼합연료의 질량분율을 6:3:1(연료 a), 1:3:6(연료 c)으로 혼합시켜 각 압력 및 온도에서 Fugacity을 산출하여 기액평형을 추산하였다. 연료 a를 보면 저비점성분인 i-옥탄을 다량으로 함유한 것으로 증류개시가 저온측으로부터 이동하고 있음을 알 수 있으며, 반대로 연료 c에서는 각 성분의 증류개시가 고온측으로부터 이동한다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 연료분무중의 각 성분의 증발과정은 각각 물성치 및 함유량이 다르므로써 증발특성도 다르다.

본 실험연료는 실제연료에 가깝도록 저·중·고비점의 3성분연료인 i-옥탄, n-도데칸 및 n-헥사데칸을 질량분율 6:3:1, 1:1:1, 1:3:6으로 혼합한 다성분연료를 사용하여 편의상 연료 a, b, c로 정하

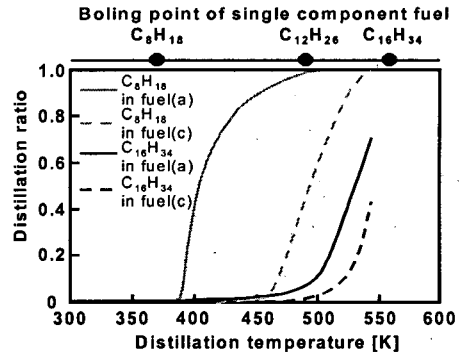


Fig. 1 Distillation curve of each component in multi-component fuels

Table 1 Fuel Properties for single and multi-component fuels

Properties	Fuel	C_8H_{18}	$C_{12}H_{26}$	$C_{16}H_{34}$
Boiling point ,	[K]	372	489	560
Density(at 293K),	[kg/m ³]	692	759	795
Viscosity(at 293K),	[μPa · s]	508	1,543	3,399
Latent heat of vaporization (at 298K),	[kJ/kg]	305.4	360.0	358.3
Latent heat of vaporization (at B.P),	[kJ/kg]	272.0	256.6	227.4
Properties	Fuel	Fuel(a)	Fuel(b)	Fuel(c)
Density(at 293K),	[kg/m ³]	722	748	773
Viscosity(at 293K),	[μPa · s]	825	1,265	2,061
Critical pressure,	[MPa]	2.72	2.43	1.85
Critical temperature,	[K]	604	654	690
Surface tension, σ	[mN/m]	23.38	25.99	28.57

였으며, 이 연료의 물성치는 Table 1과 같다.

3. 실험장치 및 실험방법

고온·고압장에서 다성분 혼합연료의 분무특성을 해명하기 위해서 정적용기를 이용하여 분무의 광학적 계측을 하였다. Fig. 2는 실험에 사용되는 고온·고압용기인 정적용기의 개략도를 나타내었고, 용기의 재질은 SS41로서 설정압력은 3.4MPa, 최대사용압력은 3.0MPa이다. 고압용기에는 레이저시이트광 입사용 및 관측용의 유리창(직경 120 mm, 두께 45mm)을 직교하도록 부착시켰다. 유리창은 자외광의 통과성 및 내열성을 고려해서 합성석영유리를 사용하였으며 입사레이저광의 감쇠를 막기 위해 무반사 코팅을 하였다.

Fig. 3은 분무의 증발특성을 고찰하기 위해 정

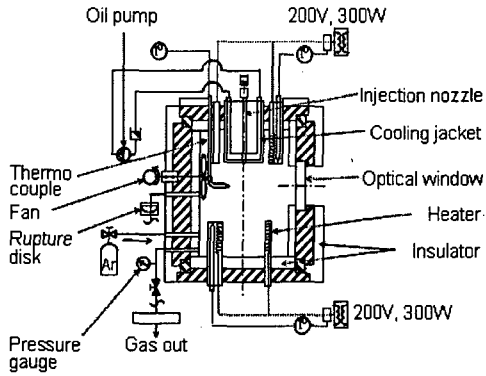


Fig. 2 Schematic of constant volume vessel

적용기를 이용한 광계측시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 본 실험장치에서 정적용기 내에 연료를 분사하여 Shadowgraph법에 의해 분무전체의 밀도구배를, Mie 산란법에 의해 분무액상부분의 전체의 상을 촬영하였다. 이 때 광원은 488nm의 Ar+레이저(Spectra Physics : Stabilite 2017)를 이용하였고, 레이저광은 전반사미러를 넣어 편 블록 렌즈로 의해 점광원으로 되어 Schlieren 렌즈($\phi 100, f=1000\text{mm}$)에 의해 평행광을 형성한다. 정적용기 내를 통과한 평행광은, 전반사미러를 통해 Schlieren 렌즈($\phi 100, f=1000\text{mm}$)를 사용하여 다시 집광시켜 고속도 카메라(Kodak: EKTAPRO HS motion Analyzer, Model 4540)로 현상을 촬영하였다. 촬영속도는 9000f.p.s이고, 사용렌즈는 Nikkor (NIKON, $f=150\text{mm}$)이다. Shadowgraph촬영시에는 분무밀도군의 포화를 방지하기 위해 ND(Neutral Density) 필터를 카메라렌즈 앞에 설치하였다. 한편, 액적에서의 Mie 산란광은 평행광의 직각방향에서 고속도 카메라로 촬영하였다.

실험조건은 Table 2에 나타낸 바와 같다. 실험에서 연료분사계는 일본 Denso제 커먼레일시스템 (ECD- U2, $\phi 0.2$ 의 단공노즐)을 사용하였으며 분사압력을 25, 42, 72, 112MPa으로, 분사량을 12mg으로 일정하게 하였으며, 연료온도는 냉간시동시와 정상운전시의 연료온도가 액적증발에 주는 영향을 조사하기 위해서 300K와 368K로 설정하였다. 그리고 분위기온도는 400K에서 700K까지로 100K간격으로 하였고, 분위기밀도는 Ar가스를 사용하여 5, 15, 20 kg/m^3 로 조절하였다.

Fig. 4는 본 실험에서 화상처리를 위해 연료종류에 따라 threshold강도 5에서 150까지 액상길이를 계측한 결과를 나타낸 것이다.

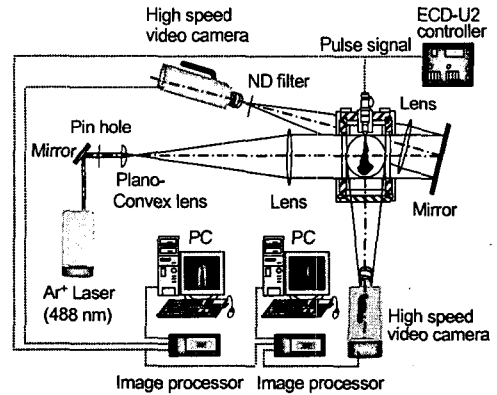


Fig. 3 Schematic of imaging system for Mie scattered light and shadowgraph

Table 2 Experimental conditions

Conditions	Fuel	Single and multi-component fuels
Injection pressure, P_{inj} [MPa]		25, 42, 72, 112
Injection Quantity, Q [mg]		12
Fuel temperature, T_{fuel} [K]		300, 368
Ambient temperature, T_{amb} [K]		400, 500, 600, 700
Ambient density, ρ_{amb} [kg/m^3]		5, 15, 20
Ambient gas		Ar

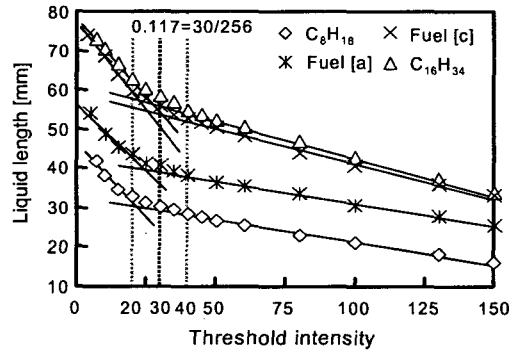


Fig. 4 Change in the liquid length on threshold intensity for single and multi-component fuels

일반적으로 연료의 종류 및 혼합비율에 따라 미립화거동이 다르기 때문에 액상길이를 결정할 필요가 있다. 그 결과로 대체로 액상길이가 threshold 30까지는 급감소하다가 그 이후에서는 완만한 감소율을 보인다. 따라서 단일성분 및 다 성분연료의 변곡점이 되는 threshold 30을 기준으로 화상처리하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 단성분 및 다성분연료의 증발거동

Fig. 5와 Fig. 6은 Mie 산란광과 Shadowgraph 이미지를 중첩한 결과를 나타낸 것으로서 그림 중에 하얀 부분은 액적의 산란광, 검은 부분은 Shadowgraph에 해당한다.

Fig. 5는 연료온도 368K, 분사압력 72MPa, 분위기밀도 15kg/m³에서 분위기온도를 600K와 700K로 변화시킨 결과로서, 단성분연료의 경우는 탄소수 감소와 분위기온도 상승으로 액상길이를 단축 시킴으로 단면적이 감소된다. 즉 탄소수 감소로 비점이 낮아져 분위기온도 상승으로 증발이 촉진되어 액상길이의 감소는 i-옥탄이 현저하고, 액상부 단면적의 감소는 n-헥사데칸이 현저하다. 따라서 기상영역은 탄소수가 적고 분위기온도가 상승

할 때 증대되면서 희박해지는 경향을 나타낸다.

다성분연료의 경우는 동일한 분위기온도하에서 고비점성분이 증가하면 액상길이는 길어지지만 증가비율은 단성분연료의 탄소수증가에 비해 완만하며, 분위기온도 상승에 따라 액상단면적과 액상길이가 크게 영향을 받아 액상길이가 짧아진다. 다성분연료의 기상에 관해서는 단성분연료의 경우와 거의 비슷한 경향을 보이지만, 고비점성분을 많이 함유한 연료 c는 n-헥사데칸에 비해 좀 더 희박해지는 경향을 보인다.

Fig. 6은 연료온도를 300K와 368K로 변화시켰을 때 액·기상에 대한 경향은 Fig. 5와 같이 분위기온도를 변수로 하는 경우와 거의 비슷하나, 그 영향은 단성분연료에 비해 다성분연료의 경우가 다소 작다. 그 결과로부터 다성분연료의 혼합비율에 따라 그 액상길이 및 증발과정에 대해서 제어가 가능함을 시사하고 있다.

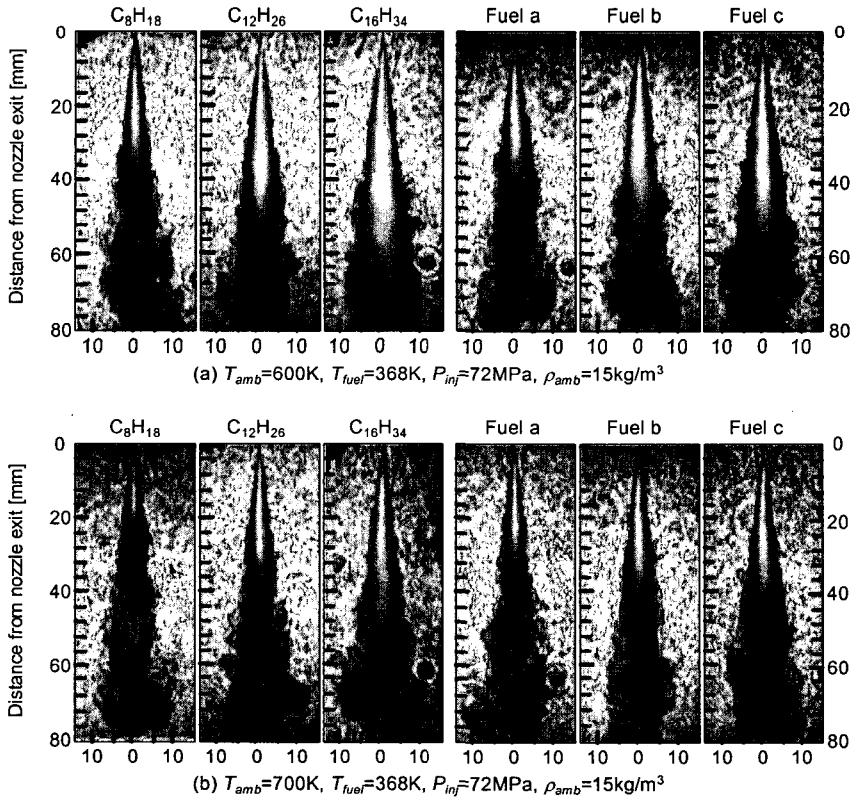


Fig. 5 Superimposed image of Mie-scattering and shadowgraph at dimensionless time $t/t_{n,i}=1.0$

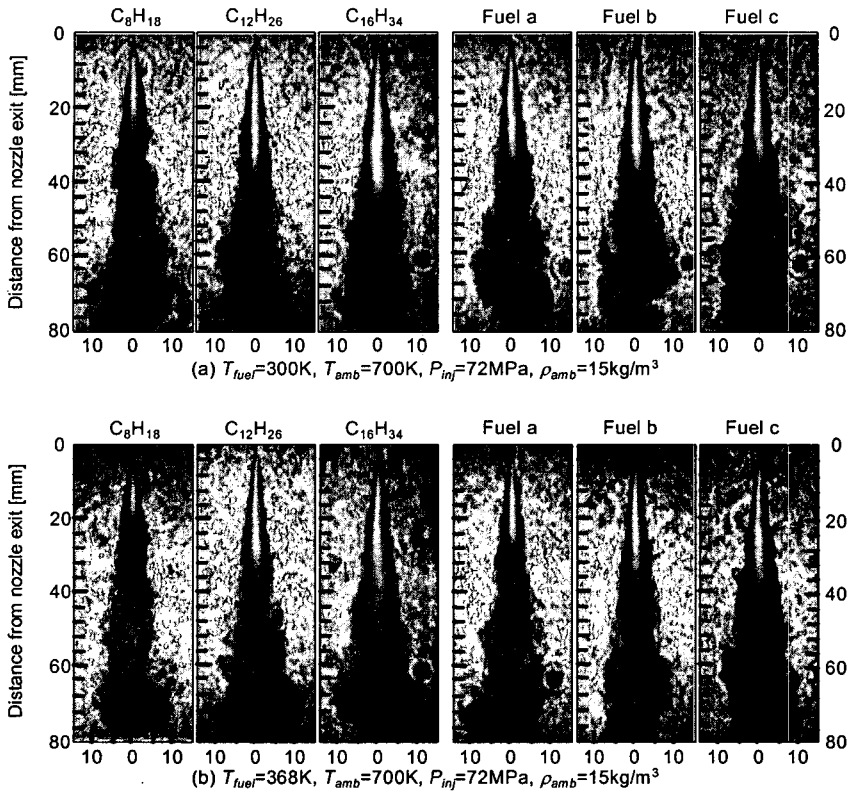


Fig. 6 Superimposed image of Mie-scattering and shadowgraph at dimensionless time $t/t_{inj}=1.0$

그러나 기관의 냉간시동시를 고려한 연료온도를 300K로 고려한다면, 다성분연료와 같은 긴 액상길이는 연료량이 연소실벽면에 부착될 수 있어 HC 또는 백연 발생이 우려될 수 있다.

Mie 산란광과 Shadowgraph의 등농도 C_M , C_S 를 분석하기 위해 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C_M = I_{M,S} / I_{Max} \quad (1)$$

$$C_S = I_{S,S} / I_{Max} \quad (2)$$

여기서, $I_{M,S}$: Mie 산란광의 강도, I_B : Mie 산란광의 최대강도, $I_{S,S}$: Shadowgraph 강도, I_{Max} : Shadowgraph의 최대강도이다.

Fig. 7은 Fig. 6(b)에서 얻어진 Mie 산란광 및 Shadowgraph의 실험결과를 각각의 등농도 C_M , C_S 로 분석하여 분포를 나타낸 것이다. Fig. 7(a)에서 i-옥탄과 저비점성분이 많은 연료 a의 Mie 산란광의 등농도선을 비교하면, 연료 a는 중·고비점성분의 혼합에 의한 밀도증가에 따라서 운동

량이 증가하고 액상길이는 길어지며, 액상의 수밀도가 높은 영역인 $C_M=0.8, 0.9$ 는 축방향으로 증가한다. n-헥사데칸과 연료 c에서는 등농도선 $C_M=0.7$ 의 최대도달거리에는 거의 차이가 없지만, 분무중심부의 고밀도에 대응한 $C_M=0.9$ 의 최대도달거리는 $C_M=0.7$ 의 경우에 비해 상당히 단축된다. 이것은 저비점성분의 첨가에 의해 고비점성분의 미립화 또는 증발이 촉진되기 때문이라 사료된다. 그리고 중비점성분의 n-도데칸과 연료 b와의 액상길이를 비교하면 큰 차이는 보이지 않는다. 이는 연료의 밀도 및 점성이 거의 비슷한 결과로 생각된다. Table 1에 의하면 연료 a의 밀도 및 점성은 i-옥탄에 비해 각각 4.3%, 62.5% 정도로 증가하고, 연료 c는 n-헥사데칸보다 각각 2.7%, 39.3% 정도로 감소한다. 이에 비해 연료 b와 n-도데칸의 경우는 밀도와 점성의 차가 각각 1.4%, 18%로 비슷한 물성치를 나타내므로 다른 연료특성에 비해 액상길이는 큰 변화가 없다.

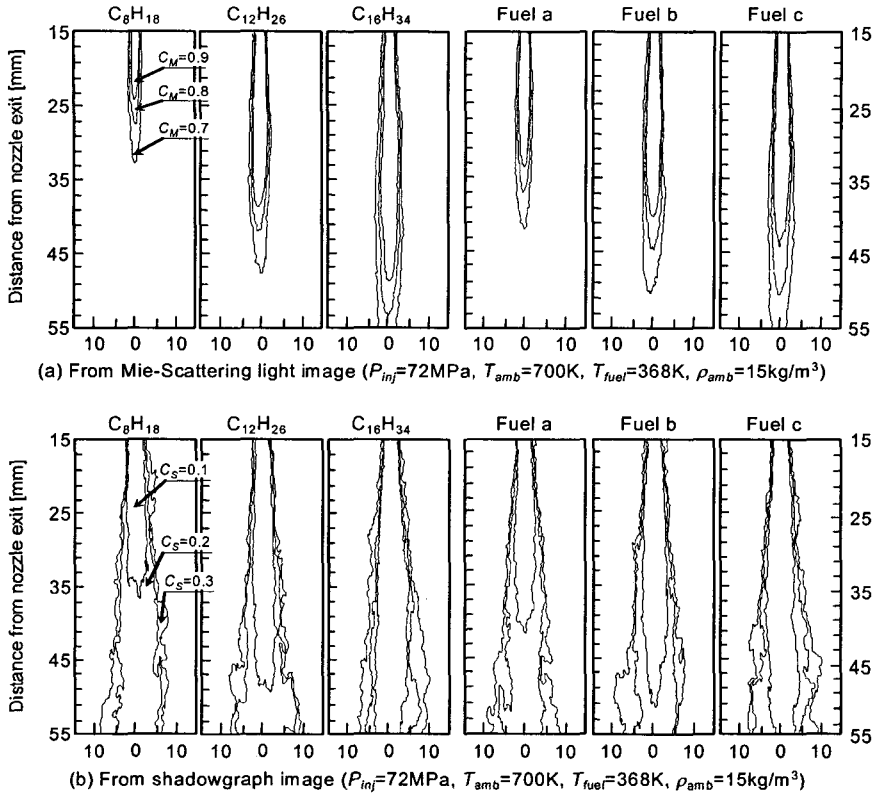


Fig. 7 Intensity contours on Mie-scattering and shadowgraph at $t/t_{inj}=1.0$

Fig. 7(b)에서 Shadowgraph의 등농도선 $C_S = 0.1$ 의 최대 도달거리는 모든 연료에 대하여 Fig. 7(a)의 액상의 등농도선 $C_M = 0.7$ 의 경우와 거의 비슷한 경향을 보여주고 있으므로 편의상 이것을 액상길이라 할 수 있다. 등농도선 $C_S = 0.2, 0.3$ 의 영역을 기상으로 가정한다면, 연료 a는 연료 c보다 분무의 상류부에서 혼합기를 형성하므로 그 단면적은 연료 c보다 작기 때문에 빠르게 확산된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 연료물성에 따라 액상길이를 예측한 결과를 나타내었다. 그 결과로, 연료의 밀도증가에 따라 액상길이는 선형적으로 길어진다. 즉 액상길이는 연료의 물성과 밀접한 관계를 갖는다. 따라서 단성분연료와 다성분연료의 물성중 특히 연료밀도가 거의 비슷하면 이 액상분포도 비슷한 경향을 보여준다. 그러나 다성분의 각 연료는 비중, 증발잠열 등이 서로 다르므로 미립화거동이 거의 비슷할지라도 증발과정 및 혼합기형성·확

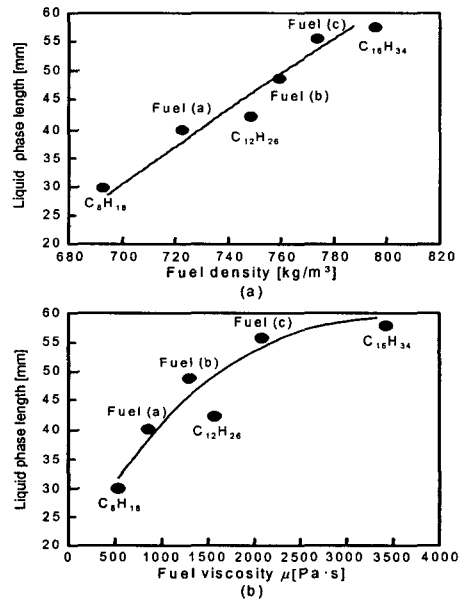


Fig. 8 Change of liquid length on viscosity ($P_{inj} = 72\text{MPa}$, $\rho_{amb} = 15\text{kg/m}^3$, $T_{amb} = 700\text{K}$, $T_{fuel} = 368\text{K}$)

산 등은 달라진다.

Fig. 9는 Mie 산란광의 화상에서 구한 시간변화에 따른 액상체적분포를 나타낸 결과이다. Fig. 9(a)의 분위기온도 600K에서는 i-옥탄의 액상체적이 가장 적고 분사직후에서 거의 일정하다. 저비점성분이 많은 연료 a의 경우는 증가비율이 작고, $t/t_{inj}=0.5$ 이후 거의 일정한 분포를 보이고 있다. 반면에 연료 b와 n-도데칸은 거의 비슷한 경향을 나타내지만, 연료 c와 n-헥사데칸에 대하여 분사종료시까지 체적이 증가하여 증발은 늦어진다. 이 경향은 각각의 연료물성에 따라 달라짐을 알 수 있다. Fig. 9(b)의 분위기온도 700K인 경우는 600K에 비해 모든 연료의 액상체적이 크게 감소한다. 이 경향은 분위기온도 600K인 경우와 거의 비슷한 분포를 보인다. 분위기온도상승에 의한 n-도데칸과 연료 b의 변화를 관찰하면, Fig. 9(b)의 분위기온도 700K에서 분사개시로부터 종료후까지 n-도데칸은 증발이 빠르고, 액상체적은 연료 b보다 적다. 그러나 Fig. 9(a)의 분위기온도 600K에서는 분사개시에서 무차원시간 $t/t_{inj} = 0.5$ 까지는 연료 b중의 저비점성분이 빨리 증발하기

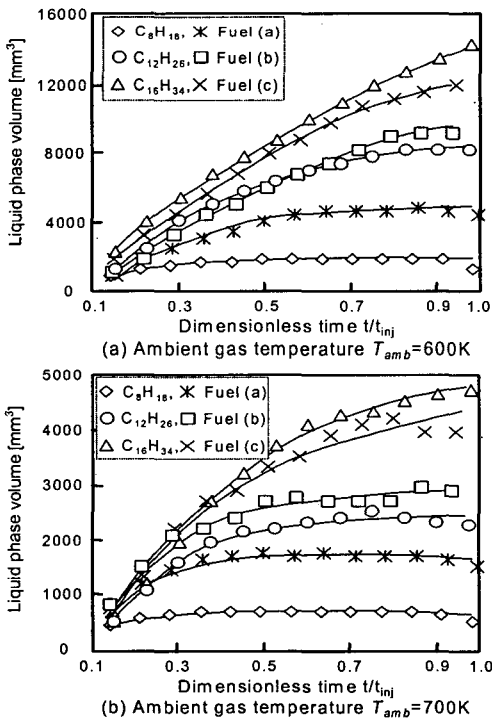


Fig. 9 Change of liquid volume on viscosity ($P_{inj} = 72MPa, \rho_{amb} = 15kg/m^3, T_{fuel} = 368K$)

때문에 연료 b의 액상체적이 적어지고, $t/t_{inj}=0.5$ 이후에서는 연료중의 고비점성분의 증발이 늦어지기 때문에 연료 b의 액상체적이 커진다. 이 결과로부터 분위기온도가 낮을수록 각 연료의 물성치에 준한 특성이 현저하여 연료의 증발거동은 다성분연료 a, b, c순으로 batch 종류특성⁽⁸⁾을 잘 나타내어 공간적인 층상분포를 예상할 수 있다.

4.2 분사압력의 영향

Fig. 10은 분위기온도 700K, 분위기밀도 $15kg/m^3$, 연료온도 300K 및 368K에서 분사압력을 25 MPa에서 112MPa로 변화시켰을 때, 준정상영역의 평균치로 측정한 액상길이의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 10(a)에서 액상길이는 분사압력증가에 따라 약간씩 점증적으로 증가를 보이고 있는데, 이는 Siebers⁽⁹⁾의 연구결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 여기서 연료온도상승에 따라 i-옥탄, n-도데칸, n-헥사데칸의 액상길이는 각각 22%, 7%, 15%의 감소율을 나타내고 있다.

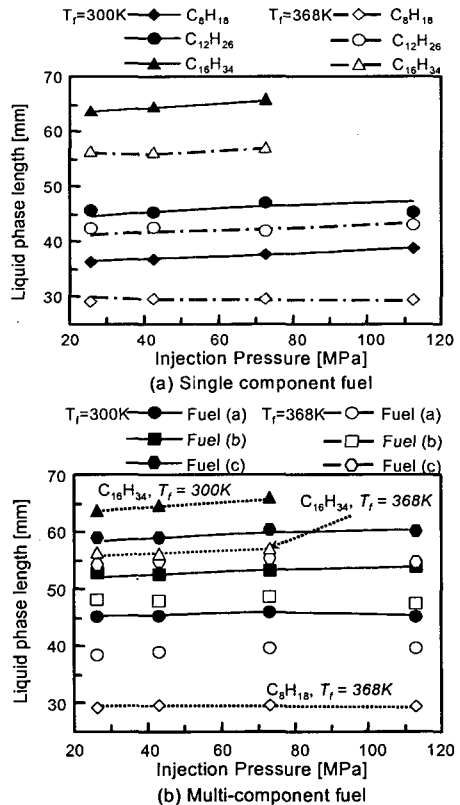


Fig. 10 Change of liquid length on injection pressure ($T_{amb} = 700K, \rho_{amb} = 15kg/m^3$)

여기서 고비점성분이 증비점성분의 감소율보다 큰 것은 비점이 높을수록 연료자체의 비점에 대한 증발잠열이 저비점성분보다 낮아지기 때문이다. 따라서 증발이 늦은 고비점성분의 경우가 연료온도상승에 따라 증발속도는 빨라짐을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 Fig. 10(b)의 다성분연료의 경우에서도 비슷한 경향을 보이며, 연료 a, b, c에서 액상길이는 연료온도상승에 따라 13.3%, 7.5%, 8.5%의 감소율을 나타낸다. 특히 연료온도 368K의 경우에서 액상길이의 증감률은, 연료 a의 경우가 i-옥탄에 비해 약 34% 정도로 증가하고, 연료 c의 경우는 n-헥사데칸에 비해 약 4%정도 감소를 나타낸다. 이 결과로부터 액상길이는 고비점성분의 함유량이 증가함에 따라 크게 달라지는 경향을 알 수 있었다.

4.3 분위기온도 및 분위기밀도의 영향

Fig. 11과 Fig. 12는 분위기온도와 분위기밀도에 따른 액상길이의 결과를 나타내었다.

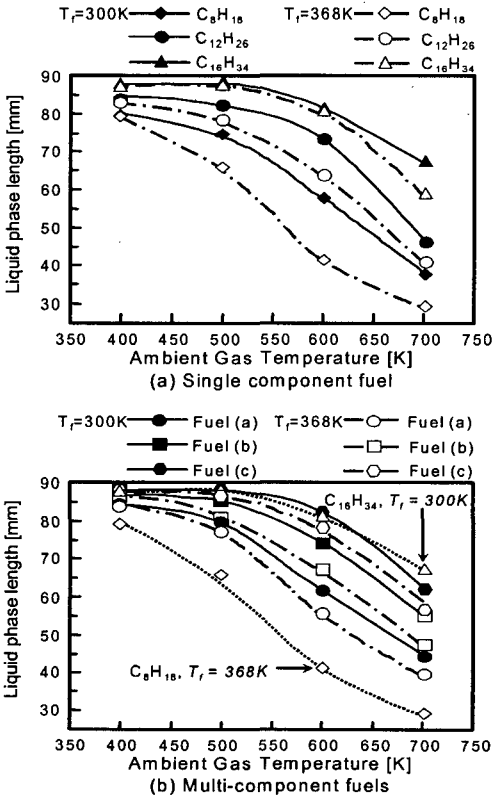


Fig. 11 Change of liquid length on ambient gas temperature ($P_{inj} = 72\text{MPa}$, $\rho_{amb} = 15\text{kg/m}^3$)

Fig. 11에서 분위기온도증가에 따라 분무에 유입되는 열역학적 에너지의 증가로 증발이 촉진되어 액상길이는 짧아지지만 그 거동은 연료의 종류 또는 혼합비율에 따라 다르고, 비선형적인 특성을 갖는다. Fig. 11(a)의 단성분에 대하여 저비점연료는 낮은 분위기온도에서도 그 영향에 따라 액상길이는 짧아진다. 이에 반해 고비점연료의 경우는 저온도장 500K, 600K에서는 그 영향은 큰 차이는 없지만, 고온도장 700K에서는 연료온도상승에 의한 영향이 크게 발생한다. 따라서 분위기온도 700K 이상이 되면 고비점성분의 증발률이 상승하기 때문에 그 차는 더욱 더 감소될 것으로 생각된다. 이와 같은 경향은 다소 연료물성에 따라 차이는 있지만, Fig. 11(b)의 다성분연료에서도 경향은 비슷하다. 이상과 같이 높은 분위기온도 및 연료온도조건에서는 연료조성에 관계없이 증발속도가 빠르기 때문에 batch 증류특성과 동시에 연료증기의 응상분포는 일어나지 않을

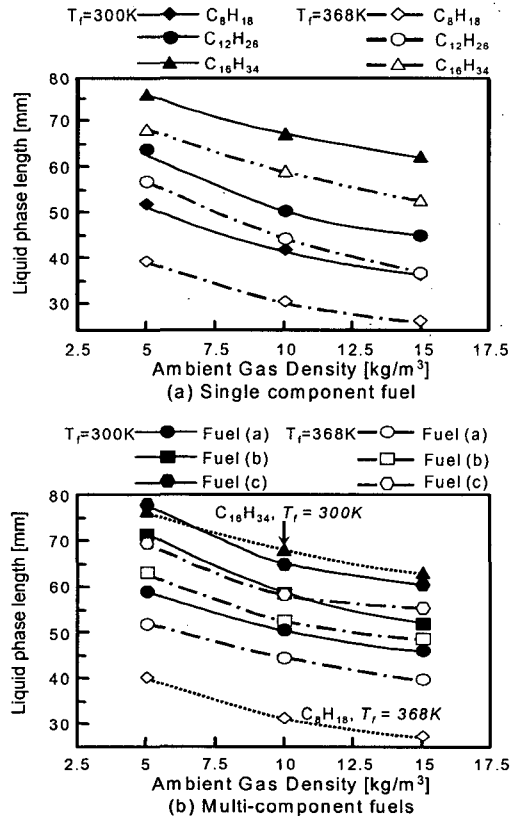


Fig. 12 Change of liquid length on ambient gas density ($P_{ini} = 72\text{MPa}$, $T_{amb} = 700\text{K}$)

것으로 생각된다.

그리고 Fig. 12의 분위기밀도와 액상길이와의 관계에서 다성분연료의 경우, 분위기밀도의 증가에 따른 액상길이는 분위기온도증가에 따른 결과보다 상당히 낮은 감소율을 보이고 있다. 이는 주위기체의 유입률 및 연료와의 혼합률이 증가함으로써 나타나는 결과로 사료된다.

결론적으로 분위기온도 및 연료온도의 증가에 따라 액상길이는 연료조성에 따라 다르지만 급감소하는 경향을 보이는 반면에, 분위기밀도증가에 따른 액상길이는 모든 연료에서 약간 감소하는 경향을 보였다. 따라서 연료조성에 따른 밀도변화는 액상길이에 그다지 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

4.4 액상길이와 증류온도와의 관계

직분식 디젤엔진에서 자기착화는 액상길이의 부근에서 일어나기 때문에 착화위치와 밀접한 상관관계를 갖는다.⁽¹⁰⁾ 따라서, 액상길이가 길어지면 미연탄화수소가 증가됨으로 액상길이와 증류온도와 관계를 고찰할 필요가 있다.

Fig. 13은 분사압력 72MPa, 분위기밀도 15kg/m³, 분위기온도 700K, 연료온도 368K에서 증류온도와 액상길이와의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 다성분연료 a, b, c는 50%, 75% 및 90% 유출점에서의 증류온도이고, 단성분연료는 비점을 나타낸 것이다. Fig. 13에서 (a)는 50% 유출점(T50), (b)는 75% 유출점(T75), (c)는 90% 유출점(T90)에서 액상길이와의 관계를 표시한 것이다. 그 결과로서, 액상길이와 증류온도는 대략적으로 선형적인 관계를 보이고 있으며, T75의 경우는 T50의 경우보다 선형성이 좋고, T90의 경우는 단성분과 다성분연료 각각의 선형성은 강하지만, 그 구배는 다르다. Canaan 등⁽¹¹⁾은 TDC에서의 분위기온도 992K, 밀도 16.6kg/m³의 조건에서 각각의 다성분연료의 액상길이를 계속하여, T50 또는 T90에서 좋은 상관관계를 갖는다고 제시한 바가 있으나 본 실험결과에서는 T75의 경우가 가장 상관성이 좋게 나타났다.

5. 결 론

Mie 산란광과 Shadowgraph의 동시계측으로부터

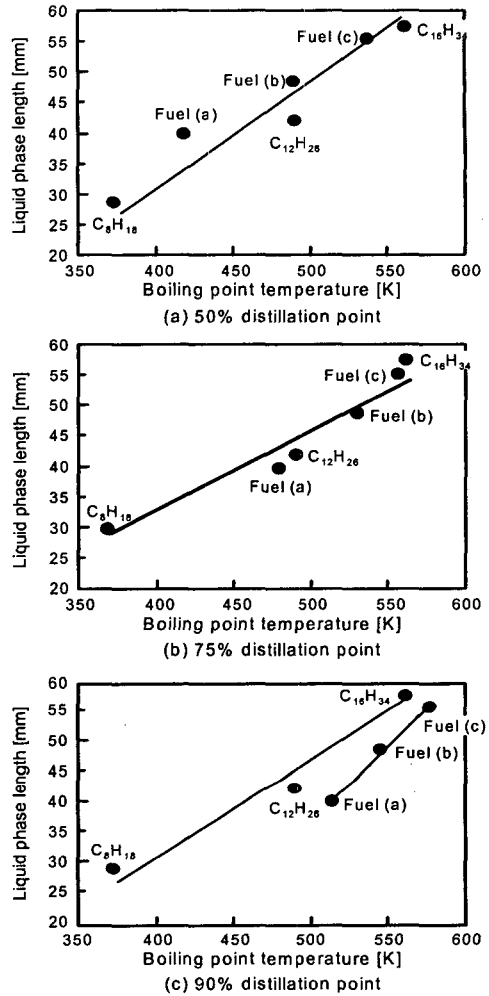


Fig. 13 Change of liquid length on boiling temp (P_{inj} = 72MPa, ρ_{amb} = 15kg/m³, T_{amb} = 700K, T_{fuel} = 368K)

분사압력, 분위기조건, 연료온도 등이 다성분 혼합연료의 분무액상길이에 미치는 영향을 고찰한 결과는 다음과 같다.

- (1) 저비점성분의 혼합비율에 따라 액상길이가 달라지므로 증발거동의 제어가 가능하다
- (2) 분무의 액상길이와 연료물성 및 밀도와는 밀접한 관계가 있으며, 연료조성에 관계없이 물성이 비슷하면 액상거동은 유사하나, 증발과정, 혼합기형성, 확산 등은 다르다.
- (3) 분무의 액상길이에 미치는 분사압력의 영향은 거의 무시할 수 있다.
- (4) 다성분 혼합연료의 액상길이는 고비점성분

이 많을수록 길어진다.

(5) 액상길이와 증류온도와의 관계는 75% 유출점(T75)에서 가장 좋은 상관성을 갖는다.

(6) 고비점연료에 저비점연료를 첨가함에 따라 고비점성분의 연료는 훨씬 증발을 촉진시킬 수 있어 연소개선에 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 수행된 연구로서, 연구를 지원해주신 관계기관에 감사드립니다.(KRF-2005-214-D00026)

참고문헌

- (1) Krärmer, H., Einecke, S. and Schulz, C., 1998, "Simultaneous Mapping of the Distribution of Different Fuel Volatility Classes Using Tracer-LIF and NIR-Tomography in an IC Engine," *SAE Paper*, No. 982467.
- (2) Abraham, J. and Magi, V., 1998, "A Model for Multi-component Droplet Vaporization in Sprays," *SAE Paper*, No. 980511.
- (3) Andreas, M. Lippert and Rolf, D. Reitz, 1997, "Modeling of Multicomponent Fuels Using Continuous Distributions with Application to Droplet Evaporation and Sprays," *SAE Paper*, No. 972882.
- (4) Akihama, K., et al, 1999, "Simultaneous Laser-Induced Fluorescence Measurements of In-Cylinder Fuel Behavior of Different Boiling Point Components," *Proc. 15th Internal Combustion Engine Symposium, Seoul*, pp. 577~582.
- (5) Yeh, C. N., Kamimoto, T., Kobori, S. and Kokata, H., 1993, "2-D Imaging of Fuel Vapor Concentration in a Diesel Spray via Exciplex-Based Fluorescence Technique," *SAE Paper*, No. 932652.
- (6) Myong, K. J., Arai, M., Suzuki, H., Senda, J. and Fujimoto, H., 2004, "Vaporization Characteristics and Liquid Phase Penetration for Multi-component Fuels," *SAE Paper*, No. 2004-01-0529.
- (7) Ely, J. F. and Huber, M. L., 1992, "Calculation by the NIST Thermo-physical Properties of Hydrocarbon Mixture Database(SURERTRAPP) version 1.0," *National Institute of Standards and Technology*.
- (8) Law, C. K., 1982, "Recent Advances in Droplet Vaporization and Combustion," *Prog. Energy Combustion Science*, Vol. 8, pp. 171~201.
- (9) Siebers, D. L., 1998, "Liquid Phase Fuel Penetration in Diesel Sprays," *SAE Paper*, No. 980809.
- (10) Espey, C. and Dec, J. E., 1995, "The Effect of TDC Temperature and Density on the Liquid Phase Fuel Penetration in a D.I. Diesel Engine," *SAE Transactions*, Vol. 104, Sect. 4, pp. 1400~1414.
- (11) Canaan, R. E., Dec, J. E., Green, G. M. and Daly, D. T., 1988, "The Influence of Fuel Volatility on the Liquid Phase Fuel Penetration in a Heavy Duty D.I. Diesel Engine," *SAE Paper*, No. 980510.