

## 함산소계 및 파라핀계 혼합 경유 및 저질유 액적의 연소특성에 관한 연구

김봉석† · 小川 英之\*

(원고접수일 : 2006년 4월 25일, 심사완료일 : 2006년 7월 13일)

### Study on Combustion Characteristics of Diesel Fuel and Low Quality Oil Droplet with Additive Oxygenate and Paraffin

Bong-Seock Kim† · Hideyuki Ogawa\*

**Abstract** : The single droplet combustion characteristics of diesel fuel and low quality oil with additive oxygenate and paraffin under high ambient temperature and atmospheric pressure were investigated in the study. The results of the study may be concluded as follows : In the combustion of diesel fuel and low quality oil droplet with additive of oxygenate and paraffin, the dimensionless droplet size of  $(D/D_0)^2$  was linearly decreased with time. A fuel droplet with low boiling temperature additives and in high boiling temperature base fuel evaporates and burns faster than usual base fuel. Especially, these trends were remarkably obtained by decreasing boiling point and increasing blending contents of additives in case of oxygenated agents rather than n-paraffin agents. This rapid burning may result from so-called "micro-explosion" and its burning intensity varies with the types of additives. The results above may suggest that rapid evaporation of oxygenate additive in the middle stage of combustion can contribute much to combustion improvement of blended fuels.

**Key words** : Combustion characteristic(연소특성), Diesel fuel(경유), Low quality oil(저질유), Single droplet(단일액적), Oxygenate(함산소계), Paraffin(파라핀계), Micro-explosion(미세폭발)

#### 기호설명

D	: droplet diameter, mm	K	: evaporation rate constant
t	: elapsed time, s	$\alpha$	: proportional
T	: combustion time, s		하첨자
$\kappa$	: combustion rate constant	0, 1, 2	: initial, steady, expire state

† 책임저자(국립원주대학 자동차기계과), E-mail:bskim@wonju.ac.kr, Tel: 033)760-8416

\* 小川 英之, 북해도대학 대학원 공학연구과

## 1. 서 론

디젤기관은 열효율이 높고 저질연료를 포함한 여러 종류의 연료를 사용할 수 있으며, 고출력을 낼 수 있어 수송용이나 선박용, 산업용 등의 주 원동기로서 널리 사용되고 있다. 그러나, 기관 특성상 연소 후 배출되는 유해 배기가스로 인하여 전 지구촌적인 대기오염문제를 야기하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서는 연소실 형상변화, 연료분사계 개선, 흡·배기 계통 구조 변경, 후처리 장치사용 등이 있으며, 최근에는 커먼레일방식(common rail system)을 사용함으로써 디젤기관도 가솔린기관처럼 전자제어방식에 의해 배기가스를 저감하는 방안까지 제시되고 있으며, 일부는 실용화 단계에 이르고 있다<sup>[1]</sup>.

또 다른 방법의 하나로써 연료자체의 성질을 변화시키는 방안으로, NO<sub>x</sub>와 PM을 동시에 저감시키고 에너지의 효율적 이용이라는 측면에서 합산소계 및 파라핀계물질과 디젤연료의 혼합에 의한 연료개선 기술도 효과적인 방법 중의 하나라 할 수 있다. 이와 같은 기술은, 최근 디젤연소 향상과 배기 배출물 저감을 위해 저알콜(lower alcohol)을 제외한 카보네이트(carbonate), 모노에테르(mono ether), 디에테르(diether), 아세테이트(acetate), 케톤(ketone) 화합물 등과 같은 합산소계 연료들에 크게 주목하고 있다<sup>[2]-[5]</sup>.

연료로서 기존 경유에 합산소계 및 파라핀계 화합물을 혼합하거나 순수 합산소계 및 파라핀계 화합물을 사용하면 배기 배출물과 소음을 더 효과적으로 저감시킬 수 있고 열효율도 향상시킬 수 있을 것으로 보고되고 있다<sup>[6]-[8]</sup>.

이러한 합산소계 및 파라핀계 화합물의 사용은 아주 유망한 기술로 그 필요성이 강조되고 있으나, 기관에 직접 적용한 성능 및 배기 배출물에 관한 연구가 대부분이고 이에 관한 기초적 연구나 국내에서의 연구 활동은 아직 미미한 수준이다<sup>[9], [10]</sup>.

따라서, 본 연구에서는 액적의 급속가열과 연소가 가능한 고온 연소로 장치와 고속도 비디오 카메라를 이용하여 베이스 연료 및 각종 혼합연료의 단일 액적 연소를 행하여 연소거동의 해명을 시도함으로

써, 추후 합산소계 및 파라핀계 혼합연료 사용 디젤기관의 기본 자료로 사용할 수 있도록 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1에 베이스 연료 및 각종 혼합연료 액적의 연소거동을 조사하기 위하여 사용한 고온 연소로 장치의 개략도를 나타냈다. 실험은 마이크로 실린더에 의해 연료 액적을 열전대 끝에 동일량 떨어뜨려 부착시키고, 그 연료 액적 주위에 전기로(용적 약 6300cm<sup>3</sup>)를 낙하시켜, 주변고온 분위기로부터의 급속 가열에 의해 자착화를 행함과 동시에, 그 연소거동을 고속도 디지털 비디오카메라(PHOTRON, FASTCAM-RGB)로 촬영, 해석했다. 또한, 이때의 액적 내부 온도와 노내 온도는 A/D 컨버터를 통해 컴퓨터로 입력시켜 해석하였다. 사용된 열전대는 직경이 100μm로 2개를 사용, 액적 내부 온도 측정용 열전대는 연료 액적이 수직방향으로 부착될 수 있게 Fig. 1에서와 같이 구부러져 있으며, 노내 온도 측정용 열전대는 액적 온도 측정용 열전대의 지지대에 설치하였다. 노내 온도는 칸텔선 히터에 의해 최고 1000℃까지 설정·가능 하였지만, 본 실험에서는 800℃로 세팅하였다. 또한, 노의 강하 쇼크를 흡수하기 위하여 오일 실린더에 의한 쇼크 업서버를 이용했다.

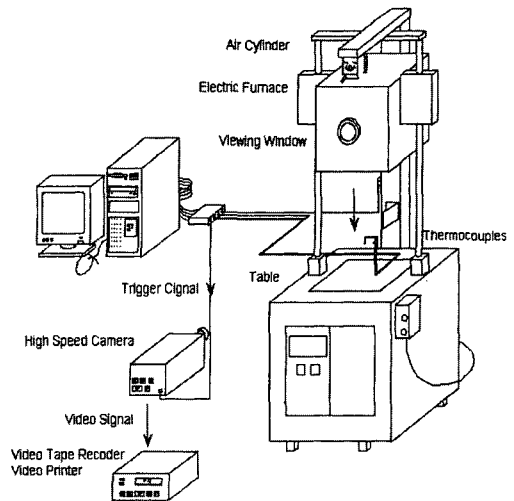


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

베이스연료는 Table 1에 나타낸 바와 같이, 경유 (Fuel A) 이외에 동점도 및 증류온도가 서로 다른 4가지 저질유(Fuel B ~ Fuel E)를 사용하였다. 첨가제로는 Table 2에 나타낸 바와 같이, 합산소계 물질인 저비점의 DMM 및 비교적 고비점의 DGM을 이용한 것 외에 DMM과 비점이 비슷한 비합산소계 탄화수소인 n-pentane 그리고 DGM과 비점이 비슷한 n-nonane 4종류를 선정하였다. 이들 베이스 연료 및 첨가제는 체적비율(Vol.%, 이후 %로 표기함)로 혼합하여 사용하였다.

**Table 1 Properties of tested base fuels**

Base fuels	Kinetic viscosity (mm <sup>2</sup> /s, 25°C)	Distillation temperature 50%(°C)	Oxygen content (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Cetane number	Lower cal. value (MJ/kg)
Fuel A	2.5	257.0	0	0.832	50.2	41.97
Fuel B	15.1	338.0	0	0.857	62.8	45.28
Fuel C	25.8	353.2	0	0.878	57.9	45.04
Fuel D	29.4	378.5	0	0.907	53.0	43.89
Fuel E	44.2	381.0	0	0.898	47.2	44.80

**Table 2 Properties of tested additives**

Additives	Molecular structure	Oxygen content (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Boiling point(°C)	Lower cal. value (MJ/kg)
Dimethoxy methane (DMM)	CH <sub>3</sub> O (CH <sub>2</sub> )CH <sub>3</sub>	42.1	0.860	43.0	22.3
Diethylene glycol dimethyl ether (DGM)	CH <sub>3</sub> O (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>	35.8	0.950	163.0	24.5
n-pentane	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	0	0.626	36.0	48.3
n-nonane	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH <sub>3</sub>	0	0.717	150.8	47.4

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 연료액적의 측정 및 해석

액적의 연소추이를 정량적으로 정리하기 위해서는 1개의 초기 액적 직경  $D_0$ 를 구할 필요가 있다. 그러나, 착화 전의 연료액적은 열전대에 부착되어 중력의 영향을 받아 전체적으로 타원형으로 되어

있기 때문에 종 방향의 길이 측정은 곤란하다.

따라서, 본 실험에서는 횡 방향의 직경을 측정하고 그 값을 연료액적 직경으로 했다. 그러나, 체적이 작아 보이는 결과로 되어 특히 액적이 작을수록 증발비가 크게 되기 때문에 그 오차가 크게 된다. 또한, 열전대의 체적을 무시하고 있기 때문에 역으로 액적의 체적이 크다고 생각하면, 이것도 연료 액적이 작게 됨에 따라 크게 된다. 전자의 오차는 수 퍼센트 정도이고 후자의 오차는 1 ~ 10% 정도이지만, 양자의 부호가 반대이기 때문에 구(球)라고 가정하면 측정오차는 이보다 작다<sup>[2]</sup>.

일반적으로 액적의 증발·연소 과정은

$$D^2 = D_0^2 - \kappa t \quad (1)$$

으로 생각할 수 있다. 여기서,  $t$ 는 경과시간,  $\kappa$ 는 연소율 또는 연소속도정수이다.

따라서, 그 액적이 타 없어지기까지의 연소시간을  $T$ 라 하면

$$\frac{T}{D_0^2} = K \quad (2)$$

이라 하는 관계가 성립한다. 여기서,  $K$ 는 연료의 종류 및 주변의 조건에 따른 증발율 또는 증발속도정수이다.

경과시간  $t$ 와 그때의 액적 입경  $D$ 를 구하고, 액적의 연소율에 관한 종래의  $D^2$ 법칙에 의해

$$-\frac{dD^2}{dt} = const = \kappa \quad (3)$$

으로 되는 관계가 얻어진다. 식 (3)의 경과시간  $t$ 는 점화 후 화염이 연료의 액적 주위의 혼합기 층을 전파하여, 그것을 둘러싸서 정상상태로 되기까지의 시간 및 연료액적의 온도가 정상으로 되기까지의 시간을 포함하고 있으나 후자가 대부분을 점유하고 있다. 연료액적의 온도가 정상으로 되면  $D^2$ 은  $t$ 에 대해서 직선적으로 감소하고 연료 액적이 작아짐에 따라 열전대선 굵기의 영향이 강하게 나타나기까지 이 관계는 변화하지 않는다<sup>[2]</sup>.

따라서, 식 (3)은 다음과 같이 바꿔 쓸 수 있다.

$$-\frac{dD}{dt} = \frac{\kappa}{2D} \quad (4)$$

다음에 연료액적의 온도가 정상으로 되기까지의 시간을  $t_1$ , 그 후 연소가 끝나기까지의 시간을  $t_2$ 라 한다면

$$T = t_1 + t_2 = t_1 + \frac{D_o^2}{\kappa} \quad (5)$$

으로 나타낼 수 있다.

연료액적의 온도가 비점에 이르기까지의 시간은 액적 중에 대류가 없기 때문에 항상 액적 표면적에 정비례한다는 것<sup>(10)</sup>에 의해

$$t_1 = \frac{D_o^2}{\alpha} \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서,  $\alpha$ 는 임의의 비례정수이다. 따라서, 식 (5)는

$$\frac{T}{D_o^2} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\kappa} \quad (7)$$

으로 쓸 수 있다.

비정상기간이 무시될 경우에 식(7)은

$$\frac{T}{D_o^2} = \frac{1}{\kappa} \quad (8)$$

로 된다.

따라서, 식(2)와 식(8)의 관계로부터

$$K = \frac{1}{\kappa} \quad (9)$$

으로 된다.

그러나, 직접 측정한 K의 값과 식 (9)에  $\kappa$ 의 측정값을 이용하여 계산한 K 값과의 사이에는 약간의 차이가 있어, 비정상 기간은 무시할 수 없는 크기를 가지고 있다.

연료액적의 연소법칙은 식 (2) 외에 식 (3) ~ 식 (5)로 표현할 수 있으며, 연료의 종류 또는 주변 조건에 따른 연소율의 대소는 K 또는  $\kappa$ 의 값에 의해 규정할 수 있다.

비정상기간에 증발계수가 0으로부터 차례로 증가하여 점차로 일정한 값으로 되어 정상기간으로 이동하여 가는 경우에는 이와 같은 관계가 얻어지지

만, 이와 같은 경과가 얻어지지 않은 경우도 있다.

그러한 예로써, 중유의 액적에 점화하면 중유는 열분해를 시작하여 내부로부터 입자를 비등시키면서 연소를 계속하여 결국에는 종 모양의 단상의 고행물을 남긴다. 이때, 외경상 직경의 변화를  $D^2 - t$ 의 관계로써 나타내면, 전술한 직선적 관계와는 현저히 떨어진 것으로 된다. 마찬가지로, 경유도 주변 온도가 750℃로 되면,  $D^2 - t$ 의 관계는 직선으로부터 꽤 떨어진 것으로 된다.

그러나, 그보다 가벼운 탄화수소, 알콜류 등에서는 꽤 높은 온도까지 이러한 현상은 없기 때문에 정상상태에 있어서  $D^2 - t$ 의 직선관계가 성립된다<sup>(10)</sup>.

따라서, 최종적으로 식 (1)은 입경의 2승 법칙

$$D_o^2 - D^2 = \kappa t \quad (10)$$

으로 된다.

한편, 본 연구에서는 초기 입경 크기의 영향을 제거하기 위하여 양변을  $D_o$ 로 나누어 무차원화한

$$\frac{D^2}{D_o^2} = 1 - \frac{\kappa}{D_o^2} t \quad (11)$$

를 이용하여 정리했다.

### 3.2 연료액적의 연소과정

Fig. 2에 노내 온도 800℃에 있어서 경유(Fuel A) + n-nonane 혼합연료의 연소과정 예를 나타냈다. 종축은 착화 후의 연료입경 D와 액적 및 분위기 온도의 추이를, 횡축은 전기로의 하강개시부터의 시간 t를 초기입경  $D_o$ 로 보정한 시간  $t/D_o^2$ 를 나타냈다. 입경은  $D_o$ 에 의해 무차원화하고 착화로부터 연소 종료까지의 값을 나타냈다. 그림으로 볼 수 있듯이, 경유(Fuel A) + n-nonane 혼합연료의 입경 감소 추이는 그 값이 거의 일정속도로 변화하고 있다. 분위기 온도는 서서히 증가하여 착화시에는 400℃ 정도, 연소 종료시에는 750℃ 정도에 달하고 있다. 한편, 액적 내부의 온도는 분위기 온도보다 상승이 완만하고 착화 전후에 일단 온도상승이 정지하지만, 액적이 소멸하기까지 서서히 증가하는 특성을 보이고 있다. 연소가 종료하면 열전

대가 분위기 온도에 직접 노출되기 때문에 액적 소멸의 전후부터 그 온도는 급격히 상승하고 있다.

이상의 연소특성은 정성적으로 시험 연료 전체에 걸쳐서 공통적으로 확인되었다.

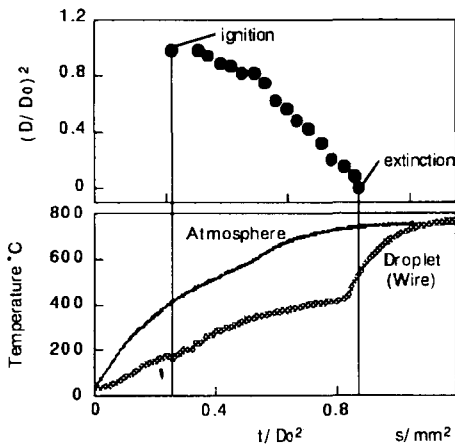


Fig. 2 Changes in droplet diameter and temperature of diesel fuel with n-nonane(20%)

3.3 연료의 동점도에 따른 영향

Fig. 3은 베이스 연료의 동점도에 따른 착화과정에 있어서 입경추이를 해석하기 위하여, 동점도 및 증류온도가 가장 낮은 경유(Fuel A), 중간인 저질

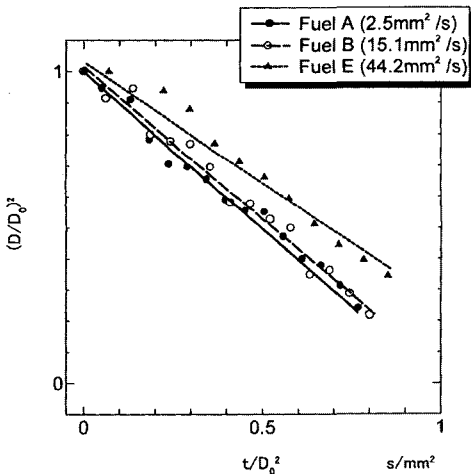


Fig. 3 Influence of kinetic viscosity in diesel fuel and low quality oil on changes in droplet diameters

유(Fuel B), 가장 높은 저질유(Fuel E)의 연료액적에 대해서 착화부터의 입경-시간 추이를 나타낸 것이다.

경유 및 두 저질유의 연소 전 기간에 있어서  $t/D_0^2$ 에 대해  $(D/D_0)^2$ 이 점차 직선적으로 감소하고 있다는 것으로부터 증발속도가 일정하게 있다고 추론할 수 있다. 한편, 이들 세 베이스 연료의 연소 기간은 연료의 동점도와 증류온도가 낮은 경유, 저질유 Fuel B, Fuel E 순으로 짧아지고 입경크기 또한 작게 나타나고 있다.

3.4 각종 첨가제의 혼합에 따른 영향

연료액적의 입경추이에 대한 각종 첨가제의 영향을 조사하기 위해 첨가제 성질 중에서도 특히 함산 소비율과 비점 두 가지에 주목하여 액적 연소실험을 행하였다. 또한, 이때 연료의 동점도 영향도 함께 조사하기 위하여 베이스 연료로는 동점도  $2.5\text{mm}^2/\text{s}$ 의 경유(Fuel A)와  $15.1\text{mm}^2/\text{s}$ 의 저질유(Fuel B)를 이용했다.

먼저, Fig. 4는 첨가제의 첨가율에 따른 영향을 알아보기 위해, 저질유(Fuel B)에 비점이  $36^\circ\text{C}$ 인 n-pentane을 10% 및 20%를 첨가했을 때의 입경추이를 나타냈다. 이때 착화 때까지의 증발기간 및 연소 전 기간에 걸쳐서 평가하기 위하여 노의 낙

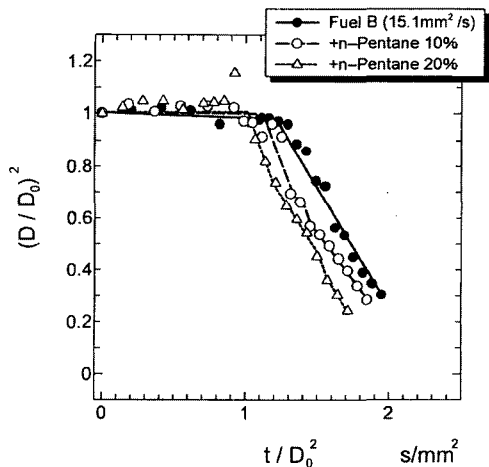


Fig. 4 Influence of n-pentane additive rate in low quality oil on changes in droplet diameters

하시점으로부터의 경과시간을  $t$ 로 했다. 그림으로부터 볼 수 있듯이, 저비점인 n-pentane을 첨가함에 따라 착화시기도 빨라져 증발속도가 증대하게 되고 그 정도는 첨가량이 증가할수록 현저하여 20%의 경우 최대 16.7% 정도이다.

Fig. 5는 연료액적의 착화성에 대해서 고찰하기 위해, 경유(Fuel A) 및 저질유(Fuel B)에 각종 첨가제를 20%씩 첨가한 연료를 이용하여 노의 낙하부터 자기 착화후까지의 경과시간, 즉 착화지연과 그때의 입경관계를 나타냈다. 착화지연은 저질유(Fuel B)에 저비점의 DMM과 n-pentane을 첨가한 경우를 제외하고 모든 경우에 있어서 각 베이스 연료보다도 단축되고 있다. 그러나, 경유보다도 저질유의 쪽이 착화지연이 길어지고 있음에도 불구하고 착화시의 입경이 크게 나타나고 있다. 이것은 베이스 연료의 동점도 및 증류온도의 증가에 따른 연료액적 내부로부터의 기화가 억제되고 있기 때문으로 생각할 수 있다. 또한, 첨가제를 혼합한 연료의 착화지연은 첨가제의 착화성에 의존하고 있지만, 베이스 연료보다도 비점 낮은 DMM 및 n-pentane을 첨가한 경우에도 착화지연이 단축되고 있는 것은 디젤기관내 고온고압의 난류장과 다르기 때문이다<sup>(8)</sup>. 이것은 단일 액적의 경우에는 엔진에 비해서 물리적 착화지연이 화학적 착화지연보다도 지배적으로 있다는 것을 나타낸다<sup>(10)</sup>.

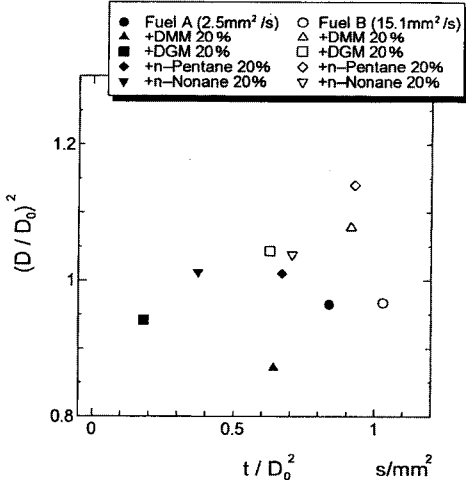


Fig. 5 Influence of additive oxygenate and paraffin on self-ignition of diesel fuel and low quality oil

다음에 자기 착화후의 연소거동을 보다 명확하게 하기 위하여 경과시간을 착화시부터의 값으로 보정했다. Fig. 6과 Fig. 7은 경유(Fuel A)와 저질유(Fuel B)에 합산소계물질인 DMM 및 DGM을 20% 첨가한 경우에 있어서 연료액적 입경의 시간추이를 각각 나타낸 것이다. 첨가제 DMM을 베이스 연료에 첨가한 경우가 DGM보다도 연소시간의 단축이 현저하게 되고, 부분적으로 증발속도가 증가하고 있는 범위(연소증기,  $0.3 \sim 0.6 \text{ s/mm}^2$ )가 보여지며 그때 입경이 급격히 감소하고 그 후는 베이스연료와 같은 정도의 증발속도로 되고 있다. 이와 같은 경향은 후술할 Fig. 11의 사진에서도 확인할 수 있다.

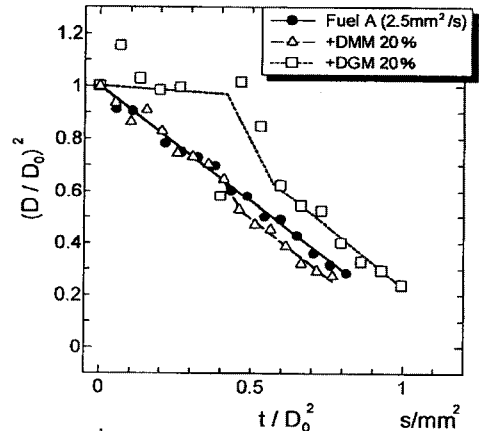


Fig. 6 Influence of additive oxygenate in diesel fuel on changes in droplet diameters

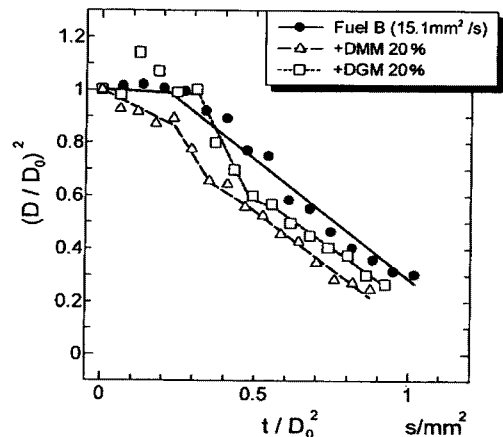


Fig. 7 Influence of additive oxygenate in low quality oil on changes in droplet diameters

이상으로부터 증발속도가 급격하게 증가하는 연소중기 기간에서는 DMM 및 DGM의 증발·연소가 활발하게 되고, 그 이후는 주로 남아 있는 베이스 연료가 연소하고 있는 것이라고 생각할 수 있다. 또한, DMM보다도 DGM을 첨가할 때에 증발·연소가 활발하게 되는 기간이 지연되는 경향이 있지만, 이것은 액적이 각 첨가제의 비점에 달할 때까지의 시간이 고비점의 DGM이 저비점의 DMM보다도 길게 되기 때문이라고 생각할 수 있다.

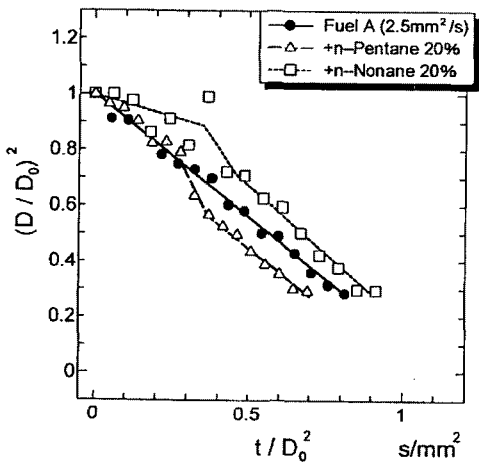


Fig. 8 Influence of additive paraffin in diesel fuel on changes in droplet diameters

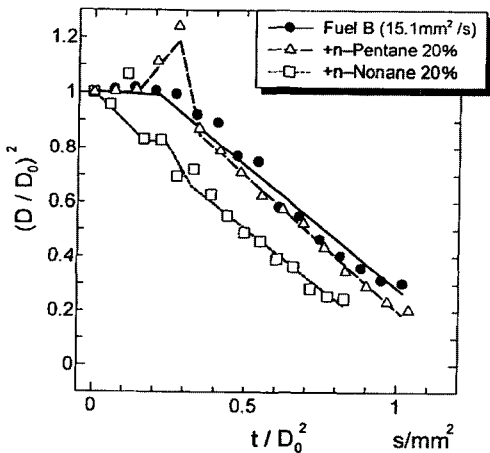


Fig. 9 Influence of additive paraffin in low quality oil on changes in droplet diameters

Fig. 8과 Fig. 9는 경유(Fuel A)와 저질유(Fuel B)에 비합산소계, 즉 파라핀계 물질 n-pentane 및 n-nonane을 20% 첨가한 경우에 있어서 연료액적 입경의 시간추이를 각각 나타낸 것이다. 합산소계 물질을 첨가한 Fig. 6과 Fig. 7에서와 달리, 파라핀계 물질을 베이스 연료에 첨가한 경우에 있어서는 약간의 증발 촉진은 보여지지만, 합산소계 물질의 첨가만큼 연소기간의 단축에 일관된 경향이 보여 지지 않는다는 사실로부터 합산소계 물질의 산소를 분자내에 함유한 효과가 더 있을 가능성을 시사하고 있다. 이상으로부터 경유나 저질유에 첨가한 첨가제 중에서 연료액적 입경과 연소기간 단축에는 산소함유량이 많고 저비점인 DMM이 가장 효과가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 10에 경유(Fuel A)와 저질유(Fuel B) 연료액적의 연소화염 전파추이를 각각 나타냈다. 두 연료 모두, 착화시에 액적 하방으로 화염이 관찰되고 있으며, 노의 하강에 의한 하강기류로 형성된 혼합기가 착화하여 액적주변으로 전파하고 있다.

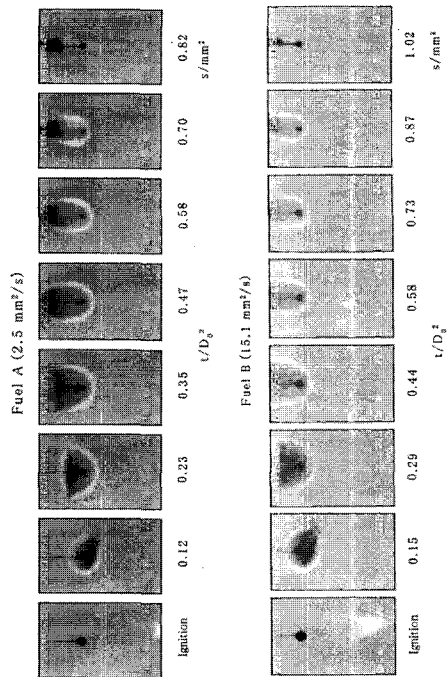


Fig. 10 Burning behavior of diesel fuel low quality oil and droplet(2250f/s, f/8)

Fig. 11과 Fig. 12는 경유(Fuel A)에 합산소계와 파라핀계물질을 20% 첨가한 경우에 있어서 각 연료액적의 연소화염 전파추이를 나타낸 것이다. 상술한 경유 및 저질유 연소화염의 전파추이와 달리, DGM 혼합경유에서는 착화후 사진(Fig. 11,  $0.38s/mm^2$ )에 있어서 화염 밖까지 액적이 튀는 것이 관찰되고 입경이 현저히 감소하고 있다. 이것은 경유에 비해 저비점의 합산소계물질인 DGM이 첨가됨으로써 증발이 촉진되어 혼합유의 내부에서 첨가제가 비등하는 미세폭발(micro-explosion) 현상에 의한 것으로 사료된다<sup>[10]</sup>. 그러나, 그 후의 연소상태에서는 연료에 따른 명확한 차이를 보기 어렵다.

한편, 이들 연소화염 전파사진으로부터 전 연소기간을 살펴보면 저질유(Fuel B), 경유+DGM 20%, 경유+nonane 20%, 경유, 경유+DMM 20%, 경유+pentane 20% 순서로 단축되고 있으며 이는 전술한 비등점 온도와 대체로 잘 일치한다. 또한, 이와 같은 혼합유 연료액적의 연소화염 전파추이는 저질유(Fuel B)에 합산소계와 파라핀계물질을 20% 첨가한 경우에 있어서도 대체로 비슷하게 나타났다.

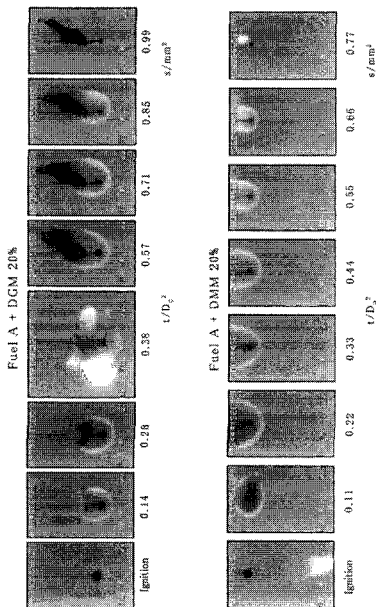


Fig. 11 Burning behavior of Fuel A+ DGM 20% and Fuel A+ DMM 20% fuel droplet(2250f/s, f/8)

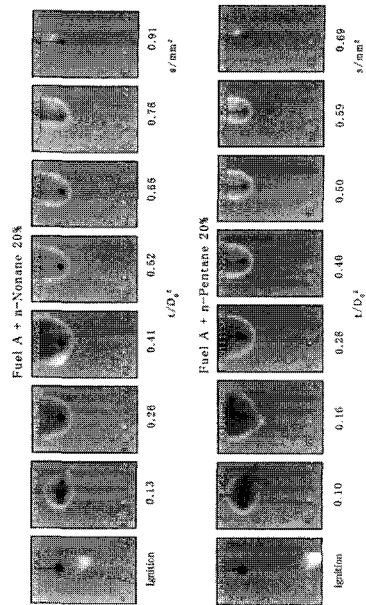


Fig. 12 Burning behavior of Fuel A+ n-nonane 20% and Fuel A+ n-pentane 20% fuel droplet(2250f/s, f/8)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 고온 분위기 및 대기압 하에서 액적의 급속가열과 연소가 가능한 고온 연소로 장치와 고속도 비디오 카메라를 이용하여 합산소계 및 파라핀계물질을 경유 및 저질유에 혼합한 연료의 단일 액적 연소에 대해 고찰하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고온장에서의 베이스 연료 및 첨가제 혼합 연료의 단일 액적은 기본적으로 입경의 2승 법칙에 의해서 연소가 진행되고 연소기간도 단축되었다.
- (2) 경유와 저질유에 합산소계 및 파라핀계 물질을 혼합한 경우에 착화시기 및 증발속도가 촉진되고, 그 효과는 합산소계물질의 쪽이 현저하게 나타났다.
- (3) 각종 첨가제를 혼합한 단일 액적의 착화는 주로 첨가한 물질의 비점에 영향을 받는다. 또한, 동점도 및 증류온도가 높은 저질유를 베이스 연료로 이용한 경우는 첨가물질의 액적내부로부터 기화가 억제되기 때문에 그 개선효과는 경유보다 감소하였다.



(4) 합산소계물질 혼합 연료액적에서는 혼합한 물질의 비등에 의해 입경이 급격하게 감소하는 기간이 존재하고 이때 화염형상도 급격히 변동하는데 이는 저비점 성분의 미세폭발(micro-explosion) 현상에 의한 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단(KOSEF)의 해외 Post-Doc. 연수지원사업의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로서, 관계기관에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] S. H. Choi, Y. T. Oh and K. S. Kwon, "Simultaneous Reduction of Smoke and NOx by Dimethoxy Methane and Cooled EGR Method in a DI Diesel Engine", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 12, No. 5, pp. 66-72, 2004.
- [2] H. Ogawa, N. Miyamoto, N. Kimura, Y. Hamada and B. S. Kim, "Analysis of Diesel Combustion Flames with Highly Oxygenated Fuels", Proceedings of BUSAN Engine International Symposium 2001, ENSY 2001-CE-TS 22, 2001.
- [3] H. Ogawa, Md. N. Nabi, M. Minami, N. Miyamoto and B. S. Kim, "Ultra Low Emissions and High Performance Diesel Combustion with a Combination of High EGR, Three-way Catalyst, and a Highly Oxygenated Fuel, Dimethoxy Methane(DMM)", SAE 2000-01-1819, 2000.
- [4] L. Rubino and J. Murray, "The Effects of Oxygenated Fuel Additives on Soot Precursor Formation", SAE 1999-01-3589, 1999.
- [5] M. Konno, S. Kajitani, M. Oguma, T. Iwase and K. Shima, "NO Emission Characteristics in CI Engine Fueled with Neat Dimethyl Ether", SAE 1999-01-1116, 1999.
- [6] N. Miyamoto, H. Ogawa, Md. N. Nabi, K. Obata and T. Arima, "Smokeless, Low NOx, High Thermal Efficiency, and Low Noise Diesel Combustion with Oxygenated Agents as Main Fuel", SAE 980506, 1998.
- [7] S. Kajitani, Z. L. Chen and M. Konno, "Engine Performance Exhaust Characteristics of DI Diesel Operated with DME", SAE 972973, 1997.
- [8] N. Miyamoto, H. Ogawa, T. Arima and K. Miyakawa, "Improvement of Diesel Combustion and Emissions with Various Oxygenated Fuel Additives", SAE 962115, 1996.
- [9] S. H. Choi and Y. T. Oh, "The Effect of Cooled EGR and Oxygenate Fuel (EGBE) on the Diesel Engine Performance and Emissions", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 79-86, 2003.
- [10] B. S. Kim and N. Miyamoto, "A Study on Performance Characteristics of the Diesel Engine using High Viscous Oils by Blending Low Boiling Point Oxygenates," Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 44-51, 2003.

## 저 자 소 개



**김봉석 (金倬錫)**

1986년 충남대학교 졸업(공학사), 1988년 동대학교 대학원 졸업(공학 석사), 1994년 동대학원 졸업(공학박사), 1999~2000년 일본 북해도대학 Post Doc. 과정, 1988~1996년 한국에너지기술연구원 근무, 1996~현재 국립원주대학 자동차·기계과 교수



**小川 英之 (Ogawa Hideyuki)**

1986년 북해도대학 졸업(공학박사), 1986~현재 북해도대학 대학원 공학연구과·공학부 에너지환경시스템전공 교수