

에멀전 연료를 이용한 디젤엔진의 분무 및 배기특성 연구

Spray Characteristics and Exhaust Emission Tests for a Diesel Engine Using Emulsified Fuels

서 회 준*, 오 승 목**, 허 환 일***
Heejun Seo, Seungmook Oh, Hwanil Huh

Abstract

Experiments have been conducted to investigate the effects of emulsified fuels on the spray characteristics and exhaust emissions in a diesel engine. Four different fuels were examined ; diesel, emulsified fuels with water contents which were varied with 13, 15, and 17wt%. Characteristics of fuel spray were measured by an optical method, PLLIF(planar liquid laser induced fluorescence).

Compared to diesel fuel, emulsified fuels which had relatively high kinematic viscosity showed smaller spray angle and longer spray tip penetration. The qualitative droplet distributions of emulsified fuels showed worse atomization process than that of diesel fuel.

As the water contents were increased, PM and NOx could be reduced simultaneously. It was specially noted that the emulsified fuel with 17wt% water content was found to be the best in reducing rates, NOx 30% and PM 40%.

주요기술용어 : Emulsified fuel (에멀전 연료), D13 mode test(D13. 모드시험), NOx(질소산화물), Particulate matter(입자상물질), SMD(Satuer Mean Diameter), PLLIF(Planar Liquid Laser Induced Fluorescence)

Nomenclature

K : calibration factor
D₃₂ : diameter of droplet
I_f : intensity of fluorescence
I_m : intensity of Mie scattering
dn : diameter of nozzle hole

Subscripts

f : fluorescence
m : mie scattering

1. 서 론

디젤엔진의 유해배출물질을 저감할 수 있는 기술로 Common rail 방식, 고압분사, 후처리기술, 연료의 개질, 충돌분무 등의 방법이 등장하고 있다. 이와 같은 여러 가지 방법 중에 연료의 특

* 회원, 항공우주연구원
** 회원, 한국기계연구원
*** 회원, 충남대학교 항공우주공학과

성을 개선하는 방법으로 연료에 소량의 물을 첨가시킨 에멀전연료(emulsified fuel)는 질소산화물과 입자상물질을 동시에 저감하면서 열효율을 향상시키는 환경친화적이면서 에너지를 절약할 수 있는 연료로서 제시되고 있으며 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.¹⁻⁵⁾

에멀전 연료는 특정영역의 부하에서 물 혼합물의 증가와 함께 NO_x와 매연이 동시에 저감되며 열효율의 향상으로 연료소모율도 감소하게 된다.¹⁾ 발화시기 지연, 연소실 압력 상승에도 불구하고 NO_x가 저감되는 것은, 물 첨가에 의해 연소실 내 열흡수와 불활성 가스로서의 수증기 역할에 의하여 연소실내의 온도 저감, 동시에 미세 폭발 및 공기 유동의 활성화에 의한 국부적 온도 상승의 억제에 의한 것으로 알려져 있다.⁵⁾ 일반적으로 물첨가율을 엔진의 특성마다 다르지만 육상수송기관에서는 30% 이하로 조정되며 그 이상에서는 과도한 출력저하, 운전안정성 저감과 같은 역효과가 나타날 수 있다.

디젤엔진의 연소에서 분무특성을 파악하는 것은 매우 중요하다. 이러한 분무특성중에서 액적의 분포나 크기는 연소에 중요한 영향을 미친다.⁶⁻⁸⁾ 이에 따라 연료 액적의 정보를 얻기 위해 광회절법, PDA 등과 같은 비접촉 광학적인 측정법이 이용되고 있으나, 광회절법을 이용한 Malvern 장치는 분무 영역 내의 국부적인 위치에서 직접적인 입경 측정이 불가능하다는 단점이 있고, PDA는 측정 체적이 작다는 단점을 포함하고 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위한 방법으로 레이저를 이용한 평면 이미지 기법을 사용하는 방법이 시도되고 있다.⁹⁾

A-55, D-55라 명명한 에멀전연료의 다양한 엔진 실험을 통해 엔진회전수에 대한 배출가스의 특성에 대한 연구를 수행하여 디젤엔진에서 NO_x와 PM을 동시에 저감할 수 있다는 것을 보여주었고,¹⁰⁾ 형광신호와 Mie 산란신호의 비를 이용한 Optical Patternator를 통해 가스 터빈 엔진에서 사용되는 hollow cone 형태의 노즐로부터 만들어지는 정상 상태의 분무의 질량 유량분포와

평면의 상대적인 SMD 분포를 구하였고, PDPA를 이용하여 얻은 결과와 비교하였다.¹¹⁾

본 연구에서는 엔진출력, 효율 및 배출가스 배출특성에 영향을 미치는 분무 노즐의 직경 및 연료의 성상에 따른 분무특성을 파악하고자 PLLIF 측정방법을 디젤연료와 에멀전연료에 적용하여 SMD 분포를 정성적으로 측정하였고, 실엔진에서 D-13모드시험을 수행하여 디젤연료에 대한 에멀전 연료의 성능 및 배기가스 특성을 비교 분석하였다.

2. Measurement of relative SMD distribution

Lorenz -Mie¹¹⁾이론에 따르면 Mie 산란의 세기는 입자의 직경이 1 μ m 보다 큰 경우에 근사적으로 입자 직경의 제곱에 비례한다. 입자 직경과 산란 강도의 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_m = \kappa D^2 \quad (1)$$

한편 입자로부터 나오는 형광의 강도는 입자의 직경의 3제곱에 비례한다. 입자 직경과 형광 강도와의 관계는 다음과 같이 표현이 된다.

$$I_f = \psi D^3 \quad (2)$$

형광강도와 Mie 산란강도비로부터 액적의 직경에 관한 정보를 얻을 수 있는 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$D_{32}(x, y) = \frac{1}{K} \left(\frac{I_f(x, y)}{I_m(x, y)} \right) \quad (3)$$

식 (3)은 측정된 형광신호 강도와 Mie 산란신호의 강도가 SMD를 계산하는데 직접 사용될 수 있다는 것을 나타낸다. 그러나, 형광 신호와 Mie 산란 신호의 비율만으로는 절대적인 액적의 크기를 얻을 수 없고, 상대적인 액적 크기 분포만을 구할 수 있다.¹¹⁾

3. 실험장치 및 방법

본 연구의 실험장치는 연료분사 장치 및 분무

가시화 장치와 엔진실험장치로 구성되었으며, 분무가시화 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

3.1 연료분사장치

연료분사 장치는 인젝터, AC모터 및 제어장치, 분사펌프 등으로 구성된다. 분사펌프는 In-line 타입으로, 상용엔진의 분사펌프를 사용하였다.

분사펌프의 구동은 5마력의 AC모터를 이용하여 타이밍 벨트를 작동시켜서 연료를 분사하게 하였다. AC모터는 회전수가 ± 2 rpm내에서 회전수 조절이 가능하도록 360펄스의 해상도를 갖는 동축형 로타리 엔코더를 장착하여 회전수를 제어할 수 있는 장치를 제작하였다. Table 1은 인젝터의 제원을 보여준다.

다공 노즐은 각 홀에서 분사되는 분무가 서로 간섭을 일으켜 분무거동 및 입경 측정 실험에 부적합하므로 정확한 실험을 수행하기 위해서는 하나의 홀에 대해서 측정이 수행되어야 한다. 따라서 Fig. 2와 같이 인젝터의 5개 홀 중 하나의 홀을 선택하여 나머지 홀들은 연료탱크로 보낼 수

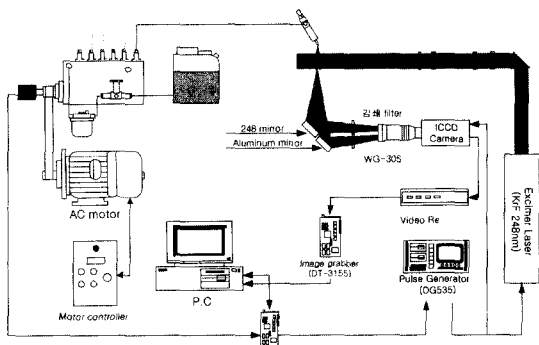


Fig. 1 Experimental setup for spray visualization

Table 1 Specifications of injector

1차 개변압	180 ± 5 kg/cm ²
2차 개변압	235 ~ 240 kg/cm ²
분공유량	14.7 ~ 15.9 g/h
노즐리프트	0.32mm
분공수, 분공경	5홀 × Ø0.32mm

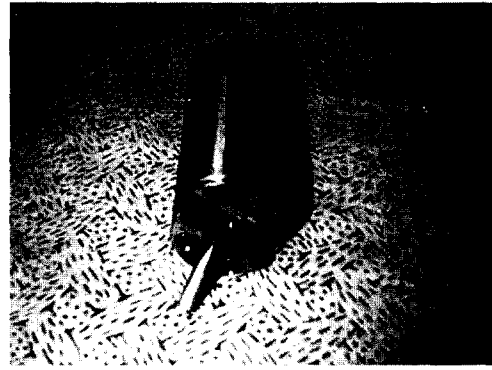


Fig. 2 Photograph of injector cap

있는 인젝터 캡을 제작하였다.

본 연구에서 사용된 인젝터는 5개의 홀을 갖는 노즐로 2개의 스프링으로 분사량을 조절한다. 1차 스프링과 2차 스프링은 각각 180, 235 bar의 개변압을 갖는데 이는 디지털 오실로스코프로 측정된 압력선도에서 확인할 수 있었다.

3.2 분무가시화 장치

3.2.1 화상취득장치

분무 화상을 취득하기 위한 장치는 ICCD카메라, 105mm, 55mm렌즈, VCR, 이미지 그래버 (DT3155), 컴퓨터(P-133)로 구성하였다. ICCD카메라를 통해 얻어진 분무 화상은 비디오를 통해 녹화된 후 이미지 그래버를 통해 컴퓨터에 저장된다. 이 화상은 640 × 480 × 8 비트의 해상도를 갖는다.

3.2.2 형광 및 Mie산란신호 취득장치

형광 및 산란신호의 취득장치는 여기광원, 광학계, 형광신호 취득장치로 구성된다. 여기광원은 248 nm의 파장, 최고 에너지 450 mJ, 반복율 50 Hz, 20 nsec의 펄스폭을 갖는 KrF 엑시머레이저를 사용하였다. 형광화상의 측정은 구성된 화상취득장치와 레이저 광원을 이용하였고, 실린더형 렌즈를 4개 사용하여 45 × 0.1mm의 레이저 쉬트빔(laser sheet beam)을 만들었다. Mie 산란화상과 형광화상을 측정하기 위해서 248nm 거울,

Neutral density 필터, 알루미늄거울, Cut-off 필터 (WG305)를 사용하였다. 형광신호의 검증을 위하여 1차원 형광신호를 측정하였다. 1차원 형광신호는 광섬유케이블을 275mm 단색기에 연결하여 OMA(optical multichannel analyzer, ST-138) 시스템을 이용하여 취득하였다.

3.2.3 엔진실험장치

엔진배출물 실험측정에 사용된 실험장치는 Fig. 3과 같다. 시험에 사용된 엔진은 230마력급 6기통엔진으로 배기량은 11,322 cc이다. 배기가스의 측정엔 배기가스분석계(MEXA 8120D)로 CO, HC, NOx를 입자상물질은 마이크로 회석터널(Sierra, BG-2)로 측정하였다. 매연(smoke)은 보쉬형의 매연측정장치(smoke meter)를 사용하였다. 최고출력이 나오는 2200 rpm을 기준으로 대형디젤엔진 시험방법인 D-13모드 시험방법에 의해 실험을 수행하였다.

3.3 실험방법

분사펌프는 AC모터로 회전시키며, 각 장치들의 시간동기는 펌프와 같은 축에 연결된 동축형 로터리 엔코더에서 발생하는 신호를 이용하여 시간지연 펄스 발생기에 의해 조절되었다. 연료는 상온, 대기압 상태에서 인젝터를 통해 분사하였다. 분사압력은 노즐 홀더입구에 압력센서를 부착하여 측정하였고, 오실로스코프, GP-IB 인터페이스 카드, 컴퓨터를 이용하여 데이터를 읽어서 처리하였다.

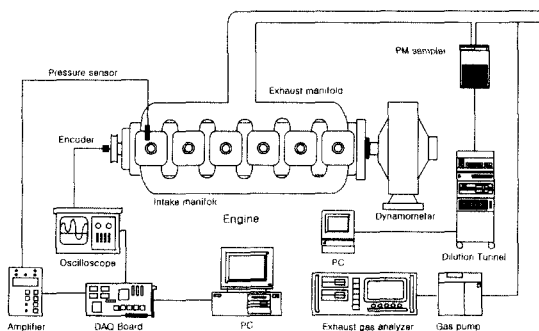


Fig. 3 Experimental setup for D-13 mode test

레이저쉬트를 이용한 형광화상 및 Mie 산란화상 가시화 실험에서 레이저 에너지의 변화와 ICCD 카메라의 노출시간에 따른 각 화상의 강도 차이를 없애기 위해 레이저 에너지 및 ICCD 카메라의 노출시간과 MCP의 게인을 고정하여 실험을 수행하였다.

모든 실험은 분사압력 240 bar, 노즐직경 0.32, 0.30 mm의 경우에 대해서 수행되었다.

3.4 화상처리

분무 액적의 입경에 대한 정성적인 분포는 Fig. 4와 같은 화상처리 과정을 통해 측정하였다.

동시에 가시화 된 형광화상과 Mie 산란화상을 분리하여 노이즈 성분을 제거하고 분무 화상을 명확하게 하기 위해서 각 이미지를 각 화소의 최대값과 최소값을 0~255까지 재배치하는 방법으로 normalizing하게 된다. Normalizing을 통해

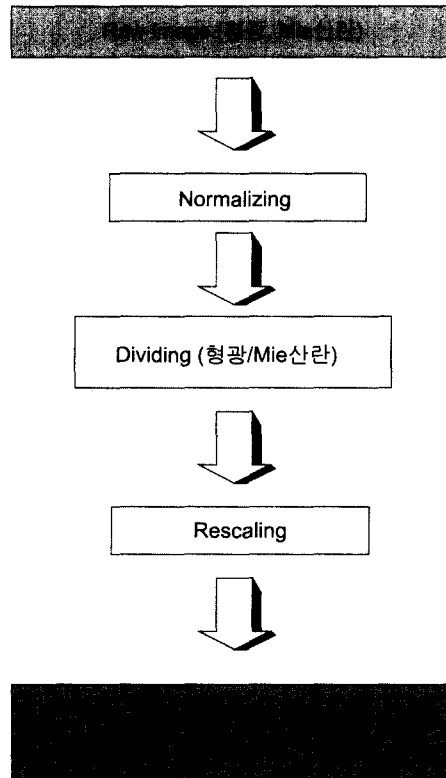


Fig. 4 Image processing for droplet size estimation

얻어진 각 화상에서 형광화상을 Mie 산란화상으로 나누는 후, 나누어진 화상의 스케일을 조정하면 원하는 액적의 직경에 대한 정보를 얻을 수 있게 된다.

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 4가지의 다른 연료를 사용하여 PLLIF(planar liquid laser induced fluorescence)¹¹⁾ 법을 적용하여 측정하고 영상처리를 통해 분무 액적의 입경에 대한 정성적인 분포를 얻었으며, 실엔진에서 D-13모드시험을 수행하여 디젤연료에 대한 에멀전 연료의 배기가스 특성을 비교 분석하였다.

Table 2는 실험에 사용된 연료의 성상을 보여주고 있으며, 일반적인 디젤연료와 에멀전연료의 밀도와 동점도 특성이 서로 다르게 나타남을 알 수 있다.

특히 동점도의 경우에는 에멀전연료가 디젤연료에 비해 약 1.7~2.2배 정도가 크게 나타나고 있다. 디젤 분무의 특성은 분사 연료의 온도, 밀도, 점도, 표면장력 등이 지배변수로 작용한다.⁸⁾ 이러한 연료들의 동점도와 밀도 차이는 연료의 분무 특성에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

인젝터와 플러저 펌프는 고압관으로 연결되어 있는데 인젝터쪽에 압력센서를 부착하여 고압관내의 압력을 측정된 결과는 Fig. 5에서 보여주고 있다. 분사압력이 240 bar임을 확인할 수 있고, 각 연료에 대해서 관내압력, 즉 분사압력의 변화는 차이가 없음을 보여주고 있다.

Table 2 Properties of fuels

	Diesel	Emulsion		
		13wt%	15wt%	17wt%
밀도	0.84	0.86	0.86	0.86
동점도	2.9	4.8	5.3	6.3
동점도비	1	1.7	1.8	2.2
참고사항		메탄올 : 2%, 계면활성제 : 2%		

4.1 연료분사실험

Fig. 6은 분무 형상의 가시화 결과를 이용하여 노즐 출구에서부터 분무선단까지의 거리를 측정하여 얻어진 분무 관통거리(tip penetration) 결과와 노즐팁에서 아래 방향으로 80 mm 떨어진 위치에서 최외각의 액적이 존재하는 부분으로부터 노즐의 중심에서 선을 그어 결정된 분무각의 결과이다.

분무 관통거리는 연료의 분사압력과 연료의 특성에 영향을 받으므로 디젤연료에 비하여 에멀전연료가 평균 5% 정도의 거리 증가를 보여주고 있고, 분무각은 에멀전연료가 디젤연료에 비해 약 2~6%정도 적게 나타나고 있다.

에멀전연료의 동점도 증가에 의해 분무관통거리는 증가하고 분무각은 감소하는 경향을 보

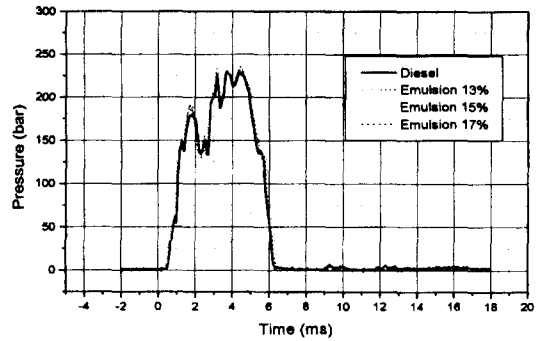


Fig. 5 Effect of fuel types on the line pressure

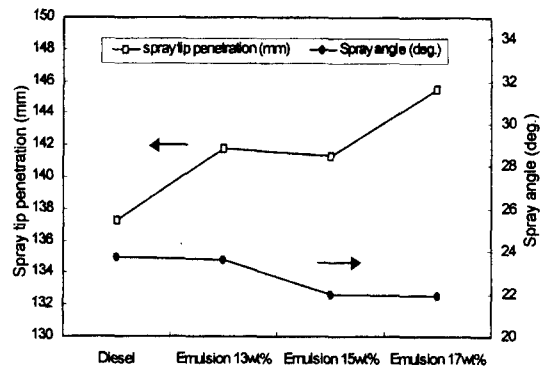


Fig. 6 Spray angle and spray tip penetration at 22° from injection start

여주고 있다. 이것은 동점도 증가에 의하여 주위 공기와 상호작용이 상대적으로 줄어들어 분무의 확산이 감소하기 때문인데 이것은 디젤기관에서 불리한 연소상태를 유발할 수 있는 조건이다.

4.1 광산란을 이용한 분무 가시화

형광신호와 Mie 산란신호 강도비를 이용해 분무 액적의 직경에 대한 정성적인 분포를 측정하였다.

Fig. 7은 Cut-off 필터를 사용하여 얻은 분무의 형광신호를 1차원적으로 측정된 결과를 나타내고 있다. 파장이 248nm인 레이저광원에 의한 탄성산란신호와 분무에 의한 형광신호의 면적을 계산해보면 형광신호가 레이저 광원에 의한 탄성산란신호에 비해 약 20배 크게 나타났다. 따라서, 본 실험에서 측정된 형광신호는 레이저광원에 의한 탄성산란성분을 필터를 사용함으로써 제거한 신뢰성을 갖는 형광신호라고 할 수 있다.

광산란을 이용한 분무 가시화 실험은 분사압력 240 bar, 플린저 펌프의 회전수 700 rpm의 조건에서 실시하였으며, 노즐직경 변화에 따른 액적 입경의 변화를 관찰하기 위해서 노즐직경을 0.30, 0.32mm 두 가지 경우에 대한 실험을 실시하였다. 레이저슈트가 입사된 위치는 노즐 팁에서 아래쪽으로 90~135 mm 떨어진 지점이고 분무의 중심축면을 지나게 된다.

Fig. 8은 형광화상과 Mie 산란화상의 강도의

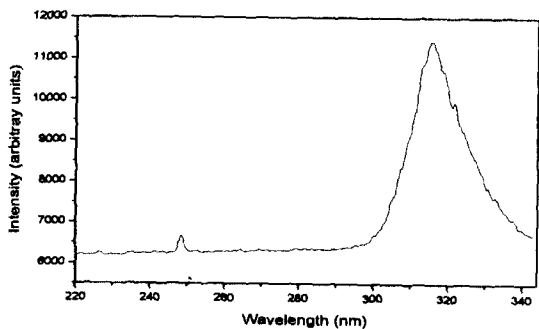


Fig. 7 Intensity of Fluorescence

비를 이용하여 디젤연료의 분무 액적 입경에 대한 정성적인 분포를 측정된 결과를 보여주고 있다. 노즐직경이 0.32 mm, 측정시간이 분사 후 20°인 경우에 분무의 중심에 주위의 액적에 비해 미립화 되지 못한 큰 액적들이 분포하고 있음을 보여주고 있고, 분무가 진행됨에 따라 액적들은 미립화되어 작은 액적들의 분포를 보이며, 노즐직경이 0.30mm인 경우에도 같은 경향을 나타낸다.

Fig. 8에서 노즐직경에 따른 분무 액적의 분포를 살펴보면 노즐직경이 0.30mm인 경우가 0.32mm인 경우에 비해 분무 액적의 입경이 감소하고 있음을 보여주고 있다. Arai 등¹²⁾의 연구에서도 동일한 연료의 경우에 노즐직경에 따른 입경의 변화는 노즐직경이 10% 작아짐에 따라 입경은 약 28% 감소하는 경향을 보여 주었다.

Fig. 9~11은 형광화상과 Mie 산란화상의 강도비를 에멀전연료에 적용하여 분무 액적 입경에 대한 정성적인 분포를 측정된 결과이다.

本 康文, 塚原 實¹⁾, Arai 등,¹²⁾ Hiroyasu & Kadota¹³⁾의 연구에서는 연료의 동점성 계수가 증가하면 입경은 증가한다고 보고되고 있다. 특히 M. Arai 등¹²⁾의 연구에서는 동일한 분사압력과 노즐직경에 대해서 동점성 계수가 33% 증가할 때 레이저 광회절법으로 측정된 입경이 약 55% 증가하는 경향을 나타내고 있다.

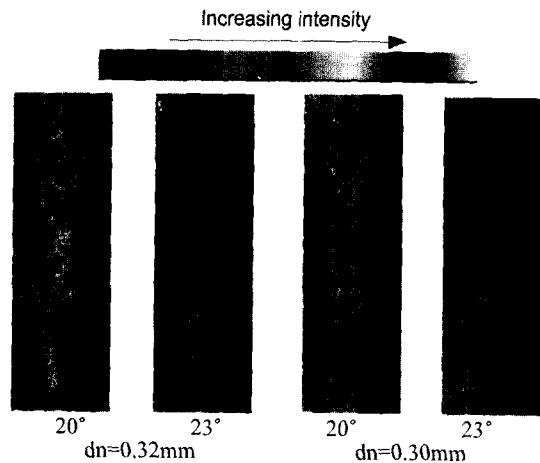


Fig. 8 Droplet size estimation: Diesel

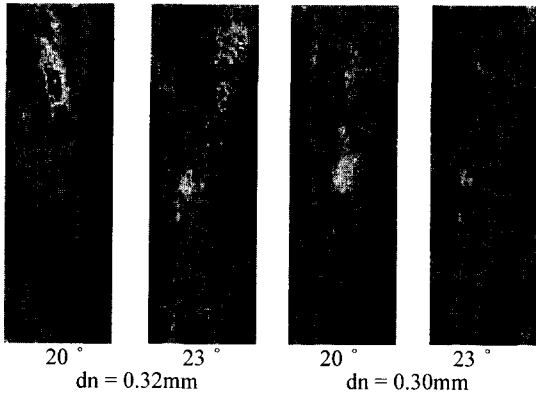


Fig. 9 Droplet size estimation: Emulsion 13wt%

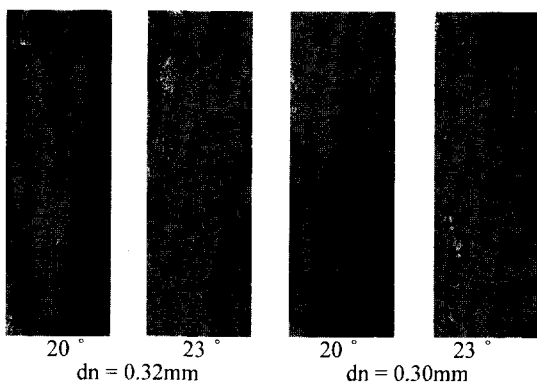


Fig. 10 Droplet size estimation: Emulsion 15wt%

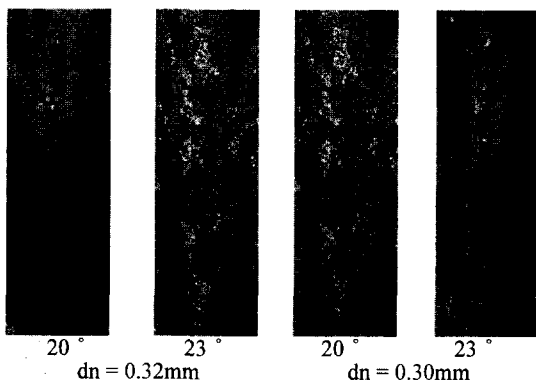


Fig. 11 Droplet size estimation: Emulsion 17wt%

Fig. 9~11에서 디젤연료와 에멀전연료의 분무 액적 입경을 비교해 보면 에멀전연료의 액적의 입경은 디젤연료에 비해 큰 액적이 전체적으로

로 분포하고 있음을 보여준다. 이는 분사된 연료가 주위 기체에서 힘을 받는 변형, 분열하는 과정에서 에멀전연료가 디젤연료에 비해 동점성 계수가 높기 때문에 그 변형과 분열이 억제되어 미립화의 진행이 양호하지 않아서 디젤연료에 비해 큰 입경의 액적들이 분포하는 것으로 추정된다.

Fig. 12는 PLLIF를 통해 얻어진 분무 액적 입경의 정보로부터 노즐직경이 0.32 mm이고, 측정시간이 분사 후 23° 일때 각 연료에 대한 광도의 표준편차와 평균값을 보여주고 있다. 광도의 평균값에서 에멀전연료는 디젤연료에 비해 큰 값을 갖는데, 광도의 평균값은 액적 입경의 크기에 비례하는 값을 가질 것이다. 따라서 광도의 평균값이 큰 에멀전연료가 디젤연료에 비해 액적의 입경이 크게 나타나고 있음을 의미한다.

광도의 표준편차는 공간상에 분포하고 있는 액적이 균일하게 분포하고 있는지를 나타내는 것이다. 전체적으로 광도의 표준편차는 비슷한 값을 나타내고 있다. 디젤연료의 액적 입경은 에멀전연료에 비해 작지만 크기분포의 편차가 심하여 위치에 따른 분무입경의 차이가 큼을 알 수 있다. 이에 비해 에멀전연료는 큰 액적이 비교적 균일하게 분포하고 있음을 보여준다.

4.2 엔진 실험

에멀전연료는 디젤연료에 비해 연료가 가지고 있는 화학적 특성 때문에 디젤기관에 사용시에는 여러 가지로 불리한 결과를 야기시킬 수 있다.

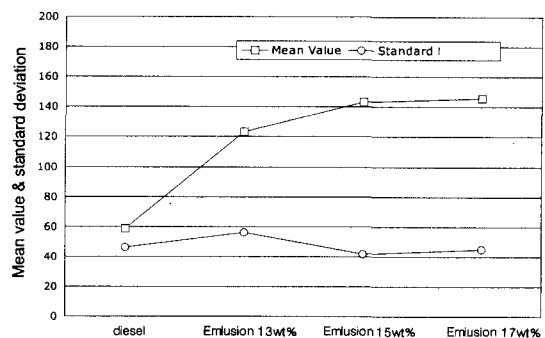


Fig. 12 Mean value and standard deviation of droplet size for different fuel types : dn = 0.32 mm

첫째, 세탄가가 낮아서 점화지연시간이 커지므로 노킹이 발생할 수 있다. 그러므로 연소촉진제와 같은 세탄가 향상제를 첨가제로서 쓰거나 연료분사시점을 앞당기는 방법이 사용되어야 한다.

둘째, 연료에 물을 첨가함으로써 연료의 단위 질량 당 발열량이 디젤연료에 비하여 작으므로 엔진의 출력이 감소하게 되어 운전성능을 크게 저하시킬 수 있다.

에멀전 연료는 앞에서 언급한 불리한 분사특성에도 불구하고 미세폭발 (micro explosion)⁵⁾에 의한 연소촉진효과에 의해서 배기가스는 크게 줄어든다.

디젤기관에서 특히 문제가 되고 있는 질소산화물(NOx)과 입자상물질(PM)을 동시에 감소시킬 수 있는 결과를 Fig. 13과 Fig. 14에서 보여주고 있다. NOx의 경우 에멀전 연료는 디젤에 비하여 평균 30% 정도 감소하고 있으며 15wt% 에멀전 연료가 가장 큰 감소율을 보이고 있다. D-13 모드시험은 단위 출력당 배출량을 의미하므로 물첨가에 의한 출력감소가 NOx의 감소량보다 크게 영향을 미치는 것으로 생각된다. 입자상물질(PM) 또한 에멀전 연료가 20% 정도 감소율을 보이고 특히 17% 에멀전 연료는 40% 정도의 감소율을 나타낸다. 물 함량이 증가함에 따라 PM은 감소하는 경향을 보인다. 이것은 물의 끓는점이 경유보다 높기 때문에 경유내부에 있는 물이 비등하면서 미세폭발(micro explosion) 현상을 일으키게 되어 연료의 미립화를 촉진 시키게 된 결과로 생각된다. 결과적으로 에멀전 연료는 연료분무 특성상의 단점에도 불구하고 연소과정에서는 미세폭발현상에 의해 배기저감에 높은 효과를 나타내게 된다.

Fig. 15와 Fig. 16은 HC, CO 배기가스를 보여주는 그림이다. HC 및 CO는 디젤에 비해 에멀전 연료가 크게 나오고 있다. CO의 경우는 배기규제치가 4.9 g/kwh 이므로 에멀전 연료가 배출량이 크지만 충분히 배기규제를 만족할 수 있는 수치이다.

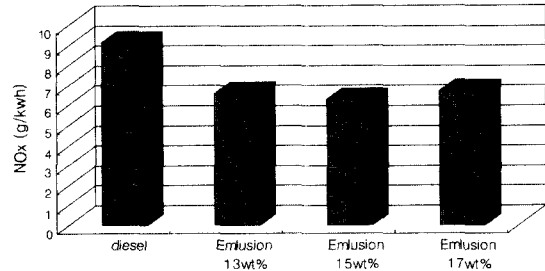


Fig. 13 Comparison of NOx along water content

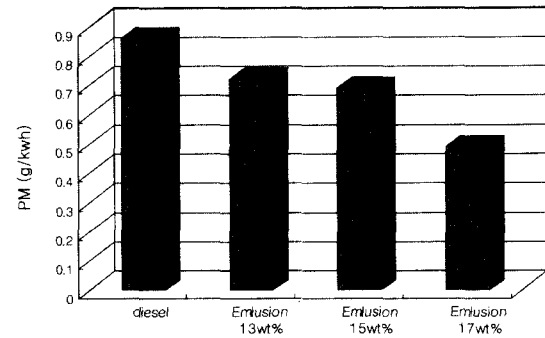


Fig. 14 Comparison of PM along water content

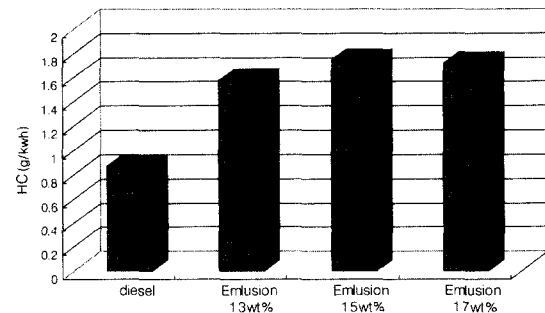


Fig. 15 Comparison of HC along water content

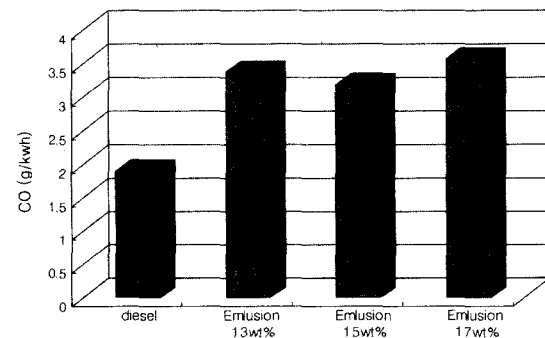


Fig. 16 Comparison of CO along water content

5. 결 론

디젤 및 에멀전 연료의 연료분사실험 및 엔진 D-13모드 시험을 통하여 에멀전연료의 분무특성 및 엔진배출물 측정시험을 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 에멀전연료는 물의 함량이 증가함에 따라 디젤연료에 비해 동점도의 증가로 인하여 분무 관통거리는 증가하고 분무각은 감소하는 경향을 보였다.

2) 형광화상과 Mie 산란화상의 강도비를 이용하여 분무 액적의 입경을 측정하는 PLLIF 법을 적용함으로써 에멀전 연료는 미립화가 악화되어 분무된 액적의 크기가 디젤연료에 비하여 증대되는 현상을 관찰할 수 있었다.

3) 에멀전연료는 분무특성의 관점에서 불 때 연소에 좋지 못한 영향을 미칠 것으로 예상되므로 분사압력을 증가시키거나 노즐직경을 작게 하는 등의 분사계 개선방법에 대한 연구가 필요하다.

4) 에멀전 연료의 실엔진실험을 통하여 미세 폭발효과에 의한 질소산화물(NOx)과 입자상물질(PM)이 동시에 저감하는 효과를 관찰할 수 있었고 일산화탄소(CO) 및 탄화수소(HC)는 증가하지만 CO는 배기규제치 안에서 만족할 수 있는 범위의 값을 보여 주었다.

후 기

본 연구는 G7 환경기술연구개발사업의 연구과제로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 本 康文, 塚原 實, "유화연료 구동 디젤기관의 성능에 미치는 분사특성의 영향(제1보, 유

화연료의 분무특성)," 일본기계학회논문집 B편, 제54권 제503호, pp.1866-1871, 1988.

- 2) 梶谷修一, 澤 則弘, "경유·물(W/O형) 유화연료에 관한 연구 (분무 특성의 시간적 추이에 대하여)," 일본기계학회 논문집 B편, 제56권 제531호, pp.3548- 3553, 1990.
- 3) M. Tsukahara, Y. Yoshimoto, "Reduction of NOx, Smoke BSFC, and Maximum Combustion Pressure by Low Compression Ratios in a Diesel Engine Fuelled by Emulsified Fuel," SAE 920464, 1992.
- 4) S. Henningsen, "Influence of the Fuel Injection Equipment on NOx Emissions and Particulates on a Large Heavy-Duty Two Stroke Diesel Engine Operating on Water-in-Fuel Emulsion," SAE 941783, 1994.
- 5) 일본박용기관학회, "연료유화에 의한 배기정화에 관한 조사 연구," 1997.
- 6) 구자예, 노수영, 배충식, 정경석, 황상순, 내연기관, 회중당, 1996.
- 7) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Co., 1988.
- 8) 이상용, 액체의 미립화, 민음사, 1996.
- 9) T. Kusakabe, M. Tsue, T. Kadota, "Visualization of Disel Spray by Laser Sheet Method," SAE 941920, 1994.
- 10) R. Gunnerman, R. Russell, "Emission and Efficiency Benefits of Emulsified Fuels Internal Combustion Engines," SAE 972099, 1997.
- 11) S. Sanker, K. Mather, D. Robart, "Rapid Characterization of Fuel Atomizers Using an Optical Patternator," ASME Vol.121, 1999.
- 12) M. Arai, M. Tabata, H. Hiroyasu, M. Shimizu, "Disintegrating Process and Spray Characterization of Fuel Jet injected by a Diesel Nozzle," SAE 840275, 1984.
- 13) H. Hiroyasu, T. Kadota, "Fuel Droplet Size Distribution in Diesel Combustion Chamber," SAE 740715, 1974.