

## 유화연료의 분사압력이 연소특성에 미치는 영향

### Effect of Injection Pressure of Water-in-Oil Emulsified Fuel on the Combustion Characteristics

황상호\* · 배희화\*\* · 김덕줄\*\*\*  
S. H. Hwang, H. H. Bae, D. J. Kim

#### Abstract

This study was carried on the combustion characteristics of a pure light oil and emulsified fuels at high-pressure injection in a spray combustion installation. The volume fractions of water in an emulsion were varied up to 30% and the injection pressures were 7.5, 100, 200, and 300kg/cm<sup>2</sup>. The concentrations of NO<sub>x</sub> and the average temperatures of flame were measured. And Images of OH radical using ICCD camera and instantaneous schlieren photography of flames were photographed.

It was found that the temperature distribution of axial distance in the emulsified fuels was increased in the upstream and decreased in the down stream. The temperature distribution of radial distance was high at the peripheral regions of the spray in the upstream and at the central regions of spray in the downstream. The intensity of OH radical was denser at the water content 10% than at the pure light oil over the injection pressure 200kg/cm<sup>2</sup>.

주요기술용어 : emulsified fuel(유화연료), high-pressure injection(고압분사), radical(라디칼), schlieren photography(슈리렌사진)

#### 1. 서론

연소기 분야에서 고 유가시대의 에너지 문제와 심각한 대기공해 문제를 해결하기 위해 에너지 절약 및 환경 친화적 연소기의 개발이 시도되고 있다. 그러나 기존의 시도들은 대부분 기존의 공기와 연료의 최적 공연비 제어, 배출가스 후처리시스템의 개선 등을 통해 이루어지고 있다. 그러나 이러한 방법으로서 에너지 절약의 효과가 크지 못하고, 점차 강화되는 환경

규제를 만족시키기에는 한계가 있다. 그 외 대체 연료를 이용한 연소방식도 소개되고 있고 연료의 연소 도중에 생성되는 공해물질을 줄이기 위해 순수한 연료만을 태울 것이 아니라 그 속에 소량의 물을 섞어 연소시키고자 하는 시도가 그동안 있었고, 연료에 물을 첨가한 유화연료를 산업용 연소기에 사용하는 것은 수십 년 전부터 많은 연구가 진행되어 왔고 현재 사용되고 있는 연료 중 액체 연료가 차지하고 있는 비중도 대단히 크고, 특히 고갈되어가고 있는 석유에너지 자원의 효율적인 이용을 위해서는 휘발성이 낮은 고비동점 액체 연료, 즉 경유와 중유 등의 사용이 보다 활발해져야 하지만 이러한 연료들은 저휘발성 액체 연료들이

\* 부산대학교 기계기술연구소

\*\* 부산대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 부산대학교 기계공학부

가지고 있는 기화가 잘 안되며 착화가 어렵고 연소시 배출되는 매연량이 많다는 문제점 등을 가지고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 액체연료의 기화를 촉진시키기 위하여 연료의 미립화 및 증발을 향상시키는 것이 필요하다.

유화 연료의 개발은 가스터빈의 개발과 함께 보고 되었는데 처음에는 터빈부에 보호를 위해 물이 분사되었다.<sup>1)</sup> Greevs<sup>2)</sup> 등은 디젤엔진의 흡기다기관 쪽에 물을 분사하는 인젝터를 부착하여 연료와 물 입자를 같이 연소시켰을 때 연료의 경제성, 점화지연, 배출가스의 특성을 보고하였다. 그의 연구에 따르면 연료만 분사시켰을 때보다 NO의 양은 70%까지 줄어들고 CO와 스모그의 양은 50%정도 줄어든다고 하였다. Naza와 Crookes는<sup>3)</sup> 디젤연료를 이용하여 제조한 유화연료를 연소하였을 때 유화연료내의 함수율에 따른 연소 특성을 조사하였다. 실험에서 유화 연료내의 함수율은 0%에서 15%까지 변화시켜 배출가스의 농도를 비교하여 함수율이 5%일 때 soot의 농도가 가장 낮게 나타났다으며 CO<sub>2</sub>의 농도는 높게 나왔는데 이것은 완전연소에 근접하여 연소효율이 증가한 것이라고 하였다. Jahani와 Gollahalli는<sup>4)</sup> Jet A연료와 Jet A에 물을 첨가한 유화연료를 사용하여 분무연소의 특성을 연구하였다. 유화연료의 특성에서 계면활성제와 물의 함수율에 따른 연소효과, 화염안정화, 축방향과 반경방향온도분포, 열방출량과 soot의 농도를 관찰하였다. 연료의 변화에 따른 계면활성제의 첨가는 화염특성에 매우 적게 작용한 반면에 유화연료에서 물과 계면활성제의 변화는 화염구조에 큰 영향을 미쳤다고 하였다.

유화연료가 분무특성에의 관점에서 볼 때 연소에 좋지 못한 영향을 미칠 것으로 예상되며 분사계에 대한 연구가 더욱 필요하며, 액체의 포화상태이하에서 연소하기 때문에 물의 잠열로 인한 열손실, 연소의 불안정 그리고 물의 낮은 혼합비와 계면활성제의 사용으로 인한 비경제성 등의 이유로 실용화되지 못하고 있다. 본 연구에서는 유화연료가 분무특성에 미치는 좋지 못한 영향을 최소화시키기 위해 연료의

분사압력을 7.5, 100, 300kg/cm<sup>2</sup>으로 초고압 분사시켰으며 유화연료의 함수율은 0, 10, 20, 30%로 변화를 주어 함수율과 압력변화에 따른 액체연료의 축방향속도와 자우터평균입경의 분무특성과 화염평균온도와 OH라디칼 그리고 연소배출물인 NOx 농도를 측정하여 연소특성을 조사하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 분무특성을 조사하기 위해 사용된 실험장치이며, 크게 PDA시스템과 분사계로 구성되어 있다. PDA시스템은 Argon-ion레이저, 송광부, 수광부, 신호처리기, 3차원이송장치, 데이터처리컴퓨터 등으로 이루어져있고, 분사계는 펌프와 대형수조를 배관으로 연결하여 순환식으로 작동유체인 유화연료를 공급하도록 설치하였으며 이물질 제거 및 노즐의 막힘을 방지하기 위해 펌프와 분사노즐사이에 정수필터를 설치하였다. 입경의 측정 범위와 측정 체적을 고려하여 송광렌즈의 초점거리를 500mm로 설정하였으며, 수광렌즈의 초점거리는 입경 분해능을 고려하여 500mm로 설정하였다. 분무형상을 촬영하기 위한 가시화장치는 Nikon FM2 카메라에 105mm 줌렌즈를 부착하여 스트로보스코프를 광원으로 사용하였다. 연료분사에 사용된 노즐은 상용보일러 노즐인 압력식 단공노즐로서 연료가 분사노즐로 유입된 후 필터를 지나 throat hole을 통과한 후 오리피스를 통해 분사가 행하여지는데 이 때 throat hole 3개가 방사형을 존재하므로 triple jet를 형성하여 노즐 오리피스를 통과하면서 약간의 와류가 생기며 충돌분무효과가 나타난다.

Fig. 2는 유화연료의 연소특성을 연구하기 위해 사용된 실험장치이며, 연료 및 공기 공급계와 온도 및 배출물의 농도를 확인 할 수 있는 측정계 그리고 화염의 OH라디칼 및 순간슈리렌사진을 촬영하기 위한 가시화장치로 구성되어 있다. 연료와 공기는 동축 분사 방식이며 연소에 사용된 공기는 송풍기에서 생성되어 맥

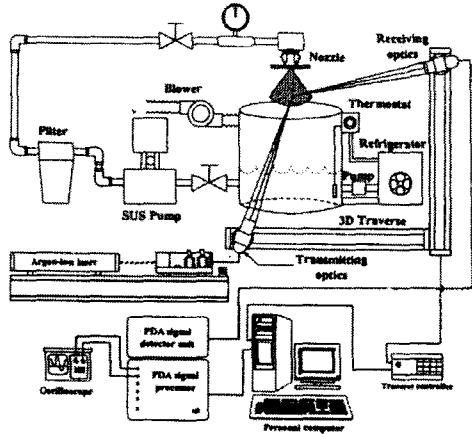


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up for spray characteristics

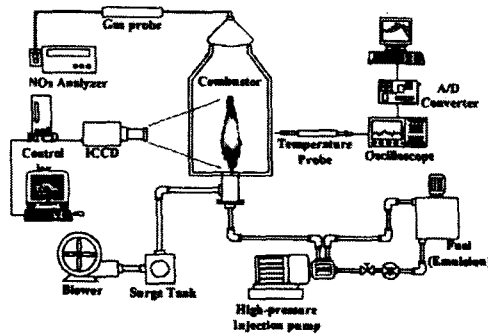


Fig. 2 Schematic diagram of experimental set-up for flame characteristics

동을 줄이기 위해 서지탱크를 지난 후 허니콤을 이용하여 축방향으로 균일한 유동을 만든 후 노즐 선단과 동일선상에 선회기를 부착하여 연료와 공기의 혼합을 촉진시켰고 연료는 고압 펌프를 통해 분사압이 조절된 후 연소실내로 분사시켰다.

## 2.2 유화연료의 제조

본 실험에 사용된 연료는 시판되는 경유와 물을 사용하였고 경유와 물은 서로의 비중차로 인해 혼합하기 어렵기 때문에 두 종류의 액체를 균일하게 혼합하기 위해 계면활성제를 사용하였다. 유화연료의 제조는 모두 체적비로 계산하였으며, 유화연료의 제조를 위해 화학적인

방법과 기계적인 방법을 동시에 이용하였다. 계면활성제는 연소에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 SPAN 80(Samchun Pure Co.)을 75%, TWEEN 85(Junsei Chemical Co.)를 25%로 하여 연료 전체 체적에 대해 2%를 혼합하여 유화연료를 제조하였다. 제조된 연료는 경유 속에 물 입자의 분산을 좋게 하고 혼합을 양호하게 하기 위해 날개각이 45°인 impeller를 용기 양쪽에 설치한 후 회전방향은 반대로 하여 회전수 2000rpm으로 약 20분간 혼합시켰다.

Table 1은 본 연구에 사용된 유화연료를 비중계와 점도계를 이용하여 구한 점도이다.

Table 1. Properties of mulsified fuel

Fuels	W <sub>0%</sub>	W <sub>10%</sub>	W <sub>20%</sub>	W <sub>30%</sub>
Properties				
Coeffucient of Viscosity	4.95	8.57	11.3	15.94

## 2.3 실험방법

본 실험에 사용된 유화연료의 분무특성을 연구하기 위하여 노즐선단을 기준으로 분무 축방향 50, 100, 150mm의 위치에서 노즐 분무축을 기준으로 반경방향으로 4mm 간격으로 액적들의 축방향 속도분포와 입경을 측정하였다. 액적들의 축방향 속도 및 입경은 한 측정위치에서 1회에 1000개씩 5회 반복 측정하여 데이터의 신뢰성을 높였다.

평균온도 측정은 광학적 측정보다 시간 공간 분해능이 좋은 KS규격에 의한 오차범위가 ±0.25%이내의 정밀도를 가진 R형 (Pt-Pt/Rh 13%) 열전대를 한계온도 1900~2100K인 Recrystallized Alumina(PTO)로 열전대 주위를 보호한 후 측정하였다.

화염의 연소과정 중 발생하는 중간생성물인 라디칼을 관찰하기 위해 ICCD카메라를 이용하였다. 연소장에서 주요 관심 대상이 되는 중간생성물로는 C<sub>2</sub>, CH, OH가 있는데 본 연구에서는 고온 영역에 주로 분포하고 열방출을 나타

내는 지표로 비교적 강도가 강하고 측정이 용이한 OH라디칼 만을 측정하였고 OH라디칼이 발광하는 형광값을 계산하여 화염대의 구조와 공간적 분포를 조사하였다. ICCD카메라에 UG-11, WG-305 광학필터를 장착하여 게인을 15, 노출시간을 95ms로 설정하였고, 한 조건당 취득되는 화상의 개수는 10장이고 실험적 오차를 줄이기 위해서 1장당 10개의 화상을 중첩하여 촬영을 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 유화연료의 미립화 특성

Fig. 3은 분사압이 7.5, 300 kg/cm<sup>2</sup>에서 함유율 0%와 30%에서의 상용보일러 노즐의 분무형상을 가시화한 것이다.

분무형상은 노즐의 출구에서 축하방향으로 나타낸 것으로 본 실험에 사용된 압력식 단공노즐은 중심이 비어 있는 semi-hollow cone 형태로서 노즐팁 근방에서 퍼져 나가면서 얇은 막으로 발달한 후 막이 찢어지면서 작은 액적들이 형성되는 특징을 가지고 있다.

분사압이 7.5에서 300 kg/cm<sup>2</sup>으로 증가하면서 분사량이 증가하게 되고 액적의 수밀도가 증가하면서 농후한 상태로 되는 것을 알 수 있

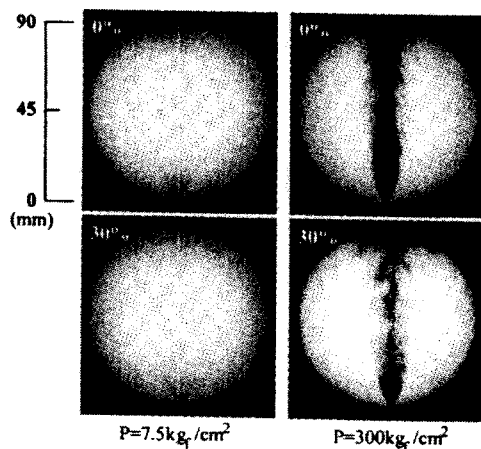


Fig. 3 Visualization of spray with injection pressure

으며, 함유율이 증가할 경우 유화연료는 점도가 높아지게 되고 throat hole 3개가 축방향에 대해 15° 정도 경사져 있는 노즐에서 분사되기 직전 약간의 와류를 형성하게 되고 노즐에서 분사되면서 반경방향의 속도 성분이 증가되어 함유율이 0%인 경우보다 물이 많이 함유되어 점도가 높아진 함유율 30%에서 더 넓은 분사각을 가지며, 축 중심에서는 농후한 연료가 존재하는 함유율 0%보다 유화연료의 분산이 더 양호한 상태로 존재하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 노즐 분사압이 300 kg/cm<sup>2</sup> 일 때 함유율 10% (W<sub>10</sub>)과 30% (W<sub>30</sub>)의 SMD 값을 노즐 분사압 7.5 kg/cm<sup>2</sup>의 함유율 0%와의 SMD 비로서 나타낸 것으로 함유율이 10

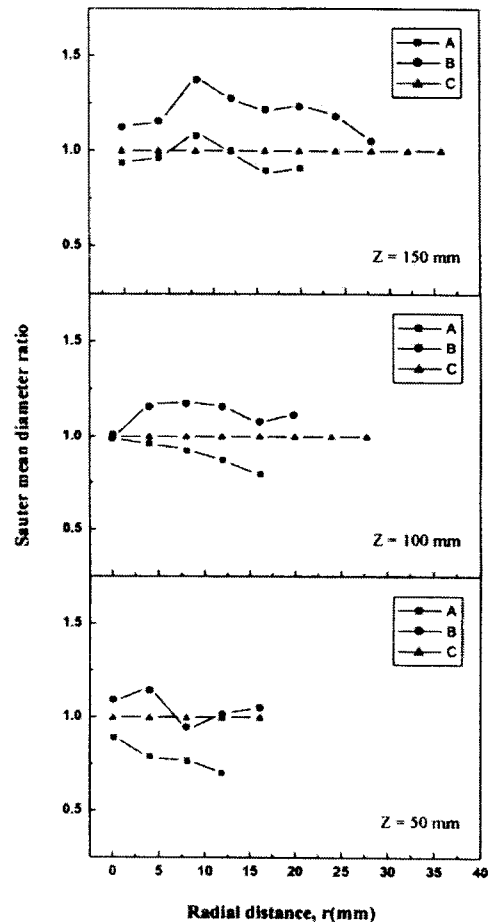


Fig. 4 Sauter diameter ratio ( A = W<sub>30</sub>/W<sub>0</sub> , B = W<sub>20</sub>/W<sub>0</sub> , C = W<sub>0</sub>/W<sub>0</sub> )

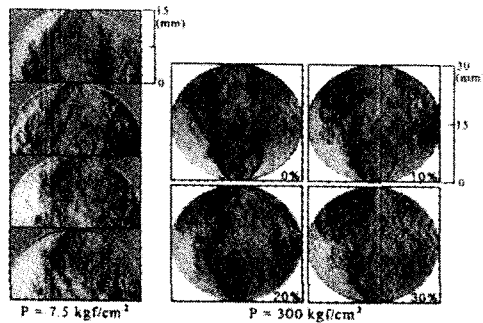


Fig. 5 Instantaneous schlieren photography of flames of emulsified fuels with different injection pressure

% 인  $W_{10}/W_0$  의 경우 물이 함유되지 않은 경우보다 축방향으로 갈수록 SMD 비가 증가하는 반면 함유율이 30% 인  $W_{30}/W_0$  의 경우 노즐 분사압  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  의 함유율 0% 보다 SMD 값이 낮게 나오며 이점을 고려해 볼 때 유화 연료의 점도 증가로 인한 SMD 증가 보다 노즐 분사압이 유화연료의 미립화 상태에 더 많은 영향을 미치고 있다는 알 수 있으며 함유율 증가로 인한 미립화의 불량문제를 노즐 분사압을 증가시킴으로 충분히 해결 할 수 있다고 사료된다.

### 3.2 유화 연료의 연소특성

Fig. 5는 함유율 증가에 따른 화염의 형상을 촬영한 슈리렌 사진으로 노즐 분사압  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  에서는 축방향으로 15mm,  $300 \text{ kg/cm}^2$  에서는 300 mm 까지의 화염부분을 촬영하였다.

노즐 분사압  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  에서 함유율이 증가할수록 화염길이가 짧아지며 유화연료속의 물 입자들이 연소장내에서 이로 인해 연소반응이 더 활발하게 일어나고 있는 것으로 사료된다.

노즐 분사압  $300 \text{ kg/cm}^2$  에서는 함유율이 증가할수록 축방향 20 mm 이전에서 활발한 연소반응이 일어나고 있다는 것을 알 수 있으며 유화연료의 물입자들이 화염의 상류부분인 화염길이의 약 30% 정도까지 연소 반응에 영향을 미치고 있으며 이것은 함유율 30%에서 물

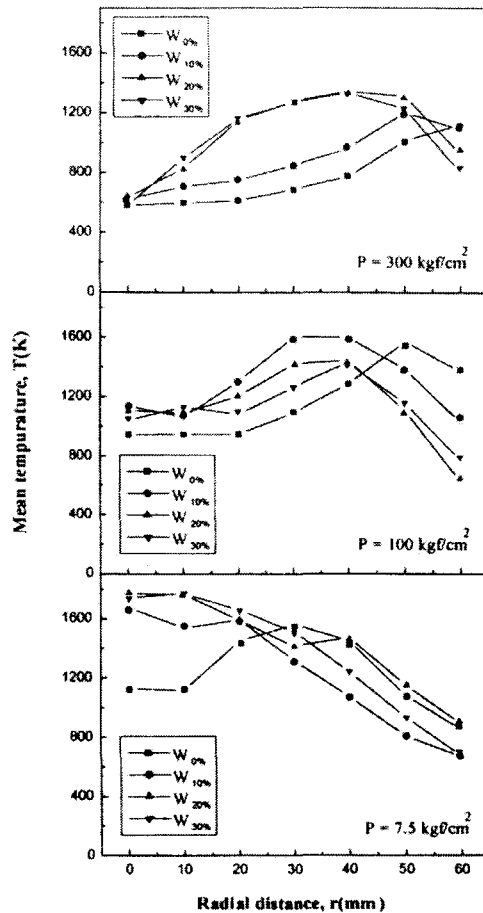


Fig. 6 Temperature distribution of radial distance ( $Z=50\text{mm}$ )

입자의 반응으로 보이는 미세한 와들이 7~20 mm 사이에서 형성되고 있다는 것으로 알 수 있다.

Fig. 6은 축방향 50 mm에서의 화염의 평균 온도를 나타낸 것이다.

노즐의 분사압  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  에서 순수연료를 연소시켰을 때보다 유화연료를 연소시켰을 때 화염 중심부에서 평균온도가 높게 나왔으며 이것은 동일 분사압에서 함유율의 증가로 연료 액적들이 중심축상에 농후하게 분포되어 있기 때문이라 사료되며 순수연료를 연소시켰을 때는 semi-hollow cone 형태인 연료분사노즐의 특성이 화염의 평균온도 분포에서 일치한다는 것을 알 수 있으며  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  보다 높은  $100 \text{ kg/cm}^2$  에서는 노즐 분사압  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  에서

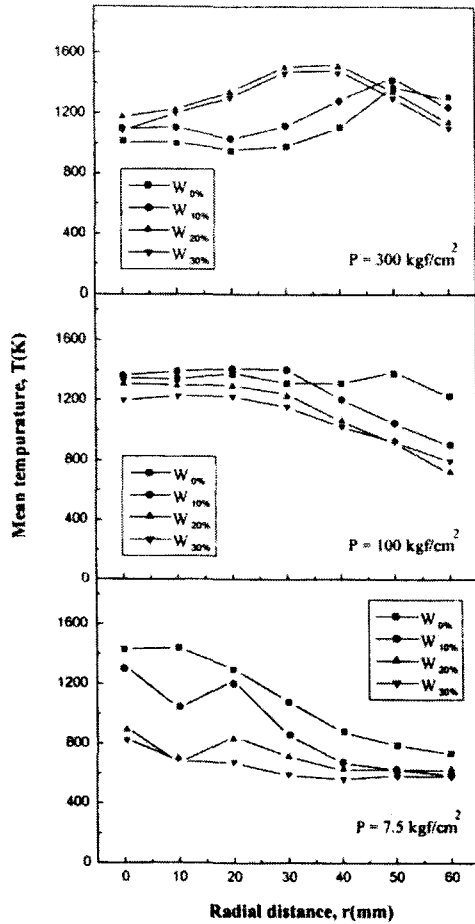


Fig. 7 Temperature distribution of radial distance (Z=100mm)

나타는 물이 함유된 유화연료의 온도분포와는 달리 모든 연료 조건이 반경방향으로 이동하면서 증가 후 감소하는 경향을 나타내고 있는데 이것은 분사압이 증가하면서 노즐내에서 스월의 성장이 증가하게 되고 이로 인해 연료액적들이 반경방향으로 넓게 분포하였기 때문이라 사료되고 반경방향 30 mm 에서 함수율 10 % 가 가장 높게 나타나고 20, 30, 0 % 순으로 나타나는데, 이것은 유화 연료 속에 함유된 물의 영향으로 인해 순수 연료보다 평균 온도가 높게 나타나며 함수율이 증가함에 따라 순수연료량의 감소로 온도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.

노즐 분사 압력이 높은 300 kg/cm<sup>2</sup>에서는

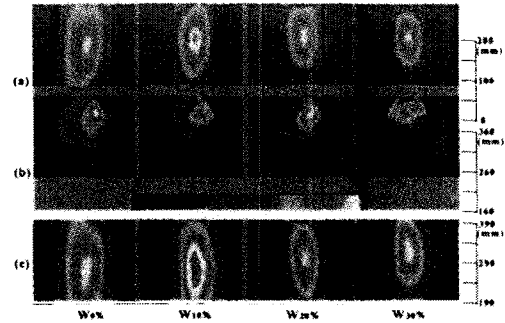


Fig. 8 Images of OH radical with injection pressure ( (a) = 7.5, 100kgf/cm<sup>2</sup> , (b) = 200kgf/cm<sup>2</sup> , (c) = 300 kgf/cm<sup>2</sup> )

유화 연료가 순수연료보다 평균 온도 분포가 높게 나왔으며 함수율이 높은 20, 30 % 에서 훨씬 높은 화염 온도를 얻을 수 있었다. 분사압이 높아질수록 유화연료 속의 물의 작용이 더 많이 일어나서 연료가 상대적으로 감소하지만 함수율 20, 30 %에서 평균온도 분포가 높게 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 7은 축방향 100 mm 에서 반경방향에 대한 평균온도 분포를 나타내고 있다.

노즐 분사압 7.5 kgf/cm<sup>2</sup>에서는 Fig. 6에서의 동일 조건에 비해 함수율이 증가할수록 화염의 길이가 감소하게 되고 그로 인해 순수연료일 때가 온도가 가장 높게 나타나며 함수율 10 % 와 20 % 에서는 노즐의 분무특성과 유화연료의 물성치 변화에 따른 점도의 영향으로 중심에서 높은 평균온도 값을 가지며 반경방향으로 이동하면서 감소 후 노즐의 특성으로 인해 다시 증가 후 감소하는 경향을 나타내고 있다.

노즐 분사압 100 kgf/cm<sup>2</sup>에서 300 kgf/cm<sup>2</sup>으로 증가할수록 함수율이 비교적 높은 20 % 와 30 % 가 축방향 50 mm 에서의 경우와 같은 이유로 인해 순수연료를 연소 했을 때보다 화염의 평균온도가 높게 나타나는 것으로 사료된다.

Fig. 8은 노즐의 분사압이 7.5 kgf/cm<sup>2</sup>, 200 kgf/cm<sup>2</sup>, 300 kgf/cm<sup>2</sup> 일 때 유화연료의 함수율 변화에 따른 OH라디칼의 분포를 보여주고 있다. Fig. 6(a) 에서 함수율이 증가할수록 라디

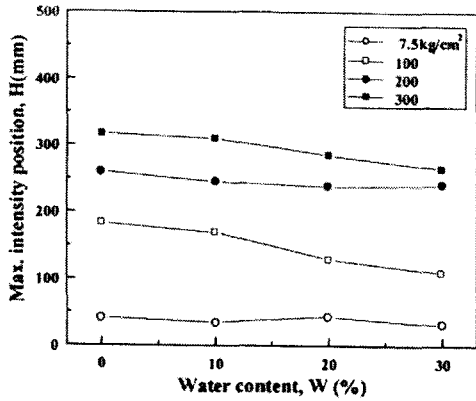


Fig. 9 Maximum position of OH radical intensity with different injection pressure

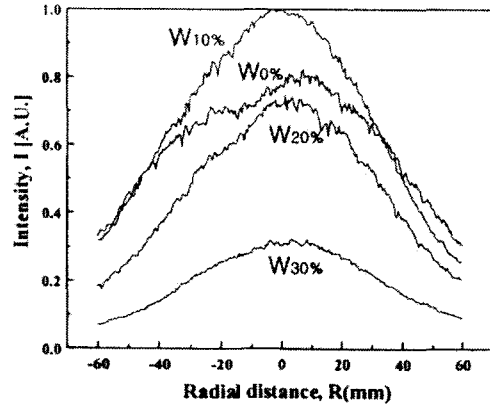


Fig. 11 OH radical intensity at 200kg/cm<sup>2</sup> injection pressure at Z=250mm

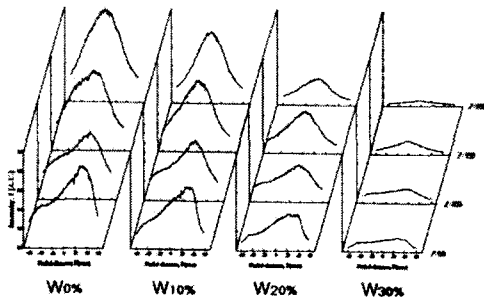


Fig. 10 OH radical intensity at 100kg/cm<sup>2</sup> injection pressure

값 강도가 약해지는 것을 알 수 있고, 강도가 한쪽으로 치우치는 것을 볼 수 있는데, 이것은 버너 측면에서 유입되는 공기스윙의 영향이 축방향으로의 연료분사속도보다 상대적으로 크기 때문에 화염이 비대칭형으로 발달되는 것으로 보인다. Fig. 6(b)와 (c)의 OH라디칼 분포에서 유화연료의 함수율이 10%일 때 물 입자들의 미소폭발로 전체적인 발광강도가 강하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 9는 각 분사압에 따른 유화연료의 OH 라디칼 최대강도점을 나타낸 것이다. 각 분사압에 따라 유화연료의 함수율이 증가할수록 최대강도점은 낮아지는 경향을 보이고, 분사압이 200 kg/cm<sup>2</sup>일 때 감소폭이 가장 낮은 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 분사압이 100 kg/cm<sup>2</sup> 일 때 라디

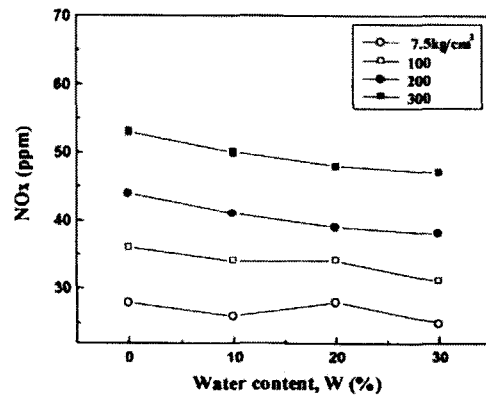


Fig. 12 NOx emissions of emulsified fuels with different injection pressure

칼 강도를 축방향 50 mm 간격으로 나타낸 그림인데, 유화연료의 함수율이 증가할수록 OH 라디칼 강도가 약해지는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 분사압이 7.5 kg/cm<sup>2</sup> 일 때도 유사하게 나타나지만, 분사압이 200 kg/cm<sup>2</sup> 과 300 kg/cm<sup>2</sup> 일 때 유화연료의 함수율이 10%일 때 라디칼 강도가 가장 높게 나타났다.

Fig. 11은 분사압이 200 kg/cm<sup>2</sup> 이고, 유화연료의 함수율 변화에 따른 축방향 Z = 250 mm 단면에서의 라디칼 강도를 나타낸다. 분사압이 100 kg/cm<sup>2</sup> 일 때와는 달리 함수율이 10% 일 때 라디칼 강도가 더 높은 것을 볼 수 있다. 이는 분사압의 증가로 인해 연료의 미립화가 활

정화되었고, 또한 유화연료의 액적이 가열되면서 물 입자의 미소폭발로 인한 액적의 2차미립화를 가져옴으로 인해서 연료의 미립화가 활성화되었고, 또 연소가 활발히 일어난 것으로 볼 수 있다.

배기배출물 측정시 프로브에 고깔모양의 채집기를 설치하여 연소기 끝에서 수직인 방향으로 약간 떨어진 곳에 고정하여 측정하였다.

Fig. 12는 각 분사압에 따른 유화연료의 NOx 발생을 측정한 결과이다. 전체 NOx 농도는 각각의 분사압에 따라 함수율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 유화연료내의 물을 증발시키는데 연소열이 소모됨으로써 화염의 하류부분의 온도가 낮아져서 유화연료내의 함수율이 증가할수록 NOx의 농도가 감소하는 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

연료분사압과 유화연료의 함수율을 조절하여 고효율 저공해 연소모드를 개발하기 위해 분사압력을 7.5, 100, 200, 300 kg/cm<sup>2</sup> 까지 변화시켜 유화연료의 연소특성 실험에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 함수율이 증가할수록 SMD는 증가했지만 분사압이 300 kg/cm<sup>2</sup> 로 점점 증가할수록 SMD는 노즐 분사압 7.5 kg/cm<sup>2</sup> 순수연료 SMD 보다 감소하였다.
- (2) 반경방향 온도분포는 상류에서는 분무외곽에서 고온을 유지하지만, 하류에서는 분무중심에서 고온을 유지한다.
- (3) 분사압이 200 kg/cm<sup>2</sup>, 300 kg/cm<sup>2</sup> 이고, 축방향 Z = 250 mm 단면에서의 OH라디칼 강도가 순수경유보다 유화연료내 함수율이 10 % 일 경우가 더 강하게 나타났다.
- (4) 분사압과 물함유량에 따른 OH라디칼 강도의 최대위치분포와 NOx의 분포는 같은 경향을 보였다.

#### 참고문헌

1. Dryer, F. L., 1976, "Water Addition to Practical Combustion Systems-Concepts and Applications", Sixteenth Symp.(Int'l) on Combustion, The Combustion Institute, pp.279-295.(1)
2. Greeves, G., Khan, I. M., and Onion, G., 1976, "Effects of Water Introduction on Diesel Engine Combustion and Emissions", Sixteenth Symp.(Int'l) on Combustion, The Combustion Institute, pp.321-336.
3. Nazha, M.A.A. and Crookers, R. J., 1984, "Effect of Water Content on Pollutant Formation in a Burning Spray of Water-in-Diesel Fuel Emulsion", Twentieth Symp.(Int'l) on Combustion, The Combustion Institute, pp.2001-2010.
4. Jahani, H. and Gollahalli, S.R., 1980, "Characteristics of Burning Jet A Fuel and Jet A Fuel-Water Emulsion Sprays", Combust. Flame, vol.37, pp.145-154.
5. Gollahalli, S.R., Rasmussen, M.L., and Moussavi, S.J., 1981, "Combustion of Drops and Sprays of No.2 Diesel Oil and Its Emulsions with Water", Eighteenth Symp.(Int'l) on Combustion, The Combustion Institute, pp.349-360.
6. Law, C.K., Lee, C.H., and Srinivasan, N., 1980, "Combustion Characteristics of Water-in-Oil Emulsion Droplets", Combust. Flame, vol.37, pp.125-143.
7. Jacques, M.T., Jordan, J.B., Williams, A., and Hadley-Coates, L., 1976, "The Combustion of Water-in-Oil Emulsions and The Influence of Asphaltene Content", Sixteenth Symp.(Int'l) on Combustion, The Combustion Institute, pp.307-319.
8. Chung, S.H., and Kim, J.S., 1990, "An Experiment on Vaporization and Microexplosion of Emulsion Fuel Droplets on a Hot Surface", Twenty-Third Symp.(Int'l) on Combustion, The Combustion Institute, pp.1431-1435.
9. Sjogren, A., 1976, "Burning of Water-in-Oil Emulsions", Sixteenth Symp.(Int'l) on Combustion, The Combustion Institute, pp.297-305.