

이색법을 이용한 직분식 디젤 가시화 엔진내의 확산화염 온도 및 매연 측정에 관한 연구

한 용 택^{*1)} · 이 기 형²⁾

한양대학교 대학원¹⁾ · 한양대학교 기계공학과²⁾

A Study on the Measurement of Temperature and Soot for Diffusion Flame in a Visualized D.I. Diesel Engine Using the Two-color Method

Yong-taek Han^{*1)} · Ki-hyung Lee²⁾

¹⁾Graduate School, Hanyang University, Gyeonggi 425-791, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 425-791, Korea

(Received 30 June 2006 / Accepted 7 August 2006)

Abstract : The temperature and soot of the visualized diesel engine's turbulent flow of flame was qualitatively measured. In combustion chamber, in order to judge the affect that the swirl has on the in-cylinder's current , was used two different heads with different values. Using the high speed camera, and the results were analyzed using the heat release rate produced by the pressure sensor. In order to measure the temperature and soot of the turbulent flames like that of the diesel flames two color methods were used temperature and the soot of the flames according to the conditions through analyzing the two wavelengths of the flames. It was possible to measure the highest temperature of the non-swirl head visualized engine which is approximately 2400K, and that swirl head engine managed up to 2100K. With respect to the visualized diesel engine soot, we got the grasp of the *KL* factor which bears the qualitative information of soot. This study is dedicated to suggesting the possibility of measuring not only the temperature but also soot of the diffusion flame of the diesel engine turbulent flames through such method.

Key words : Two-color method(이색법), Visualized diesel engine(가시화 디젤엔진), Temperature(온도), Soot(매연), Heat-release rate(열발생률), Swirl head(스윙형 헤드), Non-swirl head(비스윙형 헤드)

Nomenclature

- I_λ : intensity at wavelength $\lambda(w/m^2 \cdot \mu m)$
- ϵ_λ : emissivity at wavelength
- λ : wavelength
- c_1 : first radiation coefficient
- c_2 : second radiation coefficient
- K_{ext} : extinction coefficient
- KL : soot concentration factor

1. 서론

디젤엔진은 높은 열효율과 경제성, 다양한 연료를 사용하는 이점으로 널리 사용되어 왔지만, 디젤 엔진에서의 매연 배출 측면에서는 자동차 배출 가스에 의한 환경 문제가 심각하게 대두됨에 따라 지구 온난화의 주원인인 CO₂를 비롯한 NO_x, soot 등의 유해 물질의 배출 저감¹⁾은 매우 중요한 연구 과제가 되고 있다.

디젤 엔진의 해결하여야 할 문제점 중의 하나인 엔진내에서의 매연계측에 관한 과거 연구를 살펴보

*Corresponding author, E-mail: rthan102@hanmail.net

면 Pinson 등²⁾은 LII기법으로 측정된 디젤 엔진내의 매연체적분률을 기존의 Santoro et al.³⁾등에 의한 광소멸법으로 측정된 결과를 이용하여 정량화하였으며, 매연입자 직경의 정량화에 관하여는 광산란법과 LII기법의 동시적용실험과 광산란법을 이용한 보정실험을 통하여 수행하였다. 이와 같은 매연입자의 정량화를 위한 연구에서는 대부분 상대 입경 및 상대 수밀도에 대한 해석이 이루어졌으며, 연소실내에 LII기법을 이용한 매연입자의 입경, 체적분율 및 수밀도의 신뢰성 있는 정량적인 측정은 어려움이 많은 것으로 알려져 있다.

또한 연소의 계측에 있어 주요한 측정대상은 속도, 온도 및 화학종의 농도로서 기존의 계측에 있어서 속도계측은 주로 피토 튜브나 열손유속계를 사용하고 있으며, 종래에 사용된 휘염을 대상으로 하는 측정기술인 이색법은 휘염에 대한 두 파장의 온도를 알아내는 기술로서 진 온도를 구하는 방법인데 타 측정 장비에 비하여 저렴한 투자로 응용범위를 확장할 수 있는 장점이 있다. Matsui⁴⁾ 등이 가시영역의 파장을 이용하여 디젤 엔진내 온도분포와 soot분포 측정을 위해 이색법을 적용한 이래 적외선 파장으로 측정온도 범위를 넓히고, Kobayashi⁴⁾ 등이 고압분사에서의 화염온도를 측정하는 사례가 있으며, 이원남⁵⁾ 등은 ratio parameter 방법을 이용하여 층류 확산화염에서의 온도를 파악하였다. 또한 정상상태의 확산화염에서 자발광을 사용한 이색법을 이용하여 매연의 양이 많이 생성되는 지역에서 온도 및 매연체적분률을 측정하는 결과를 레이저로 측정하는 매연체적분률의 양과 온도를 비교하여 검증한 바 있으며, 하중률⁶⁾ 등은 디젤엔진의 헤드에 광화이버를 이용한 점계측 이색법의 방법으로 엔진회전수, 부하, 분사시기 및 피스톤 캐비티 형상 변화에 따른 화염온도와 KL치를 이용하여 soot의 생성과 소멸에 미치는 영향을 밝힌 바 있다.

이와 같은 난류연소에서의 온도와 매연 계측 기술의 개발을 본 연구에서의 최종 목표로 두고 있으며, 비정상상태의 확산화염인 디젤화염에서는 현재까지의 연구로서는 정량적인 값을 구하기에는 한계가 따르므로 겉보기 온도에 따른 화염내부의 온도 분포와 정성적인 매연의 값을 측정함으로써 다양한 확산화염 조건에 따른 온도와 매연의 분포계측의

가능성의 제시함을 본 연구의 목표로 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 확산화염에 대한 이색법의 적용

Soot입자의 복사를 이용하는 이색법은 서로 다른 두 파장의 복사를 검출하고, 화염 방사율에서 미지수를 소거하는 방법으로 화염온도를 구한다. 단파장 흑체 방사율 $I(\lambda, T)$ 는 3000K이하의 온도일 때 Wien의 식에 의해 가시파장 영역 내에서 정확도 1% 내에서 식 (1)과 같이 주어진다.⁷⁾

$$I(\lambda, T) = \epsilon_{\lambda} c_1 \lambda^{-5} \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right) \quad (1)$$

식에서 λ 는 파장이고, T 는 절대온도이며, c_1 과 c_2 는 프랭크 상수이며 $c_1 = 3.742 \times 10^8 w \cdot \mu m^4 / m^2$ 이고, $c_2 = 1.439 \times 10^8 \mu m \cdot K$ 이다. ϵ_{λ} 는 화염의 단파장 방사율이다. 또한, soot의 방사율을 측정하여 soot의 온도를 파악하기 위해 다음과 같은 Lambert Beer's의 법칙을 적용한다.

$$\epsilon_{\lambda} = 1 - e^{-K_{\lambda} L} \quad (2)$$

식에서 K_{λ} 는 soot의 크기가 작으므로 산란율은 무시되고 흡수율로 간주된 계수이다. Hottel과 Broughton⁸⁾의 실험식을 디젤화염내의 soot입자를 단파장 방사율에 적용하면, $a_{\lambda} = \frac{K}{\lambda^a} = K_{\lambda}$ 가 된다.

여기에서 K 는 soot입자의 밀도와 관계된 값을 나타내는 흡수계수이며, a 는 특정파장과 관련된 상수이다. 식 (2)와 $a_{\lambda} = \frac{K}{\lambda^a} = K_{\lambda}$ 에서

$$\epsilon_{\lambda} = 1 - \exp\left(-\frac{KL}{\lambda^a}\right) \quad (3)$$

식 (3)은 작은 입자의 산란이론에서 얻어진 엄격한 해의 근사적인 값이며, L 은 관찰된 화염 축방향의 기하학적인 두께이다. KL 이 근사적인 입자수 밀도와 화염 두께를 나타내고, λ^a 는 파장의 영향을 근사적으로 나타내기 때문에 지수 a 는 입자 직경의 함수이고, soot의 굴절 지수이다. 이것은 화염의 구조와 연료의 종류에 의해서 결정된다. 식 (1)과 (2)에서 soot의 밀도의 지표인 KL 값은 다음 식으로 표시된다.

$$KL = -\lambda^a \ln[1 - \exp(-\frac{c_2}{\lambda}(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T}))] \quad (4)$$

이 식을 이색법을 적용하는 두 파장의 식으로 나누어 쓰면 식(5)와 식(6)과 같다.

$$KL = -\lambda_1^a \ln[1 - \exp(-\frac{c_2}{\lambda_1}(\frac{1}{T_{a1}} - \frac{1}{T}))] \quad (5)$$

$$KL = -\lambda_2^a \ln[1 - \exp(-\frac{c_2}{\lambda_2}(\frac{1}{T_{a2}} - \frac{1}{T}))] \quad (6)$$

식(5)와(6)에서 KL 을 소거하면

$$\lambda_1^a [1 - \exp(-\frac{c_2}{\lambda_1}(\frac{1}{T_{a1}} - \frac{1}{T}))] = \lambda_2^a [1 - \exp(-\frac{c_2}{\lambda_2}(\frac{1}{T_{a2}} - \frac{1}{T}))] \quad (7)$$

식(7)에서 이색법에 적용하는 두 파장 λ_1, λ_2 와 측정된 T_{a1}, T_{a2} 를 대입하면 KL 도 구할 수 있다.

기본적으로 디젤화염은 발광화염이며, soot입자부터의 광복사는 강한 연속 스펙트럼을 발산하므로 soot는 입자로부터의 광복사는 강한 연속 스펙트럼을 발산하므로 soot는 다른 가스의 복사를 차단한다고 가정한다.⁹⁾ 또 이색법은 사용하는 파장에 따라 측정값에 차이를 보이는데 처음에는 가시파장역을 사용하여 온도분석을 하였지만, 이색법이 점점 발전하면서 적외선 영역을 포함하여 보다 넓은 온도 범위에서 가능하게 되어 가스성분들의 스펙트럼을 측정하여 이색법이나 기타 해석법으로 온도와 농도의 공간분포의 정량해석을 가능하게 되었다.

2.2 직분식 디젤 엔진 및 실험 조건

직분식 가시화 디젤 엔진의 경우에는 광학적 접근이 가능한 단기통 가시화엔진을 사용하였다. Fig. 1과 Fig. 2에는 본 연구에 사용된 시스템의 개략도를 나타내었으며 Table 1에는 엔진의 주요사항을 정리하였다. 구동 장치는 정출력 방식의 DC모터를 사용하였으며 엔진 작동시의 축 토크를 억제하여 일정한 회전수를 유지할 수 있도록 4상한 제어방식을 사용하였다. 한편, 관측영역이 되는 연소실은 직경 50mm의 Bowl-in-piston 형식으로 피스톤 크라운 부분에 해당하는 관측창을 부착하였으며, 피스톤 캐

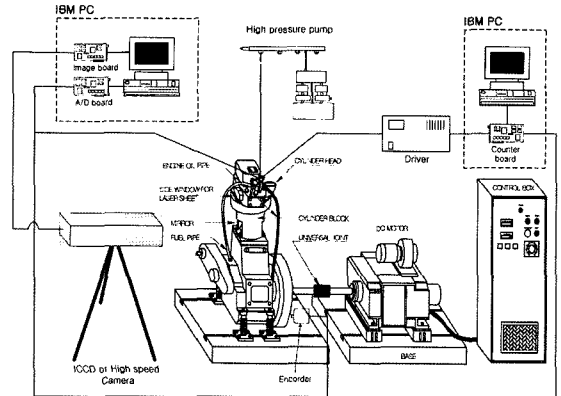


Fig. 1 Schematic of experimental rig for combustion visualization

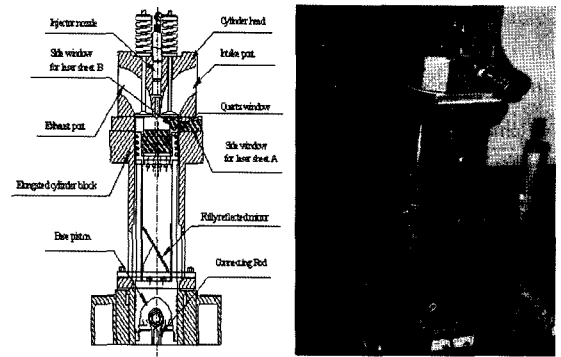


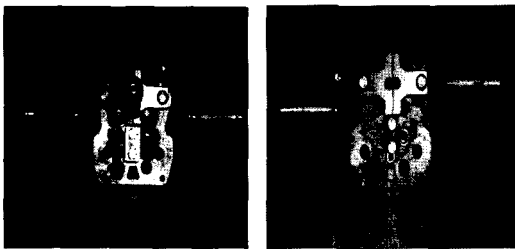
Fig. 2 Cross-section of the visualization engine and photography

Table 1 Engine specification

Bore × Stroke	95 × 95
Compression ratio	17
Displacement volume	675cc

비티 부분에 연소시 고온과 압력에 견딜 수 있는 석영유리로 만들어진 관측창을 부착하였으며, 연장 피스톤의 하부에 장착된 45°각도의 광학용 미러를 사용하여 화염 및 유동장의 상태를 고속카메라와 ICCD 카메라를 이용하여 직접 관측할 수 있도록 하였다. 그리고 관측창의 청결도를 유지하기 위하여 무윤활 방식을 사용하였고, 내마모성이 우수한 테프론링을 피스톤에 부착하였다. 이 경우 내열고무를 테프론링과 피스톤 사이에 부착하여 적절한 장력을 제공함으로써 기밀성을 유지하였으며, 실험을 수행하여 마모가 되었다고 판단되면 교체하여 사용

하였다. 또한, 본 실험에서는 연소실내의 스윙 유동이 유동장에 미치는 영향을 평가하기 위하여 각각의 스윙비를 달리하는 두 종류의 헤드를 사용하였다. 가시화 엔진과 동일한 보어를 가진 상용의 단기통 직분식 디젤엔진(ND10DE)의 실린더 헤드를 기본으로 상면을 적절히 가공하여 커먼레일식 인젝터와 압력센서를 직립으로 부착할 수 있었으며, 고압의 연소시 인젝터를 고정시키기 위하여 별도의 고정 장치를 설치하였다. 또한, 본 실험에 쓰인 두 종류의 실린더 헤드는 유량 확보 면에서는 유리하나 스윙 유동이 발생 하지 않을 것이라 예상되는 형식의 직립형 헤드(Non-swirl head)와 유량 확보면에서는 불리하나 실린더내에 강력한 스윙 유동을 형성할 수 있을 것이라 기대되는 스윙 형식의 헤드(Swirl head)를 제작하여 사용하였으며, 두 가지 헤드의 형상은 Fig. 3과 같다. 실린더 헤드의 많은 가공으로 인해서 피스톤과 실린더 라이너 등은 적절히 교환하였으나 실제 연소의 해석시에 사용되는 시판되지 않는 부품에 대해서는 주의를 가지고 실험을 수행하였다.



(a) Non-swirl type head (b) Swirl type head
 Fig. 3 Two types of cylinder head

가시화 엔진을 이용한 연소실험에서는 고압의 분사압력과 정밀한 분사시기의 제어를 얻기 위하여 전자제어 및 고압화가 가능한 커먼레일식 연료분사 장치를 제작하여 사용하였다. 시스템의 구성은 송출압력을 얻기 위한 고압펌프부와 인젝터로 전류를 흘려 작동시키는 전용의 인젝터 드라이버(TDH-3200H, Tems社)와 데이터와 화상을 얻을 수 있는 PC로 실험 시스템의 구성이 이루어져 있다.

공압을 사용하는 고압펌프(Haskel)를 사용하여 연료 탱크에 저장된 연료를 고압으로 송출할 수 있

도록 하였으며, 레일체적 보다 큰 보조탱크를 부착하여 연료 분사시에도 커먼레일 내부의 압력이 급격히 변화하지 않도록 하였다. 한편, 레일내부의 압력은 고압펌프로 유입되는 공기의 양을 조절하여 250bar부터 1500bar까지 조절할 수 있도록 하였으며 압력게이지를 부착하여 레일 내부의 압력을 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다. 그리고 실험에 사용된 인젝터는 보쉬(Bosch社)의 제품으로 153°의 분사각도를 가지는 5공 노즐을 사용하였다.

또한 최종적으로는 디젤 엔진화염의 온도와 매연 측정에 목적을 두고 있으므로, 엔진의 회전수를 250rpm, 500rpm, 750rpm에 대해서 각각의 분사압력을 300bar, 600bar, 900bar, 1200bar로 조절하였고, 공연비를 40대 1로 맞추어서 연료를 공급하였다. 또한, 분사 시기는 각 조건에 따라서 단일분사로 BTDC10°에서 동일하게 분사하였으며, 냉각 계통을 실제엔진의 냉각수 온도와 유사한 조건이 되도록 헤드의 온도가 약 85°C에서 90°C사이를 유지하도록 설계하여 엔진을 운전하였다. 각각의 연소실험에 사용한 조건들은 Table 2에 정리하였다.

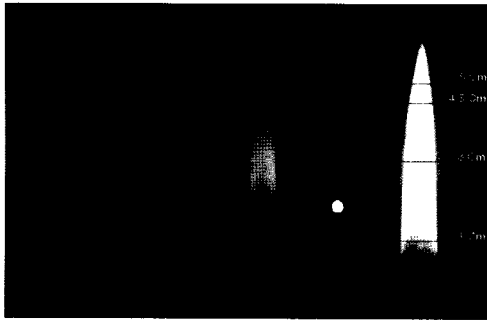
Table 2 Experimental conditions

Air-Fuel ratio	40 : 1
Cylinder head type	swirl head, non-swirl head
Injection pressure	300, 600, 900, 1200 bar
Engine speed	250, 500, 750

3. 실험결과

3.1 동축류 버너를 이용한 이색법의 검증

실제 디젤 가시화엔진에서의 이색법을 적용하기 전에 동축류 버너에서의 열전대를 이용한 온도측정 결과와 비교함으로써 이색법의 타당성 및 절차를 검증하였다. 이를 위하여 동축류 버너에서의 화염을 실제 엔진에 쓰일 동일한 광학필터를 사용하여 동축류 버너의 화염 180scc/m에서의 연료량에 대하여 3cm위치에서의 열전대를 이용한 화염온도의 비교하였다. 실제 엔진에서의 적용과 차이점은 동축류 화염에서는 화염의 광학거리를 Abel변환을 이용하여 동축류 화염에서의 온도를 계산할 수 있었다. Fig. 4는 화염높이 3cm에서 열전대를 사용하여 나온



(a) 550nm (b) 750nm (c) 180scc/m

Fig. 4 Photography of raw image acquired by 550nm, 750nm narrow band-pass filters

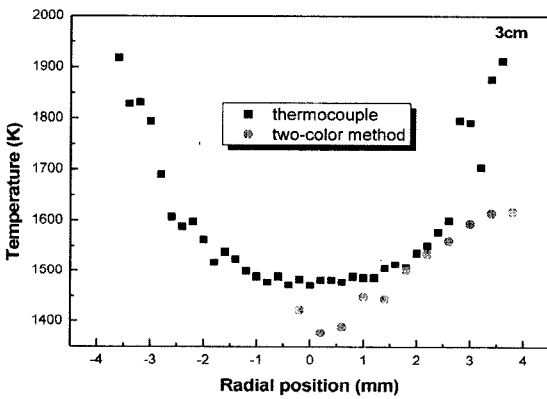


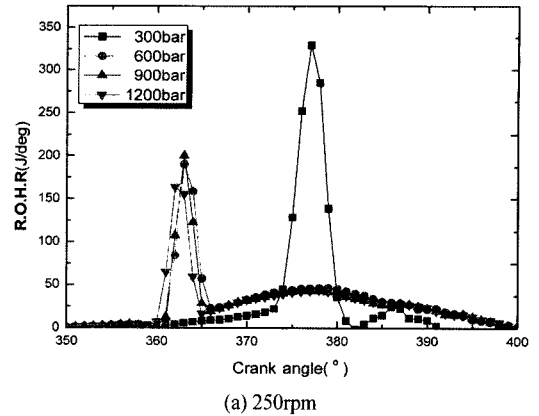
Fig. 5 Comparison of temperature obtained from thermocouple with two-color method

결과와 이색법의 절차를 통하여 나온 결과를 비교한 그림으로서, 화염의 형태가 비교적 안정적인 3cm 높이에서의 열전대를 이용한 화염온도의 결과와 이색법을 사용하여 확보한 같은 높이에서의 온도결과가 비교할 수 있을 정도로 근접하고 있다는 것을 Fig. 5의 그림에서 확인할 수 있다.

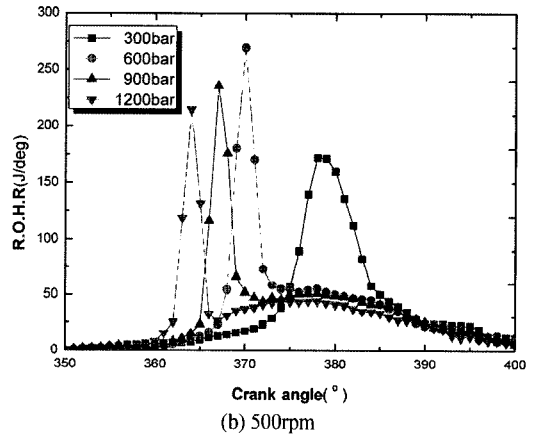
3.2 디젤가시화 엔진내의 열발생률 특성

Fig. 6의 결과 그림은 non-swirl 헤드의 경우에 대한 BTDC 10° 분사시의 열발생률의 결과를 보여주고 있으며, Fig. 7의 그림은 swirl 헤드에서 같은 조건에서의 열발생률의 결과그림을 나타내고 있다. Table 2와 같은 실험조건으로 변화시키며 열발생률을 얻을 수 있었다.

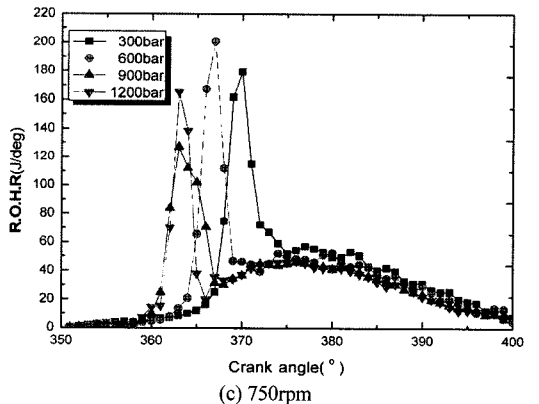
두 가지 헤드에서 열발생률의 최대치를 살펴보면, non-swirl 헤드와 swirl 헤드에서 다른 경향을 볼



(a) 250rpm



(b) 500rpm



(c) 750rpm

Fig. 6 Comparison of heat release rate for non-swirl head type

수 있는데, non-swirl 헤드에서의 열발생률을 살펴보면 300bar에서 600bar로 분사압력이 높아지면, 연료의 미립화의 증가로 열발생률의 예혼합 연소구간의 증가를 확인할 수 있다. 그러나 900bar 이상의 분사압력에서는 non-swirl 헤드에서는 연료의 고압

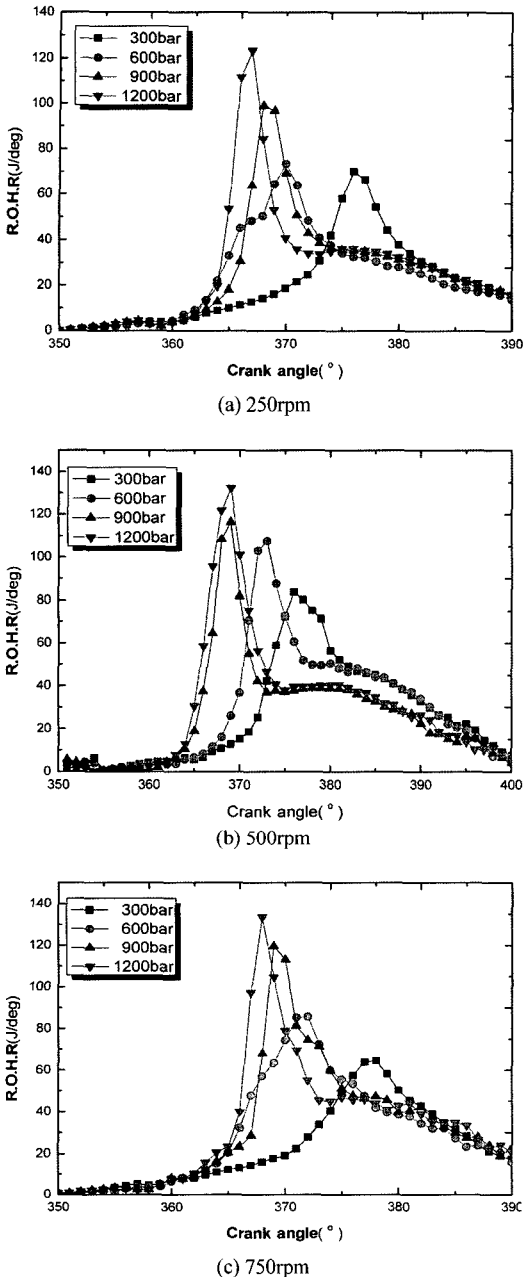


Fig. 7 Comparison of heat release rate for swirl head type

화가 될수록 분사된 연료가 연소실 벽면과의 충돌 이후로 튕겨 나온 연료액적이 공기와의 혼합 정도가 좋지 않으므로 예혼합의 증가가 이루어지지 않은 것으로 판단 될 수 있으며, 이와 같은 경향은 non-swirl 헤드에서의 500과 750rpm의 경우에 확인할 수 있다.

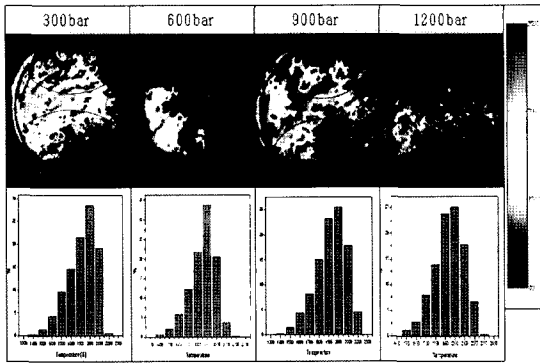
반면, Fig. 7의 swirl 형 헤드에서의 열발생률을 살펴보면 분사압력이 높아질수록 열발생률의 최대치가 TDC 근방으로 옮겨가고 있으며, 또한 분사압력에 따라 예혼합 부분에서의 최대치가 250, 500, 750rpm에서 모두 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 분사압력에 따른 열발생률의 곡선과 일치하는 경향을 보인다고 할 수 있으며, non-swirl 헤드와 비교해볼 때 swirl 헤드에서는 연료와 공기와의 예혼합 정도가 증가하므로 이러한 경향이 나타나는 것으로 여겨진다. 또한 이런 결과는 연소실과의 충돌로 튕겨 나온 액적은 고압 분사 시 원래 가지고 있던 운동량을 벽면과의 충돌로 인하여 상당히 잃어버렸기 때문에 스웰 유동의 영향을 크게 받은 것으로 판단된다.

3.3 디젤엔진의 화염 온도 및 soot 농도 분포 특성

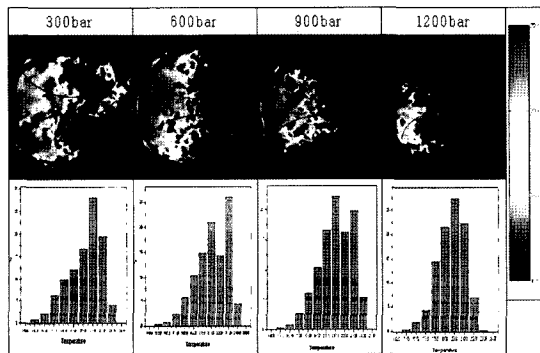
본 연구에서는 흑백전용의 고속카메라를 이용하여 1000fps, 또는 2000fps의 촬영속도와 550nm (FWHM:10nm), 750(FWHM:10nm)의 광학필터를 사용하여 화염에 따라서 1/1000초 또는 1/2000초의 노출시간으로 화염의 이미지를 획득하여 화염을 분석하였다.

3.3.1 디젤엔진에서의 화염온도 특성

Fig. 8과 Fig. 9의 결과그림은 non-swirl head 및 swirl head에서의 연료 분사압력이 300, 600, 900, 1200bar에서 최대회도를 갖는 화염의 온도분석결과를 보여주고 있다. Fig. 8에서 500rpm에서 300bar로 분사시 최고온도는 2100K에서 최대보이고 있는 반면 분사압력이 1200bar에서는 2300K에서 온도의 최대값을 보이고 있다. 이는 분사압력이 증가할수록 공기와의 예혼합 비율이 증가하므로 화염의 강도가 감소하게 되므로 실제의 온도는 2300K보다 더 높은 값을 갖는다는 것을 예측할 수 있다. 750rpm일 경우에는 300bar로 분사시 2300K에서 최대온도 값을 나타내고 분사압력이 증가할수록 2400K의 값까지 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 실험결과를 통해서 분사압력이 증가할수록 연료의 미립화의 효과로 연소실내의 공기와의 혼합률이 증가하게 되어 연소의 강도도 증가하게 되는 것을 알 수 있으며 엔진회

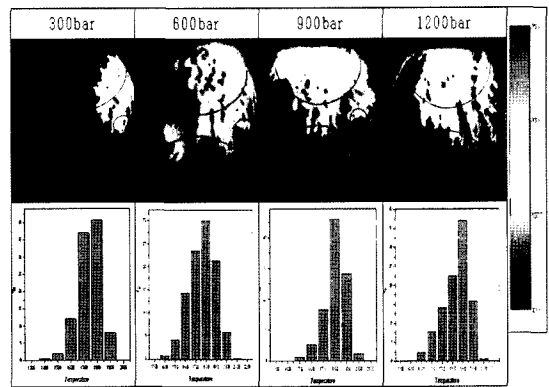


(a) Engine speed (500rpm)

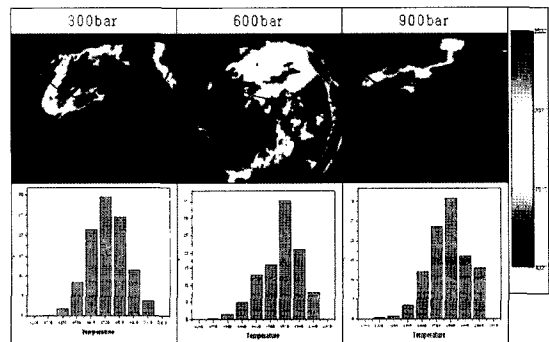


(b) Engine speed (750rpm)

Fig. 8 Maximum temperature distribution and probability of temperature for non-swirl head at 500rpm, 750rpm



(a) Engine speed (500rpm)



(b) Engine speed (750rpm)

Fig. 9 Maximum temperature distribution and probability of temperature for swirl head at 500rpm, 750rpm

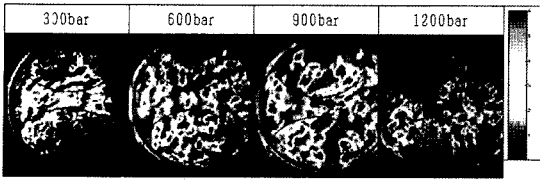
전수가 증가할수록 디젤엔진의 연소온도도 증가하게 되는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 9에서는 swirl head에서 온도분포의 결과를 보여주고 있다. 화염이 스월의 영향으로 인하여 동시 다발적으로 발생하지 않고 한쪽으로 몰린 상태에서 화염의 생성과 성장 및 소멸 하는 것을 전체적인 사진을 통해 볼 수 있으며, 온도의 분포도 화염의 중앙 부위에서는 최고의 온도를 보이고 화염의 끝에서 온도의 하강이 일어나는 현상을 볼 수 있다. non-swirl head와 동일하게 벽면에 충돌하는 화염의 온도가 낮게 분포하고 있음을 확인할 수 있으며, non-swirl head에 비해서 온도의 분포가 낮게 형성되고 있는데 이는 동일한 공연비에서 공기흡입량이 적기 때문이며, swirl head보다 non-swirl head에서 연소실내의 온도가 200~300K 정도 높은 것을 확인할 수 있으며 swirl head에서는 최고 온도가 약 2100K 정도로 나타남을 알 수 있다.

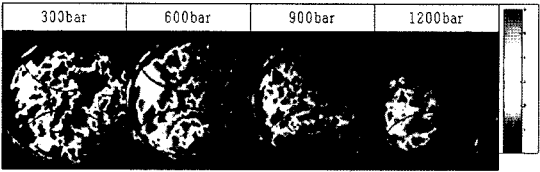
3.3.2 디젤엔진에서의 soot 농도 분포특성

Fig. 10의 결과 그림은 non-swirl head에 대하여 500rpm과 750rpm의 두개의 회전 수 조건과 연료의 분사압력은 300bar, 600bar, 900bar, 1200bar에서 분사 될 때의 연소현상 중 최대 휘염을 가지는 화염을 분석한 결과 그림으로서, non-swirl head에서는 전체적으로 매연의 분포가 넓은 면적을 가지는 것을 볼 수 있고, 1200bar로 분사하였을 경우에는 연료의 미립화가 촉진되기 때문에 상대적으로 적은 면적에서의 매연의 분포를 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 이색법을 이용한 온도의 분포와 비교해보면 온도가 상대적으로 높은 면적에서는 매연의 분포가 상대적으로 적은 것을 확인할 수 있고, 온도가 낮은 부분에서는 매연의 분포가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 swirl head에 대한 매연의 분포를 측정 한 결과로서 non-swirl head에 비해 상대적으로 스월의

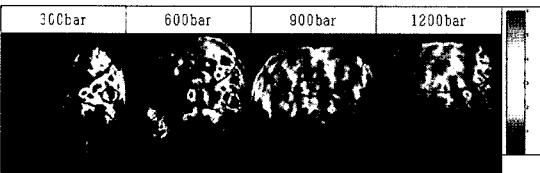


(a) Engine speed (500rpm)

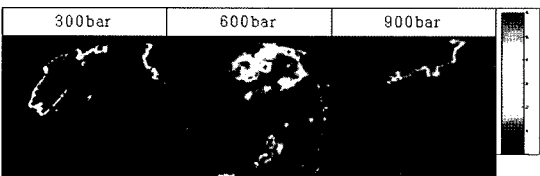


(b) Engine speed (750rpm)

Fig. 10 Soot distribution and KL factor for non-swirl head at 500rpm, 750rpm



(a) Engine speed (500rpm)



(b) Engine speed (750rpm)

Fig. 11 Soot distribution and KL factor for swirl head at 500rpm, 750rpm

영향으로 좁은 면적에서 매연의 분포가 발생하는 것을 알 수 있으며, 정성적인 양도 non-swirl head에 비해서 적게 발생하는 것을 알 수 있는데 이러한 사실로부터 스월의 강화로 인해서 매연의 발생이 적게 나타남을 예측할 수 있다. 또한 스월이 시계방향으로 발생하는 것을 화염의 가시화를 통해 확인할 수 있는데 일단 화염이 발생하여 성장하는 과정에서 화염과 공기가 만나는 면에서 매연의 발생이 활발하게 일어남을 알 수 있다. 이는 분사된 연료가 연소실 벽면에서 만나 급격한 온도의 변화로 인해 매연의 발생이 증가하는 것과 동일하게 화염의 중앙부위에서는 화염의 온도가 높은 반면 공기와 혼합

되는 부분에서 상대적으로 온도의 급격한 변화로 인해서 매연의 발생이 증가하게 되는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 직분식 가시화 엔진내의 난류 확산화염의 온도와 매연의 정보를 이색법을 사용하여 얻은 실험결과로서 주요 결론으로는 다음과 같다.

- 1) Non-swirl head에서의 열발생률에서 연료의 고압화가 될 수록 분사된 연료가 연소실 벽면과의 충돌이후로 튕겨 나온 연료액적이 공기와의 혼합 정도가 좋지 않으므로 예혼합의 증가가 이루어지지 않은 것으로 판단되며, 반면 swirl head에서는 연료 분사압력의 증가에 따라서 열발생률의 최대치가 증가한다.
- 2) 디젤화염의 온도분포는 non-swirl head에서는 연소실내의 유동이 무질서하므로 연소실 영역에 화염이 형성되는 반면, swirl head에서는 스월의 영향으로 인하여 연소의 형태가 한 부분에 편중되어 발생된다.
- 3) Non-swirl head에서는 화염의 최대치가 2400K까지 형성되는 결과를 얻었고, swirl head에서는 2100K까지 최대온도가 형성된다.
- 4) 온도와 KL치수는 반대의 분포를 나타내었고 화염온도가 높은 부분에서는 확산화염에서 발생한 매연을 급격하게 산화시켜 매연의 농도를 줄이는 것을 예상할 수 있었다.

References

- 1) R. Barale, M. Bulleri, G. Cornetti and W. F. Wachter, "Preliminary Investigation on Genotoxic Potential of Diesel Exhaust," SAE 920397, 1992.
- 2) J. A. Pinson, D. L. Mitchell, R. J. Santoro and Thomas A. Litzinger, "Quantitative, Planar Soot Measurements in a D.I. Diesel Engine Using Laser-Induced Incandescence and Light Scattering," SAE 932650, 1993.
- 3) R. J. Santoro, H. G. Semerjian and R. A. Dobbins, "Soot Particle Measurements in

- Diffusion Flames," *Combustion and Flame*, Vol.51, pp.203-218, 1983.
- 4) Y. Matsui, T. Kamimoto and S. Matruoka, "A Study on the Flame Temperature and Soot Concentration in a D.I. Diesel Engine by the Two-Color Method," SAE 790491, 1979.
 - 5) Y. W. Nam and W. Lee, "The Measurement of Soot Particle Temperatures Using a Ratio Pyrometry," KOSCO Symposium, 2004.
 - 6) T. W. Lee, S. B. Lee and J. R. Ha, "A Study on a Technique of the Measurement of Flame and Soot Using the Two-Color Method in Diesel Engines," *Transactions of KSME*, No.20, Vol.8, pp.3007-3014, 1996.
 - 7) Y. Matsui, T. Kamimoto and S. Matsuoka, "A Study on the Time and Space Resolved Measurement of Flame Temperature and Soot Concentration in a D.I. Diesel Engine by the Two-Color Method," SAE 790491, 1979.
 - 8) H. Hottel and F. Broughton, "Determination of True Temperature and Total Radiation from Luminous Gas Flames," *Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition*, Vol.4, pp.166-175, 1932.
 - 9) I. Yamaguchi and T. Nakahira, "An Image Analysis of High Speed Combustion Photographs for D.I. Diesel Engine with High Pressure Fuel Injection," SAE 901577, 1990.