

부분 예혼합 압축착화 조건에서 디젤분무의 화염특성

방중철^{*†} · 박철환^{**}

Flame Characteristics of Diesel Spray in the Condition of Partial Premixed Compression Ignition

Joong Cheol Bang and Chul Hwan Park

ABSTRACT

Diesel engines exhaust much more NO_x(Nitrogen Oxides) and PM(Particulate Matter) than gasoline engines, and it is not easy to reduce both NO_x and PM simultaneously because of the trade-off relation between two components. This study investigated flame characteristics of the partial premixed compression ignition known as new combustion method which can reduce NO_x and PM simultaneously. The investigation was performed through the analysis of the flame images taken by a high speed camera from the visible engine which is the modified single cylinder diesel engine.

The results obtained through this investigation are summarized as follows;

- (1) The area of the luminous yellow flame was reduced due to the decrease of flame temperature and even distribution of temperature.
- (2) The darkish yellow flame zone caused by the shortage of the remaining oxygen after the middle stage of combustion was considerably reduced.
- (3) Since the ignition delay was shortened, the violent combustion did not occur and the combustion duration became shortened.

Key Words : Visible engine, Two-stage injection, Partial premixed, High speed flame photographs, Image analysis

1. 서론

혼합기형성에 긴 시간이 주어지는 가솔린기관은 압축행정 말기에는 거의 균일한 혼합기가 형성되어 실린더 내에 유입된 전체의 공기가 연소에 유효하게 이용된다. 그러나 디젤기관처럼 압축행정의 말기에 연료를 분사하는 방식에서는 분무가 미치지 못하는 장소에 존재한 공기는 연소에 이용되지 못하고, 반대로 분무가 밀집된 영역에서는 산소부족이 되어 불완전 연소를 일으키게 된다. 디젤기관은 이처럼 공연비가 농후한 영역에서는 입자상물질(PM)이, 이론공연비 영역에서는 질소산화물(NO_x)이 발생하게 되는 문제점을 안고 있으나 양자가 trade off의 관계에 있으므로 저감대책도 쉽지 않다. 그럼에도 불구하고 전세계적으로 자동차 배기가스에 의한 대기오염의 심각

성으로 인해 규제는 날로 엄격해 지고 있다. 근래에 이르러 이 양자의 동시저감을 이루기 위한 수단으로써 예혼합 압축착화(HCCI : Homogeneous Charge Compression Ignition)연소방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-5]. 이 연소방식에서는 기존 디젤기관의 연료분사와는 달리 압축행정의 초기 또는 그 이전에 연료를 실린더 내에 공급하여 가솔린기관처럼 균일한 연료공기혼합기의 형성을 목적으로 하고 있으나 실린더내의 공기온도가 낮은 이른 시기에 연료를 공급하므로 인해 연료의 벽면부착, HC의 증가, 연비악화 및 출력저하 등의 문제점들도 부각되고 있어 과급, EGR, 협각 인젝터의 사용, 부분 예혼합연소 등에 이르기까지 적용범위를 확대 시켜가면서 개선점을 찾고 있다[6-9].

그러나 이러한 연구에서는 실용기관에 의한 배기 특성이나 연비, 열 발생률, 평균유효압력 등의 측정에 의한 기관성능에 초점을 맞추고 있는 경우가 대부분으로 예혼합 연소시의 화염거동에 대해서는 제시

* 금오공과대학교 기계공학과

** 금오공과대학교 기계공학과 대학원

† 연락저자, bjc@kumoh.ac.kr

가 드문 편이다.

본 연구에서는 단기통의 실용기관을 개조한 가시화기관을 사용하여 기존 분사시기 보다 이른 시기에 다량의 1차 분사를 실시한 후 상사점 부근에서 소량의 연료를 착화원으로써 2차 분사하는 2단 분사(two stage injection)에 의해 부분 예혼합연소를 구현하고 발화 핵의 발생에서부터 화염의 소멸까지 성장과정을 수록한 비디오 화상의 2색법(two-color method)[10-12]에 의한 분석과 압력선도 및 연소기간의 측정결과 등을 통하여 얻어질 수 있는 효과들의 근거를 규명하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험기관은 원래 수냉식 단기통의 4행정 디젤기관이었으나 가시화를 위하여 실린더 헤드를 떼어내고 실린더 라이너에 6개의 소기공과 2개의 배기공을 가공하여 Schnürle 소기방식의 직접분사식 2행정기관으로 개조하였다. 떼어낸 실린더 헤드 대신에 Fig. 1과 같이 화염의 발달경과를 직접 촬영할 수 있도록 강화유리 관찰 창을 설치한 별도의 헤드를 제작하여 결합시켰다. 2행정의 가시화기관으로 개조하는 경우, 분사노즐의 장착제한으로 인해 실린더 헤드 측면에 노즐을 설치하여 하향분사 하는 경우가 많으나 본 연구에서는 보다 실제기관에 가까운 분사조건을 재현하기 위하여 실린더 헤드의 상부에 노즐을 설치하여 연료가 캐비티 내에 분사되도록 하였다. 단, 분사노즐의 상부장착으로 인하여 전체연소실 면적의 약 70% 가시화를 실현하였다. 실린더내의 소·배기 유동은 Fig. 2에 나타내었으며 2행정기관으로 개조함에 따른 유효압축비의 저하를 보충하고 매 사이클마다 동일한 급기밀도를 유지시키기 위하여 루츠블로워를 작동시켜 소기 압을 115 kPa로 고정하였다. 연료분사는 단일분사(single injection)만을 실시하는 방법과 2단 분사를 실시하는 방법을 적용하였으며 단일분사의 경우에는 BTDC 12°CA, 2단 분사시의 1차 및 2차 분사는 BTDC 50°CA 및 BTDC 12°CA로 하였다. 연료 총 분사량은 16 mg/st로, 2단 분사시의 2차 분

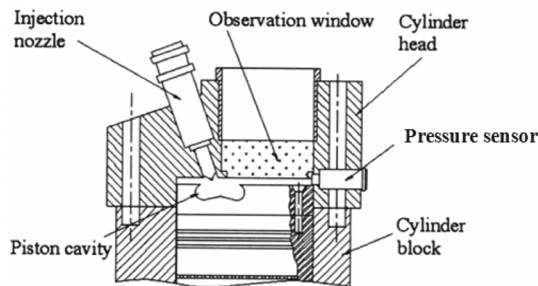


Fig. 1. Remodeling test engine and cylinder head.

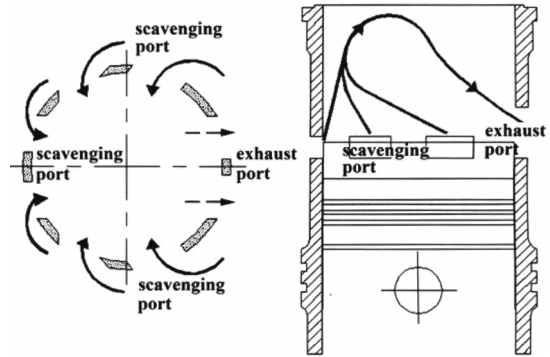
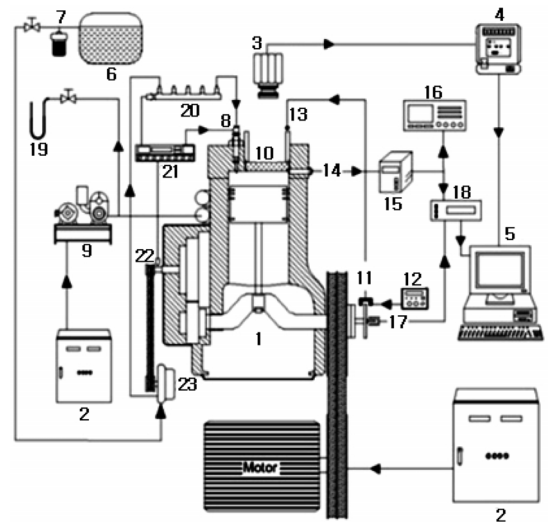


Fig. 2. Scavenging flow of experimental engine.

사량은 예비실험을 통하여 2 mg/st로 하여도 착화가 가능함을 확인하였다. 연소화염은 기관을 충분히 난기운전 시킨 후 고속 비디오카메라(motion analyzer, Xtra HG-TH)를 사용하여 2,500 frames/sec의 속도로 촬영하였다.

연소기간의 측정은, 소자 수광면 상의 광점의 움직임을 연속출력으로 발생시키는 1차원 비분할 형 포토센서를 관찰 창 상부에 부착시키고 이 포토센서로



- | | |
|--|------------------------|
| 1. Experimental engine | 12. Power supply |
| 2. Inverter controller | 13. LED |
| 3. Photo sensor(or high speed camera) | 14. Pressure sensor |
| 4. Universal counter(or high speed camera processor) | 15. Amplifier |
| 5. Personal computer | 16. Oscilloscope |
| 6. Fuel tank | 17. Encoder |
| 7. Fuel filter | 18. A/D board |
| 8. Injector nozzle | 19. U-manometer |
| 9. Roots blower | 20. Common rail |
| 10. Observation window | 21. Injector driver |
| 11. Photo diode | 22. Cam sensor |
| | 23. High pressure pump |

Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus.

부터의 출력을 40 mV에서 on-off 되는 트리거 신호로 변환시킨 후 시간간격 측정 장치(universal counter)에 입력시켜 1/100 ms의 단위로 계측하였다.

또한, 40 mV는 실험실 주변의 각종 장치들로부터 전기노이즈를 피하기 위한 최소전압이다. 따라서 이 방법으로 측정한 연소기간은 화염의 실제 연소기간보다 트리거 전압이 걸릴 때까지의 시간차만큼 짧게 계측됨을 알 수 있다.

Fig. 3은 실험장치의 개략도이며 Table 1~3은 각각 실험기관의 제원, 실험조건 및 포토센서의 제원을 나타낸다. 또한 Fig. 4는 포토센서 출력의 시간관계를 나타낸 예이다. 한편, Fig. 5에 나타난 실험 장치는 ‘고온 공기류 덕트’로 불리어지는 연료의 자연발화 현상을 관찰하는 장치이다. 부탄을 주성분으로 하는 LPG를 1차 연소기에서 태워 덕트 내의 공기온도를 연료의 자연발화온도 이상인 약 1,000°C까지 올릴 수 있다. 1차 연소기의 후방 약 4 m의 위치에 있는 2차 연소기에는 연소과정을 직접 관찰할 수 있도록 창을 설치하였으며 관찰 대상 연료를 창의 좌단 상부에서 분사한다. 분무는 덕트 내의 고속기류(약 50~60 m/s)와 같은 속도로 하류로 흘러가면서 착화한다.

Table 1. Specifications of experimental engine

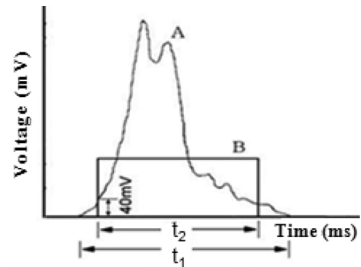
Items	Specifications
Engine type	2-stroke D.I. diesel engine
Bore × Stroke	91 mm × 95 mm
Compression ratio	16.4
Scavenging port open	ATDC 120°C
Scavenging port close	ABDC 60°C
Exhaust port open	ATDC 108°C
Exhaust port close	ABDC 72°C
Cooling type	Air-cooling

Table 2. Experimental conditions

Items		Conditions
Engine speed		1,500 rpm
Combustion chamber		Toroidal type
Scavenging pressure		115 kPa
Injection pressure		120 MPa
Nozzle holes		2
Inj. timing	Single inj. alone	BTDC 12°C
	Two stage inj.	BTDC 50°C(1st inj.) BTDC 12°C(2nd inj.)
Fuel delivery	Single inj. alone	16 mg/st
	Two stage inj.	14 mg/st(1st inj.) 2 mg/st(2nd inj.)

Table 3. Specifications of photo sensor

Type No.	HAMAMATSU, S9212
Operating temperature	-40 ~ 50°C
Peak sensitivity wavelength	550 nm
Rise time	0.5 μs



A: Photo sensor output
B: Schmidt circuit output
t₁: Practical combustion duration
t₂: Combustion duration in this experiment

Fig. 4. Example of measured combustion duration.

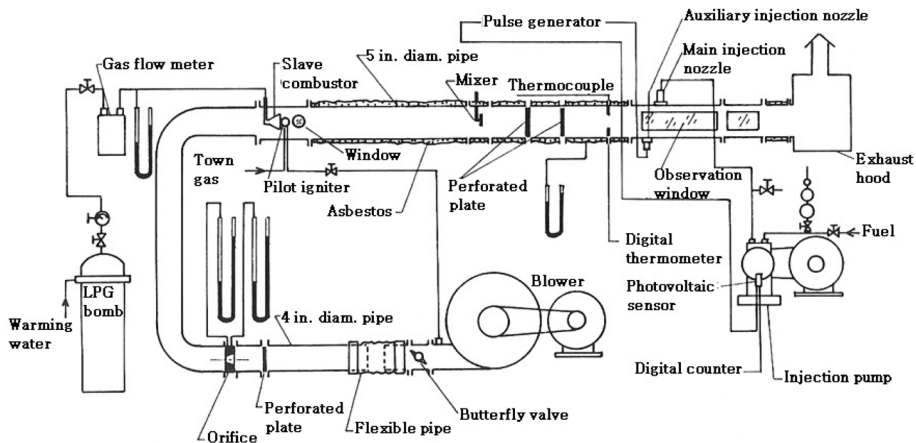


Fig. 5. Schematic arrangement of the hot air steam duct.

아울러 해석에 적용된 2색법의 기초식은 아래와 같다.

화염의 실제온도 T 및 화염중의 매연입자농도에 거의 비례하는 K 값과 화염의 축 방향 두께 L 에 관한 KL 값을 구한다. 파장 λ , 절대온도 T 인 화염의 단색복사에너지 N 은 Wien의 방사법칙으로부터 다음 식으로 표현된다.

$$N = \epsilon_{\lambda} C_1 \lambda^{-5} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T}\right) \quad (1)$$

여기에서 C_1, C_2 는 Plank의 제 1 및 제 2 방사정수, ϵ_{λ} 는 화염의 단색 복사율이다. 또한 디젤화염에 있어서 매연입자만의 단색 복사율에 대하여 Hottel과 Broughton의 식이 성립된다고 가정하면

$$\epsilon_{\lambda} = 1 - \exp\left(-\frac{KL}{\lambda^{\alpha}}\right) \quad (2)$$

여기에서 K 는 흡수계수로 앞서 언급한 바와 같이 화염중의 매연입자 농도에 거의 비례하는 값, L 은 화염의 검출광 축방향의 기하학적인 두께, α 는 파장범위에 의해 결정되는 정수이나 가시화범위 내에서는 거의 일정한 값으로 1.38이다. 이들의 식으로부터 파장 λ 의 휘도온도를 T_{α} 라 하면 KL 값은 다음 식으로 표시된다.

$$KL = -\lambda^{\alpha} \ln \left[1 - \exp\left\{-\frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_{\alpha}} - \frac{1}{T}\right)\right\} \right] \quad (3)$$

식 (3)을 2색법을 적용하는 두 파장의 식으로 표현하고 KL 을 소거하면

$$\begin{aligned} & \lambda_1^{\alpha} \left[1 - \exp\left\{-\frac{C_2}{\lambda_1} \left(\frac{1}{T_{a1}} - \frac{1}{T}\right)\right\} \right] \\ &= \lambda_2^{\alpha} \left[1 - \exp\left\{-\frac{C_2}{\lambda_2} \left(\frac{1}{T_{a2}} - \frac{1}{T}\right)\right\} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서 2색법에 적용하는 두 파장 λ_1, λ_2 와 측정된 T_{a1}, T_{a2} 를 대입하면 화염의 실제온도 T 를 구할 수 있고, 이 값을 다시 식 (3)에 대입하면 KL 도 구할 수 있다. 단 디젤화염은 발광화염이며, 매연입자로부터의 열 발산은 강한 연속적인 복사스펙트럼이며, 매연입자는 다른 가스의 복사열을 차단한다는 가정은 전제로 하고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 탄화수소의 청색염 및 황색염의 발생

화염에는 청색염과 황색염이 있다. 청색염은 알데히드 반응 혹은 과산화 반응이 선행하고 열분해가 거의 일어나지 않는 경우로서 C_2, CH radical 등이 가스복사에 기인하는 것이다. 균일혼합기중의 화염전파는 청색염이지만 농 혼합기가 되면 황색으로 변한다. 공기가 충분하게 있을 경우라도 국소적 농 혼합기가 있으면 황색이 된다. 따라서 고도로 균일 미립화 하여 공기와 서서히 혼합시키면 청색염 연소를 시킬 수가 있다.

Fig. 6은 고속기류 중에 설치한 원주형 보염기(flame holder)에 의해 안정화된 화염과 그 영역의 개념도[13]이다. 혼합기의 속도가 연소속도보다 빠를 때는 원주의 바로 뒤에 재순환영역(recirculation zone)이 형성되고 기류와는 반대방향으로 발생된 와류에 의해 상·하부의 공기가 이 영역에 말려 들어와 연소를 돕게 된다. 따라서 이 영역과 주류 사이에 형성되는 점선의 선단 층에서는 미연혼합기와 고온연소가스의 혼합이 촉진된다.

Fig. 7은 고온 공기류 덕트 내에 설치한 원주형 보염기의 후방에서 난류의 영향을 받으면서 연소하고 있는 경우분무의 화염사진이다. 원주의 후방에는 잘게 부서진 소용돌이 형상의 청색염이 수많이 발생되

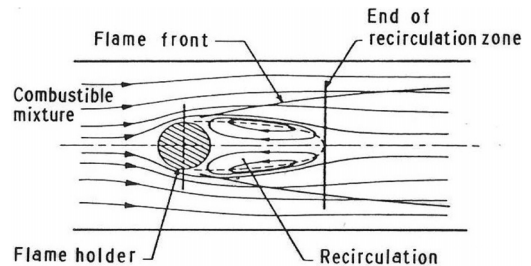


Fig. 6. General conception of rod-stabilized flame in combustion mixture.

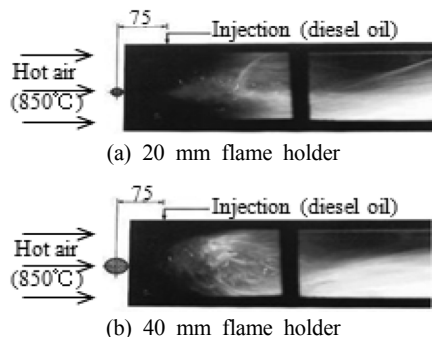


Fig. 7. The color photograph of flame influenced by turbulence.

어 이른바 Kármán 와열(vortex streets)이 형성되었음을 알 수 있다. 이것은 원주의 후방에 형성된 재순환 영역에서 연료분부와 공기와의 접촉면적 및 접촉시간이 증가된 것에 기인한다. 이 재순환영역을 경계로 청색염과 황색염이 확연하게 구분되어 지고 있음을 볼 수 있다.

3.2. 압축착화에 의한 부분 예혼합기의 연소

연소실 내에 분사된 연료입자는 주위의 공기로 부터 열을 취하여 그 자신의 온도가 올라감과 동시에 표면에서 기화를 시작하여 점차로 작아지게 되나 그 주위는 확산에 의해 공기와 연료증기의 혼합기로 둘러싸이고 연료입자의 표면에서는 온도는 낮으나 농도는 가장 높게 된다. 따라서 디젤기관에서는 공기가 부족할 경우는 물론, 충분한 경우라도 연료입자의 주위에 농 혼합기가 형성되므로 탄소입자를 발생하며 항상 황색염 연소를 한다. 특히 화염 속에 연료입자가 존재하면 연료입자와의 반응층간에 있는 혼합기의 열분해에 의해 탄소입자의 발생은 조장된다.

Fig. 8은 단일분사만을 실시한 경우와 2단 분사에 의한 부분 예혼합기를 형성시킨 경우에 있어서의 연소경과를 나타낸 고속도 화염사진이다.

본 실험에서 사용한 연소실처럼 좁고 깊은 캐비티를 가진 연소실의 경우, 구경비가 작기 때문에 분무의 도달거리는 매우 짧아 단일분사의 경우에는 대부분의 연료가 직접 캐비티 벽면에 충돌한다. 이 충돌과정에서 분무는 재 미립화 되거나 일부의 연료는 캐비티 벽면을 따라 선회하면서 증발하여 주변의 공기와 혼합되어진다. Fig. 8(a)에서 살펴보면 최초의 착화는 TDC에 이르러 분무의 충돌이 일어난 캐비티 내에서

발생된 발화 핵으로부터 시작된다. 착화 후 가벼워진 연소가스가 열 혼합 효과에 의해 캐비티 중심부로 이동하면서 혼합이 촉진되어 화염이 캐비티 전역으로 확산된 후 압축간극부로 분출되는 모습을 보인다. 그러나 발화직후의 초기연소가 매우 급격하고 분무가 밀집된 캐비티 내에서는 농 혼합기가 형성될 뿐 아니라 화염 속에 연료입자가 존재하므로 상당히 긴 기간에 걸쳐 다량의 유리탄소 석출에 의한 황백색 휘염을 발생시키고 있어 화염중심부의 온도는 매우 높을 것으로 예상된다. 또한 압축간극부로 분출된 이후에도 유동이 거의 보이지 않는 화염덩어리를 형성한 채 연소가 진행될 뿐 아니라 연소중반 이후의 화염사진에서 보듯이 압축간극부에는 잔존산소의 부족에 의한 암갈색의 화염이 나타나기 시작하여 시간의 경과와 더불어 거의 연소실 전역을 차지한다. 이 암갈색의 화염군은 매연발생영역으로 생각되며 따라서 잔광기간도 매우 길어질 것으로 예상된다.

한편, 2단 분사에 의하여 부분 예혼합기를 형성시킨 (b)의 경우에는 발화 핵의 발생시기가 단일분사의 경우에 비하여 약 3.6°CA 정도 빨라지고 발생범위도 캐비티 내 뿐만 아니라 압축간극부의 여러 곳에서 발생되고 있어 두 번째의 사진에서 보듯이 캐비티와 압축간극부에서 동시에 화염이 형성되고 있다. 그리고 스퀴시(squish)유동이 발생하는 캐비티 내에서는 통상적인 디젤연소에서 전혀 볼 수 없었던 청색염이 나타나고 있어 이 캐비티가 앞 절에서 서술한 재순환영역의 역할을 한 것임을 알 수 있다.

단일분사시의 연소과정이 캐비티를 중심으로 하는 화염군과 역 스퀴시에 의한 압축간극부로의 분출 화염군으로 분리되어져 각각 연소가 진행되고 있는 형

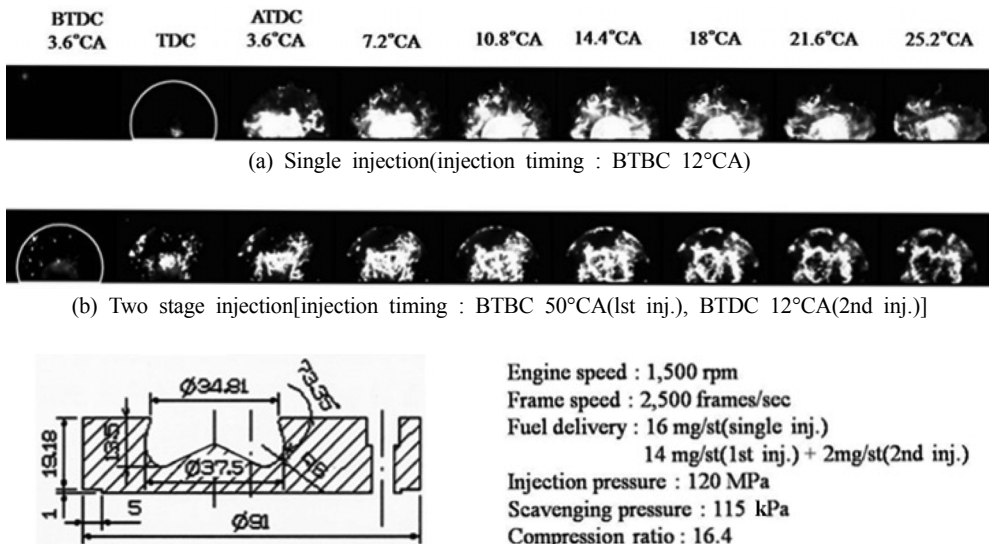


Fig. 8. Comparison of high speed flame photographs between single injection and two stage injection.

상이라면 예혼합 연소에서는 청색염의 발생과 더불어 잘게 부서진 미소화염들로 결합된 하나의 선명한 화염균을 형성한 채 연소되므로 캐비티를 중심으로 하는 단계적인 연소경과와는 전혀 다른 모습이다. 단 실린더 벽면둘레에 걸쳐 형성되고 있는 때 화염은 이른 분사로 인하여 연료의 벽면부착에 의한 것으로 냉각된 벽면에서 서서히 증발되므로 잔광이 매우 길다.

Fig. 9, 10은 화상 2색법에 의하여 구한 화염의 온도 T와 매연농도에 관한 KL값을 나타낸 한 예로서 촬영된 컬러화염의 비디오신호로부터 화염 상을 구성하고 있는 3종류의 R, G, B신호를 분해시킨 후 그 휘도 값으로부터 R-G 두 색의 휘도온도를 계산하여 산출하였다. 단, Fig. 9는 연소중기에 해당하는 ATDC 14.4°CA에 있어서의 화염온도분포를 분사조건별로 비교한 것이며 Fig. 10은 실린더 내에서 생성된 매연이 관찰 창 유리면에 부착되는 퇴적량의 정량비교가

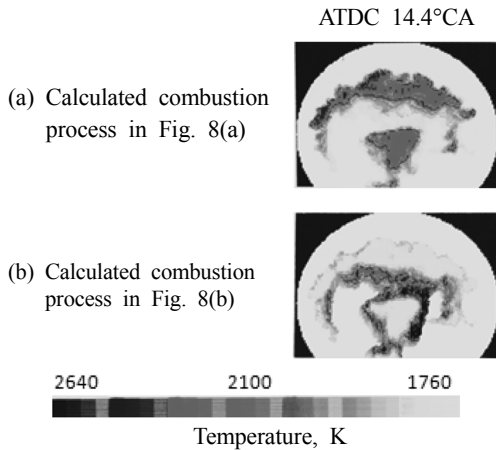


Fig. 9. Flame temperature distribution for different injection method.

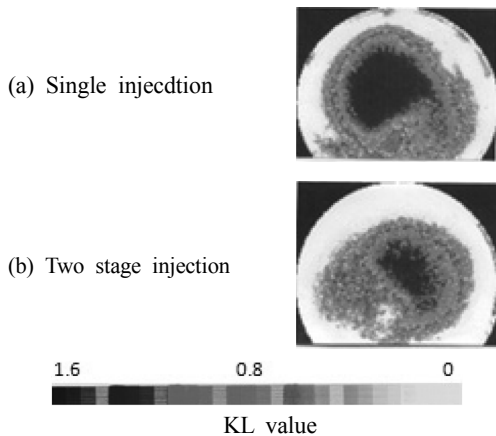


Fig. 10. Comparison of the soot adhered on the surface of glass window.

가능하도록 100사이클 누적시킨 것이다.

Fig. 9에 의하면, (a)의 경우에는 캐비티 내와 캐비티로부터 분출된 화염이 존재하는 압축간극부에 2,200 K를 넘어서는 분리된 고온화염이 넓게 분포되어 있는 반면, (b)의 경우에는 캐비티와 압축간극부내에 약 1,800 K정도의 화염이 주를 이루고 있으며 캐비티 둘레에 걸쳐 일부 고온화염이 형성됨을 알 수 있다. 한편, Fig. 10에 있어서는 (a)의 경우처럼 고온의 화염으로 둘러싸인 영역 및 연소중반이후 잔존산소의 부족으로 인하여 압축간극부 내에서 발생된 고 KL의 연소가스로부터 석출된 매연이 관찰 창 전체에 걸쳐 농도가 짙은 중심부에서 가장자리 쪽으로 농도를 달리하며 동심원상으로 부착되어졌음을 볼 수 있으며 부분 예혼합기를 형성시킨 (b)에 비하여 다량의 매연이 발생되었음을 알 수 있다.

이처럼 각 화소마다 Red, Green, Blue 3색의 휘도 값을 얻고 교정식으로부터 구해진 휘도온도를 사용해 화염의 실제온도 T를 구하는 2색법에서는 해석이 불가능한 화소 또는 디젤화염의 온도로서는 부적절한 3,000 K를 초과하는 화소가 발생하기도 하나 파장역을 적절히 선정하면 오차를 줄일 수 있어 연소개선택을 검토하는 도구로서 이용가치가 높다고 생각된다.

Fig. 11은 Fig. 8과 동일한 조건에서 취득한 실린더 내의 압력변화를 TDC를 중심으로 나타낸 것으로 매 사이클마다의 변동성을 고려하여 20사이클 분을 평균한 값이다. Fig. 11에 의하면 각 분사조건별 모터링시의 압력선도는 동일하나 압축행정말기에 이르러 착화가 일어나면서부터는 차이를 보인다. 단일분사의 경우에 있어서는 TDC에 이르러 캐비티 내에서 발화핵이 형성된 이후에도 일정기간동안 압력선도가 거의

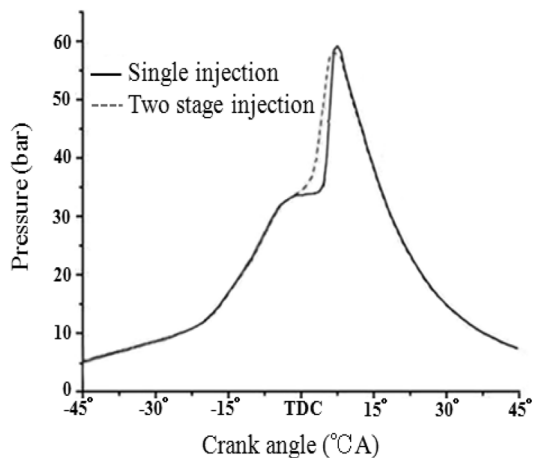


Fig. 11. Comparison of cylinder pressure diagrams between single injection and two stage injection (same conditions as Fig. 8).

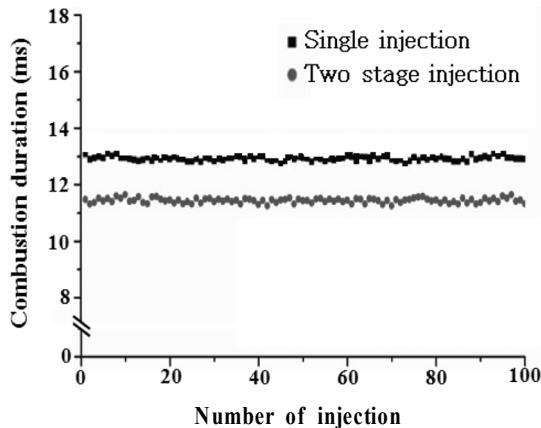


Fig. 12. Comparison of combustion durations between single injection and two stage injection(same conditions as Fig. 8).

수평을 유지하다가 화염의 분출이 일어나는 ATDC 3~4°CA 부근에서 급상승하기 시작해 ATDC 8°CA 부근에서 최고압력에 이른다. 이에 비하여 2단 분사의 경우에는 TDC를 전후하여 바로 연소압이 발생되기 시작해 ATDC 7.5°CA 부근에서 최고압력에 이르고 있다. 2단 분사의 경우, 최고압력은 단일분사에 비해 약 1~1.5 bar 정도 낮다고 하나 최고압력의 도달시기가 빠르고 도시평균유효압력의 산출결과 6.59 bar로 단일분사에 비해 0.36 bar가 증대되었으므로 기관출력에 있어서도 결코 불리하지는 않을 것으로 판단된다.

다음으로, Fig. 12는 Fig. 8의 화염사진 촬영과 동시에 광학적으로 측정한 100사이클 분의 연소기간을 나타낸 것이다. 디젤기관의 경우에는 연료분사가 끝난 시점부터 산소 및 중간생성물의 농도는 점차로 줄어드는 반면 연소생성물은 급증하여 연소속도가 저하되기 시작한다. 이 기간을 후연소기간이라 부르며 보통 전체 연소기간의 50% 이상을 차지하게 되므로 디젤기관의 효율은 주로 후연소기간의 장·단에 영향을 받게 된다. Fig. 12에 의하면 각 분사조건에 있어서 연소기간의 사이클별 변동량은 매우 작아 비교적 안정된 상태에서 연소가 진행되었음을 알 수 있다. 그러나 양 분사조건간의 연소기간을 비교하여 보면 단일분사의 경우에는 평균연소기간이 12.73 ms인데 비하여 2단 분사의 경우에는 11.14 ms로 1.59 ms가 단축되어 약 12.5%의 단축률을 나타내었다. 물론 이것은 전연소기간을 측정하여 비교한 결과이나 디젤기관 연소과정 4단계 중 마지막 과정이 후연소과정임을 생각하면 전연소기간의 단축은 바로 후연소기간의 단축을 의미하며 기관의 효율향상 뿐만 아니라 고속화에도 유리할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 2단 분사에 의한 부분 예혼합연소를 구현하고 연소경과가 수록된 화상을 통하여 화염 특성을 고찰하였다. 얻어진 결과를 요약하면

1) 경유와 같은 비휘발성의 점성연료도 혼합기형성의 촉진요건을 제공하면 ms의 속도로 완료되는 기관 내의 연소에 있어서도 일정부분 청색염 연소가 가능할 수 있음을 확인하였다.

2) 단일분사의 경우, 초기연소가 급격하고 공연비를 달리하는 캐비티를 중심으로 하는 황백색 휘염군과 압축간극부로 분출된 후행 화염 군으로 분리되어져 화염덩어리를 형성한 채 연소가 진행되었다. 이때 두 화염군의 온도는 2,200 K를 넘어서는 고온이었으며 다량의 매연이 발생되었다.

3) 2단 분사 경우, 발화 핵의 발생이 빠를 뿐 아니라 연소실 전역에 걸쳐 다수개가 발생되고 이 발화 핵들을 중심으로 하는 미소화염들이 동시에 형성되어져 시간의 경과와 더불어 하나의 화염군으로 성장하였다. 이로 인해 고온화염 영역이 크게 감소되어 온도분포는 보다 균일화되었다. 또, 연소의 활성화에 의하여 연소속도도 빨라져 연소기간이 크게 단축되었다.

4) 2단 분사의 경우, 실린더 내의 최고압력은 단일분사에 비하여 약 1~1.5 bar 정도 낮아졌으나 최고압력의 도달시기가 빠르고 도시일량의 증가에 따른 평균유효압력의 상승으로 인하여 기관출력이 향상될 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교에서 지원하는 학술연구비에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] J. P. Cha, S. J. Kwon, C. S. Lee and S. W. Park, "Effect of Gasoline-premixing on Combustion and Exhaust Emission Characteristics in Compression Ignition Engine", Journal of the Korean Society Combustion, Vol. 15, No. 4, pp. 53-57, 2010.
- [2] C. S. Lee, M. Y. Kim, S. J. Hwang and D. S. Kim, "Effect of Operation on the Characteristics of Combustion and Exhaust Emission in a Gasoline Fueled HCCI Diesel Engine", Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp. 48-54, 2004.
- [3] D. J. Lee, M. Y. Kim, H. G. Roh, D. S. Kim, J. H. Lee, and C. S. Lee, "Combustion and Exhaust Characteristics of a Common-rail Diesel Engine

- with Homogeneous Charge Compression Ignition Combustion”, Spring Conference Proceedings, KSAE, pp. 357-362, 2004.
- [4] H. Yokota, Y. Kudo, H. Nakajima, T. Kakegawa and T. Suzuki, “A New Concept for Low Emission Diesel Combustion”, SAE 970891, 1997.
- [5] R. Hasegawa and H. Yanagihara, “HCCI Combustion in DI Diesel Engine”, SAE 1999-01-0185, 1999.
- [6] S. H. Kook, C. W. Park and C. S. Bae, “Effects of Two-Stage Injection on Combustion and Exhaust Emission Characteristics in a HCCI Engine”, Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 5, pp. 32-39, 2004.
- [7] S. H. Yoon, M. Y. Kim, D. S. Kim and C. S. Lee, “Effects of Compression Ratio and spray Angle on Combustion Characteristics in a Premixed Charge Compression Ignition Engine”, KSAE Spring Conference Proceedings, pp. 217-222, 2005.
- [8] S. I. Park, S. H. Kook, C. S. Bae and J. H. Kim, “Effect of EGR and Supercharging on the Diesel HCCI Combustion”, Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 5, pp. 58-64, 2006.
- [9] S. H. Yoon, M. Y. Kim, D. S. Kim, J. H. Lee and C. S. Lee, “Effect of Early Injection Strategy on the Combustion and Emission Characteristics of the Common-rail DI Diesel Engine”, Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 4, pp. 26-31, 2006.
- [10] Y. T. Han and K. H. Lee, “A Study on the Measurement of Flame Visualization, Temperature and Soot for Diffusion Flame in a Diesel Engine Using High-speed Camera”, Transactions of KSME(B), Vol. 31, No. 2, pp. 132-140, 2007.
- [11] J. K. Park, S. H. Chung and Y. H. Won, “A Study on In-Cylinder Measurement of Flame Temperature and Soot Distribution in D. I. Diesel Engine Using Two-Color Method”, Transactions of KSAE, Vol. 7, No. 7, pp. 42-53, 1999
- [12] S. H. Chung, J. K. Park and Y. H. Won, “Experimental study on Flame Temperature and Soot Distribution Measurement of D. I. Diesel Engine Using Two-Color Method”, Spring Conference Proceeding, KSAE, pp. 280-285, 1999
- [13] B. Lewis and G. Elbe, “Combustion Flames and Explosions of Gases”, Second Edition pp. 439-440, Academic Press Inc., New York and London, 1961