

< 논문 >

정적연소기내에서의 분위기 온도 및 압력에 따른 혼합기 분포에 관한 성층화 정도 특성

이창희* · 이기형* · 이창식*
(2004년 6월 8일 접수, 2004년 12월 2일 심사완료)

Stratified Degree Characteristics on Fuel Mixture According to Ambient Temperature and Pressure in a Constant Volume Combustion Chamber

Changhee Lee, Kihyung Lee and Changsik Lee

Key Words : Constant Volume Combustion Chamber(정적연소기), Stratification Degree(성층정도), Equivalence Ratio(당량비)

Abstract

It is well known that a lean burn engine caused by stratified mixture formation has many kinds of advantages to combustion characteristics, such as higher thermal efficiency and lower CO, NOx levels than conventional homogeneous mixture combustion. Although this combustion can achieve low fuel consumption technology, it produces much unburned hydrocarbon and soot because of heterogeneous equivalence ratio in the combustion chamber. Therefore, the stratified mixture formation technology is very important to obtain the stable lean combustion. In this paper, fundamental studies for stratified combustion were carried out using a constant volume combustion chamber. The local effect of mixture formation according to control air-fuel distribution in the chamber was examined experimentally. In addition, the effect of turbulence on stratified charge combustion process was observed by schlieren photography. From this study, we found that the flame propagation speed increase with swirl flow and the swirl promotes the formation of fuel and air mixture.

기호설명

V : 정적연소기 체적 [mm^3]
 k : 비열비
 ϕ : 당량비
 S_u : 연소속도 [m/s]
 S_v : 체적 연소속도 [m/s]
 A_f : 화염면의 면적 [mm^2]
 ρ : 공기 밀도 [Kg/m^3]
 m_f : 질량 연소율

P : 압력
 H_u : 연료의 저위 발열량
 τ_{int} : 점화 후 분사 시간

하첨자

0 : 초기값
max : 최대값

1. 서론

* 책임저자, 회원, 한양대학교 대학원 기계공학과
E-mail : leemech@encod.hanyang.ac.kr
TEL : (031)418-9293 FAX : (02)406-5550

* 회원, 한양대학교 기계공학과

최근 전 세계적으로 대두되고 있는 화석 에너지의 절약과 CO₂에 의한 지구 온난화 문제에 대응하기 위하여 가솔린 자동차용 엔진에 대한 배

기 배출물의 저감과 저 연비 그리고 고 출력화가 동시에 요구되고 있는 추세이다. 가솔린 엔진의 경우 흡기 포트 내에서 연료와 공기가 충분히 혼합된 후 점화되는 예혼합 연소이므로 이는 일정 공연비 이상에서는 연소가 발생하지 않는 가연 한계가 존재한다. 따라서 기존의 예혼합 연소에 의해서는 CO₂의 절대량을 줄이는 데는 한계가 있다. 종래의 가솔린 엔진의 이러한 한계점을 극복하기 위한 연소실 내 직접 분사식 가솔린 엔진에서의 연료의 성층화를 통한 연소 방법은 현재의 한계 공연비 20:1인 예혼합 MPI 엔진의 운전 가연한계를 50:1 정도로 2배 이상 확장함으로써 전체 연비를 30% 이상 높일 수 있는 획기적인 가능성을 가지고 있는 기술이다. 또한, 가솔린 엔진에서의 직접 분사식 성층 연소는 희박 연소를 시킬 수 있는 좋은 방법이 되며, 내노크성이 뛰어나고, 높은 열효율을 가지며, 일산화탄소 및 질소 산화물 등의 배기가스의 저감을 가져 올 수 있다. 따라서 연비 향상과 배기가스의 저감을 위해 성층 연소의 특성에 관한 연구는 그 의의가 크다고 하겠다.

지금까지 많은 분야에서 성층 연소에 관한 연구가 이루어지고 있으나 저부하 운전시의 미연탄화수소의 배출량이 많고, 연소 온도가 낮기 때문에 촉매에 의한 배기가스의 정화도 쉽지 않으며, 점화 플러그에 혼합기가 집중하지 않을 경우에 실화나 출력 저하 등의 치명적인 결과를 초래할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 체적이 일정한 정적 연소기에 직분식 인젝터를 부착시켜 화염핵이 형성되는 점화 플러그 부근에 연료를 직접 분사시켜 성층 연소의 기본적인 연소 특성을 파악하였으며, 동일 당량비의 예혼합 연소와의 특성을 비교 분석하였다. 그리고 점화 플러그 근처에 집중되는 혼합기의 당량비와 외곽 부근의 당량비를 변화시켜 혼합기 분포에 따른 연소 특성을 파악하였다. 또한 성층 정도를 정량화하기 위하여 열역학적 개념에 기초한 최대 체적 연소속도를 도입하였고, 이 개념의 적용 가능성을 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 실험 장치는 정적 연소실을

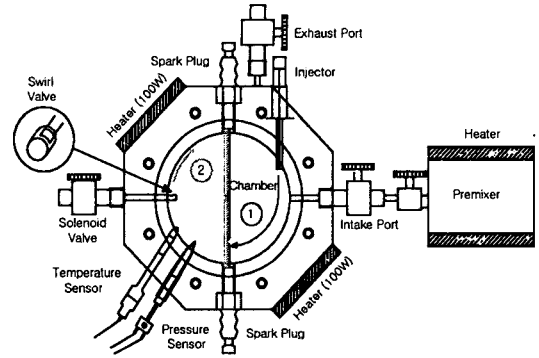


Fig. 1 Schematic diagram of constant volume combustion chamber

중심으로 예혼합실, 정적 연소실에 부착된 직접 분사식 인젝터, 직접 분사식 인젝터에 연료 공급을 위한 고압의 연료 공급 장치, 연소실의 온도를 자동으로 제어 할 수 있는 온도 제어 장치, 점화 에너지를 만들기 위한 CDI(capacitor discharge ignition)식 단발 점화 장치, 연소실의 압력 및 온도 측정 장치, 분사 및 점화 동기 제어장치, DATA 수집 및 처리 장치로 구성하였다.

Fig. 1은 본 실험에 사용된 정적 연소실을 나타낸 그림으로, 정적 연소실의 내경과 폭은 각각 100(mm)와 30(mm)이며 체적은 235.6cc이다. 연소실의 재질은 열전도율과 내구성이 우수한 듀랄루민을 사용하였으며, 연소압력과 온도를 측정하기 위해 연소실의 벽면에 압전형 압력 센서와 온도 센서를 사용하였다. 가솔린 연료는 액체 연료이므로 기화하기 쉬운 온도로 연소실의 온도를 유지하기 위해 연소실의 외부 벽면에 100W 용량의 판 히터 2개를 설치하였으며, 온도 조절 장치에 의해 연소실의 온도를 조절 하였다. 또한, 연소실의 초기 온도를 측정하기 위해 K형 열전대를 연소실의 벽면으로부터 10mm 돌출시켜 부착하였다.

정적 연소실 내의 분부와 화염의 관찰을 위하여 연소실의 양측에 두께 30mm의 석영(Quartz) 유리를 설치하였고, 연소실의 기밀을 유지하기 위하여 직경 120mm, 두께 3mm의 O-ring을 설치하였다. 점화 플러그(spark plug) 주변의 성층 혼합기를 형성하기 위하여 직분식 인젝터에 의해 10MPa로 분사된 연료가 점화 플러그 주위에 집중되어 연료의 성층화가 가능하도록 점화 플러그를 그림과 같이 연소실의 바닥에 설치하였다.

인젝터에 의한 연료의 분사기간 및 점화 시기를 조절하기 위하여 각각의 신호를 동기시켜 제어하였다. 총괄적인 제어 프로그램은 Lab View를 사용하여 제어하였다.

2.2 성층 정도의 정량화 방법

성층 정도의 정의는 분사된 전체 연료량에 대하여 거의 이론 공연비 값에 가까운 공기 연료 비로 혼합기를 형성하고 있는 연료량의 비로 표현한다. 이러한 성층정도의 향상은 다음과 같은 요소에 대응되는 효과로 나타날 수 있다.

- (a) 미 연소된 연료의 양을 줄이기 위한 효과
- (b) 가연 혼합기 영역에 대한 이론 공연비 값 부근의 혼합기 영역의 비를 향상하기 위한 효과

이론 공연비 근처에서의 공기 연료비를 갖는 혼합기로서 성층이 잘 이루어진 경우 많은 연구에 의하여 빠른 연소속도와 압력 상승률을 가진다고 보고되고 있다. 본 연구에서는 이러한 성층 정도으로써 다음과 같은 최대 체적 연소속도 (S_v)_{max}를 도입하였다.

체적 연소속도 S_v 는 다음과 같이 주어진다.

$$S_v = A_f \times S_u \tag{1}$$

여기서 A_f 는 화염면의 면적, S_u 는 연소속도를 나타낸다.

다음으로 연료 연소율 m_f 는 다음과 같다.

$$m_f = A_f S_u \rho_u \frac{1}{AF+1} = S_v \cdot \rho_u \frac{1}{AF+1} \tag{2}$$

여기서 AF는 공기 연료 비[≒15], ρ_u 는 미연 혼합기의 밀도를 나타낸다.

열역학 1법칙에 기초한 열발생을 $\frac{dQ}{dt}$ 는 다음과 같다.

$$dQ = mdu + PdV \tag{3}$$

$$\frac{dQ}{dt} = m \frac{du}{dt} + P \frac{dV}{dt} = m C_v \frac{dT}{dt} + P \frac{dV}{dt} \tag{4}$$

$$dT = \frac{PdV + VdP}{mR} \tag{5}$$

$$\frac{dQ}{dt} = (1 + \frac{C_v}{R}) P \frac{dV}{dt} + \frac{C_v}{R} V \frac{dP}{dt} \tag{6}$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{C_v}{R} V \frac{dP}{dt} \tag{7}$$

$$(\frac{dV}{dt} = 0, C_v = \frac{R}{k-1})$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{V}{k-1} \frac{dP}{dt} \tag{8}$$

여기서, V는 연소실의 체적을 의미하며, 만약 연소실의 벽면으로의 열손실을 무시한다면 위의 값은 $H_u m_f$ 와 같게 된다. 그때 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$(H_u m_f) = H_u \cdot S_v \cdot \rho_u \frac{1}{AF+1} = \frac{V}{k-1} \cdot \frac{dP}{dt} \tag{9}$$

여기서, 이론 공기 연료 비(AF=15) 일때 가장 높은 S_v 값을 가진다고 가정하고, 미연 혼합기의 밀도 ρ_u 에 대한 식 $\rho_u = \rho_0 (P/P_0)^{1/k}$ 에서 미연혼합기가 단열 압축을 한다고 가정하면 최대 체적 연소속도 (S_v)_{max}를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$(S_v)_{max} = \frac{16V}{H_u \cdot (k-1) \cdot \rho_0} \cdot \left[\frac{1}{(P/P_0)^{1/k}} \cdot \frac{dP}{dt} \right]_{max} \tag{10}$$

여기서, ρ_0 는 초기 분위기 공기의 밀도, P_0 는 초기 분위기 압력, H_u 는 연료의 저위 발열량을 의미한다.

(S_v)_{max}는 실험시 취득된 압력 P와 dP/dt 데이터를 이용하여 계산되어 지고, (dP/dt)_{max} 와 매우 밀접한 관련이 있다.

(S_v)와 (dp/dt)의 관계를 알아보기 위해 식 (10)을 다음과 같은 식으로 나타내었다. 여기서 전체 연소기간 동안 AF=15로 고정하였지만 실제 연소에서는 연소 후반으로 갈수록 더 희박하게 변화된다.

$$(S_v)^* \left[\equiv S_v / \frac{16V}{H_u \cdot (k-1) \cdot \rho_0} \right] = \frac{1}{(P/P_0)^{1/k}} \cdot \frac{dP}{dt} \tag{11}$$

명확히 (S_v)^{*}와 (dP/dt)의 비는 1/(P/P0)^{1/k}와 같고, P가 상승함에 따라 감소하고 1보다 작아진다.

2.3 실험 방법

가솔린 연료의 경우 상온에서 액체 상태이므로 직접 연소실 내로 연료를 분사할 경우 실화의 가능성이 크다. 따라서 정적 연소실의 온도를 가솔린의 기화 가능 온도인 443K로 고정시킨 후에 연료-공기의 혼합기를 형성하여 성층 연소를 가능하게 하였다.

연소실내의 전체 당량비는 0.8, 0.6, 0.4, 0.2에서 실험하였으며, 연소실 내의 혼합기 분포를 변

화시키기 위해 전체 당량비의 30, 50, 70%의 연료를 예혼합실에서 미리 충분히 혼합한 후 연소실로 공급하고, 나머지 전체 당량비의 70, 50, 30%의 연료를 연소실 내로 직접 분사하여 연소실 내의 혼합기 분포에 따른 연소 특성을 파악하였다. 연료 분사 후 3msec 이후에 점화를 시작하였으며 점화기간은 10msec로 고정하였다. 또한, 직분식으로 연소실 내로 분사되는 연료의 당량비는 인젝터의 1회 분사량에 따른 통전시간으로 조절하였다.

Table 1은 본 연구에서 선정한 실험 조건과 변수를 나타낸 표이다.

Table 1 Experimental conditions

Experimental Variables		Conditions
Equivalence Ratio		0.2, 0.3, 0.4, 0.8
Initial Pressure (MPa)		0.3, 0.5, 0.7
Initial Temperature (K)		443
Injection Pressure (MPa)		10
Ignition Duration (msec)		10
Mixture Distribution	Directly	100, 70, 50, 30, 0
	Premixed	0, 30, 50, 70, 100

3. 결과 및 고찰

3.1 혼합기 분포에 따른 화염 전파 특성

Fig. 2는 당량비가 0.2, 분위기 압력이 0.7MPa인 경우의 정적 연소실내의 혼합기 분포에 따른 화염 전파 과정을 가시화한 결과이다. 성층 연소의 경우 화염 전파 특성이 확산화염의 형태를 가지며 화염의 자발광의 강도가 강하여 슈리렌 방법을 적용할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 연소실내 분무 가시화는 슈리렌 방법에 의해 촬영하였으며, 혼합기 분포에 따른 화염의 연소 가시화는 고속 카메라에 의해 직접 촬영하였다.

실험 결과로부터 혼합기 분포가 100% 직접 분사인 경우 화염 전파 시간이 가장 짧으며, 예혼합기의 양이 증가할수록 시간이 길어지는 특성을 보이고 있다. 또한, 연소실내에 예혼합기가 존재할 경우 점화 플러그 주변의 성층화된 혼합기의 밀도가 낮을 뿐 아니라 외곽 부근의 예혼합 연료의 밀도가 낮아 연소가 불안정하게 일어남을 알 수 있다. 따라서 본 연구에 사용된 정적 연소실에서 당량비 0.2인 경우, 100% 직접 분사하여 성층화를 시키면 정적 연소실내로 분사된 연료의 운동량이 정체되어 있는 공기에 모멘텀을 전달

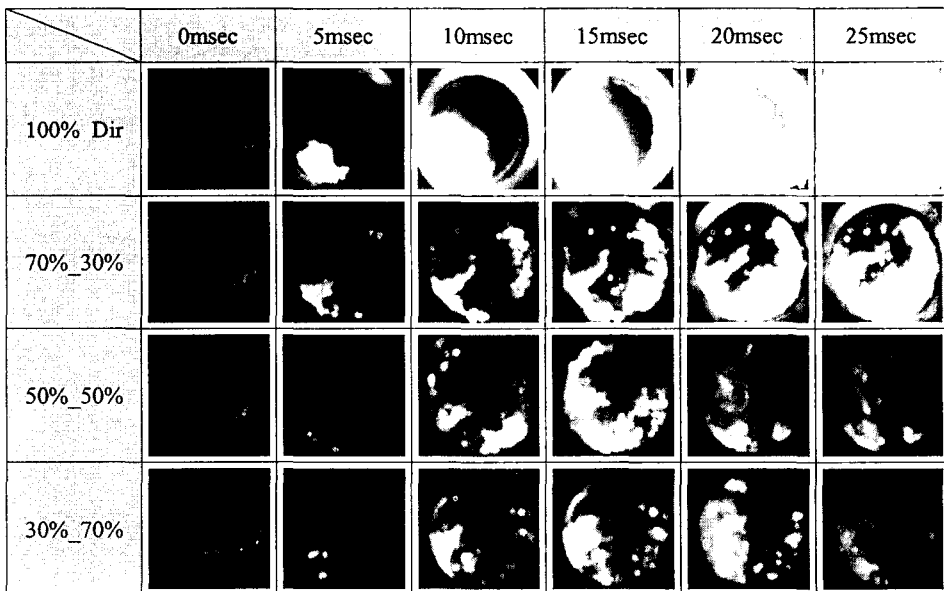


Fig. 2 Flame propagation process with equivalence ratio ($\Phi = 0.2$, ambient pressure=0.7MPa)

시킴으로써 예혼합량이 증가할 때보다 연소 효율이 좋으며 가연 한계에 근접함을 알 수 있다.

3.2 혼합기 분포에 따른 연소 특성

Fig. 3은 정적 연소실내의 온도를 443K로 일정하게 유지한 후 당량비 0.8의 비교적 희박한 공연비 영역에서의 연소실내의 혼합기 분포에 따른 연소 압력을 나타낸 것이다. 예혼합실에서 미리 혼합된 연료-공기의 혼합기를 전체 당량비의 100, 70, 50, 30, 0%로 조절하여 연소실내에 미리 유입시킨 후, 나머지의 연료량을 직접 분사식 인젝터에 의해 분사시켜 점화 플러그 근처와 외곽부근의 당량비를 다르게 한 후 5msec 이후에 점화 하였다.

연소 압력은 점화 플러그 근처에 국부적으로 연소 가능한 연료-공기 혼합기가 존재할 때 선형적으로 증가하는 경향을 보이며, 최고 연소 압력에 도달하는 시간이 단축됨을 알 수 있다. 또한 인젝터 주위에 상대적으로 농후한 혼합기를 형성하고 있는 100% 직접 분사의 경우와 균일 예혼합 연소의 연소 압력사이에는 거의 0.1MPa 이상의 차이가 나며, 최고 압력에 도달하는 시간의 경우 20msec 이상의 많은 차이를 보이고 있다. 즉, 화염 전파가 느린 희박 영역에서는 화염핵이 형성되는 점화 플러그 주변에 연료가 많이 존재할수록 연소압력이 증대되며 최고 연소 압력에 도달하는 시간도 단축됨을 알 수 있다.

Fig. 4와 Fig. 5는 초 희박 당량비인 0.2이고, 초기 분위기 압력이 0.7MPa 일 때 혼합기 분포에 따른 압력과 질량 연소율을 나타낸 그림이다.

100% 직접 분사의 경우 가장 급속한 연소 기간을 나타내며 예혼합 양이 많아질수록 연소 기간이 지연됨을 알 수 있다. 이는 화염 핵이 형성되는 점화 플러그 부근에 상대적으로 연료가 많이 분포하게 되는 성층 혼합기에서 초기 화염의 성장을 촉진하였기 때문으로 판단된다. 또한 예혼합기 양이 많아질수록 최고 압력은 일정하게 선형적으로 감소하며, 최고 압력 도달시간의 경우 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 예혼합 연소가 불가능한 초희박 당량비의 경우 국부적으로 농후한 혼합기를 공급하여 화염핵의 형성이 가능하도록 하여야 연소속도를 증가시켜 급속 연소를 가능하게 할 수 있다고 판단된다.

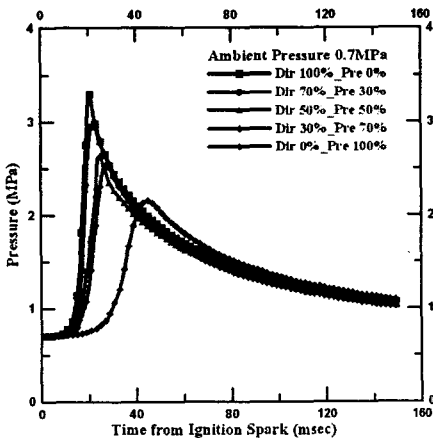


Fig. 3 Effect of mixture distribution on the combustion pressure ($\Phi=0.8$, $P_a=0.5MPa$)

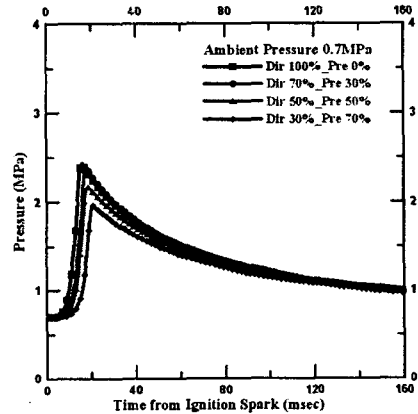


Fig. 4 Effect of mixture distribution on the combustion pressure ($\Phi=0.2$, $P_a=0.7MPa$)

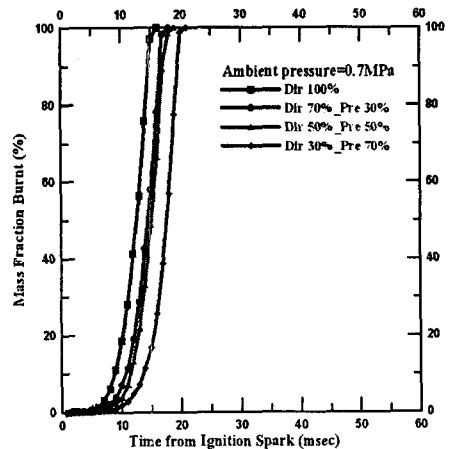


Fig. 5 Effect of mixture distribution on the mass fraction burnt ($\Phi=0.2$, $P_a=0.7MPa$)

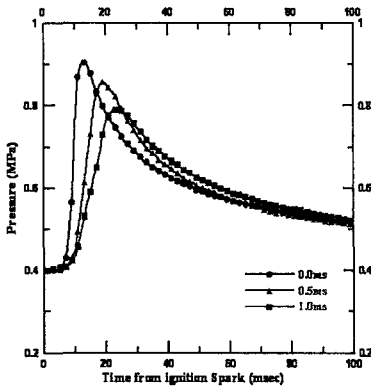


Fig. 6 Effect of τ_{int} on P traces

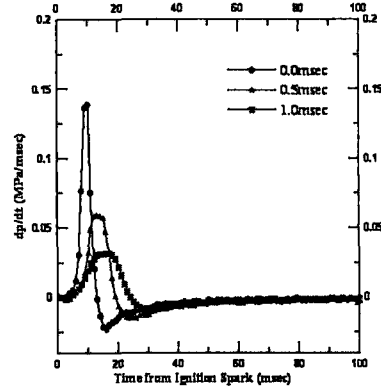


Fig. 7 Effect of τ_{int} on dP/dt traces

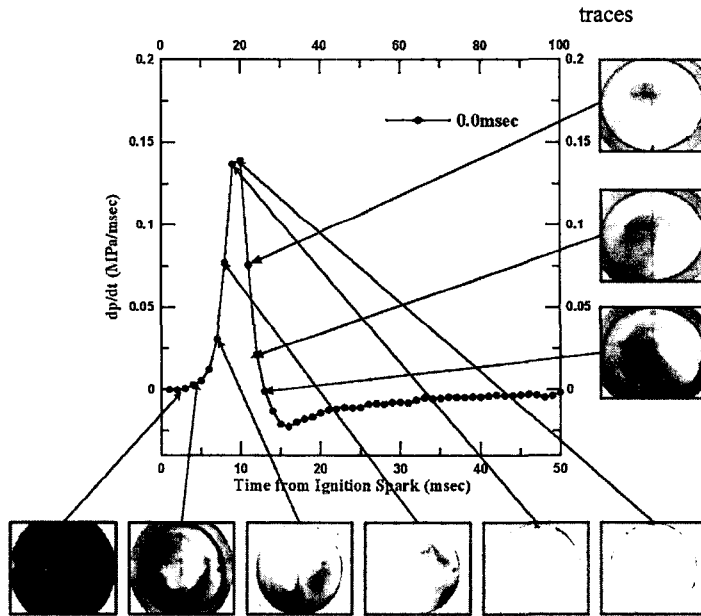


Fig. 8 Effect of injection-sparking interval on combustion process observed

3.3 점화 시간에 따른 연소 특성

점화 시간에 따른 연소 특성을 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 분위기 온도는 463K로 하여 슬레노이드에 의해 공기를 분사한 후 800msec가 지나고 연료를 분사하였고, 연료 분사 후 0msec, 0.5 msec, 1msec에 점화시켜 취득한 압력과 압력 상승률의 결과이다. 여기서 τ_{int} (분사 후 점화시간)가 짧아짐에 따라 P_{max} 와 $(dP/dt)_{max}$ 값이 높아지는 것을 알 수 있다. 또한 분사 후 점화시기가 너무 빨라지면 점화가 잘 이루어지지 않는 현상을 보이고 있는데, 이것은 가연성의 혼합기가 스파크 플러그 주변에 충분히 형성되지 않았기 때

문이라고 판단된다. 또한 점화시기가 지연되면 스파크 플러그 주변의 혼합기가 공기의 유동에 의하여 점차적으로 확산하기 때문에 스파크 플러그 주변의 혼합기가 공기의 유동에 의하여 점화 확산하기 때문에 스파크 플러그 주변으로 농후한 혼합기를 형성하는 것이 어렵게 됨을 알 수 있다. Fig. 8에서 나타내고 있는 것처럼 화염은 dP/dt 값이 최대에 도달할 때까지 밝게 유지되고 dP/dt 가 줄어들기 시작할 때부터 밝기가 점차 감소됨을 알 수 있다. 이것은 가연성의 혼합기의 양이 줄어들기 때문이라고 생각된다.

초회박 당량비에서는 점화시기를 빠르게하여

연료 분류의 선단속이 점화 플러그 부근에 도달할 때가 가장 높은 연소 압력을 나타내었다. 이것은 연료량의 분사량이 적어서 연료분류의 선단속이 공기와의 혼합에 의해 최적의 혼합기가 형성되기 때문이라고 판단된다. 또한 연소실에 연료를 직접 분사할 경우 연료 분부와 유동과의 상관관계를 통하여 연료를 점화 플러그 근처에 국부적으로 이룬 공연비로 성층화하는 것이 가능하게 되어 희박 연소를 실현하고 출력의 증가를 가져올 수 있다.

3.4 성층 정도의 척도로서 $(S_v)^*$ 와 dP/dt 의 상호관계

Fig. 6의 압력 데이터를 적용하여 식 (11)에 의해 계산된 $(S_v)^*$ 와 (dP/dt) 의 결과를 Fig. 9에 비교하였다. 결과에서 나타나는 것과 같이 데이터의 중간에서부터 뒤쪽으로 갈수록 $(S_v)^*$ 와 (dP/dt) 의 큰 차이가 나타남을 알 수 있다. $(S_v)_{max}$ 는 $(dP/dt)_{max}$ 보다 약 22%정도 작은 값을 나타내고 있다. 이러한 최대값의 위치가 일치하지 않는 것은 P의 최대 위치가 dP/dt 의 최대 위치와 같지 않기 때문이다. P가 크면, 미연 부분의 밀도가 크기 때문에 같은 연소속도에서도 연소율 m_f 가 커진다. 여러 가지 복잡한 관련이 있지만 $(S_v)_{max}$ 가 성층 정도로서 2.2절 (a)와 (b)의 항목을 종합적으로 평가할 수 있다고 할 수 있다고 생각된다. 또한 식 (10)의 $\left[\frac{1}{(P/P_0)^{1/k}} \cdot \frac{dP}{dt} \right]$ 의 값이 최대가 될 조건은 각 실험조건에서 얻은 압력 데이터를 통하여 $\left[\frac{1}{(P/P_0)^{1/k}} \cdot \frac{dP}{dt} \right]$ 의 값을 시간에 대한 성층화 정도 특성을 나타낼 수 있다. P와 dP/dt 사이의 관계도 실험을 하지 않고서는 정의할 수 있는 관계가 아니므로 역시 실험을 통하여 취득한 데이터를 이용하여야만 $(S_v)_{max}$ 에 의미가 있다고 생각한다. $(S_v)_{max}$ 를 계산하면 연소사진에서 복잡한 연소속도를 계산하지 않아도 된다. 선행 연구에서 이미 그 타당성이 입증되었으므로 본 실험에서는 $(S_v)_{max}$ 를 계산하는 것으로 충분하리라고 판단된다.

3.5 점화 시간과 분위기 온도에 따른 $(S_v)_{max}$ 특성

Fig. 10은 각각의 분위기 온도에서 분사 후 점

화기간(Sparking Interval: τ_{int})이 변화할 때 식 (10)에 의하여 $(S_v)_{max}$ 값을 구한 결과이다. 이 결과에서 $(S_v)_{max}$ 값은 가장 높은 $(S_v)_{max}$ 값을 가지는 463.15K, 0.0ms에 대하여 일반화하여 나타내었다. 이상의 결과 그림에서 알 수 있듯이 $(S_v)_{max}$ 값은 분위기 온도 Ta가 낮아짐에 따라 빠르게 감소하고 있다. 이와 같은 결과는 미연소(unburned combustion)된 연료량이 감소하면서 나타나는 현상이라고 판단되며, 가장 낮은 분위기 온도에서는 분사 시작후 점화 지연 시간(τ_{int})에 관계없이 $(S_v)_{max}$ 값이 전반적으로 낮게 나타나는 것으로 보아 점화 가능한 혼합기 영역이 좁아지고 있음을 예측할 수 있다. 이러한 현상은 dP/dt 와 화염사진을 통해서도 분위기 온도(Ta)가 낮아짐에 따라 연소특성이 나빠지고 있음을 알 수 있다.

3.6 혼합기 분포에 따른 $(S_v)_{max}$ 특성

Fig. 11은 당량비 0.2, 분위기 압력이 0.7MPa일 때 $(S_v)_{max}$ 의 계산 값을 나타낸 결과이다. 이러한 $(S_v)_{max}$ 계산은 연소사진에서 복잡한 연소속도를 계산하지 않아도 된다는 이점을 가지고 있다. 또한 $(S_v)_{max}$ 는 성층 정도로서 제안되었고 2.2장의 (a)와 (b)를 종합해서 평가할 수 있다고 말할 수 있겠다. 그러한 타당성이 다음과 같은 결과로써 잘 나타나 있고, 앞서서 기술하였듯이 연소속도가 빠르며, 압력상승률이 빠르다는 결과와도 잘 일치하고 있다.

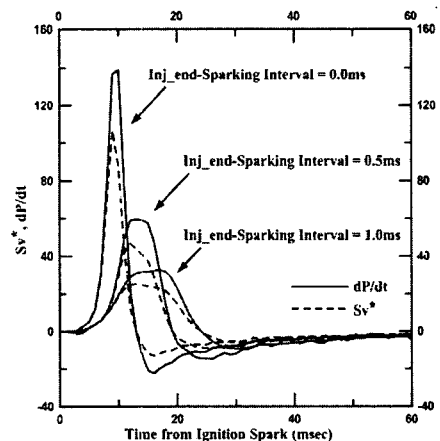


Fig. 9 Comparison between of $(S_v)^*$ and dP/dt

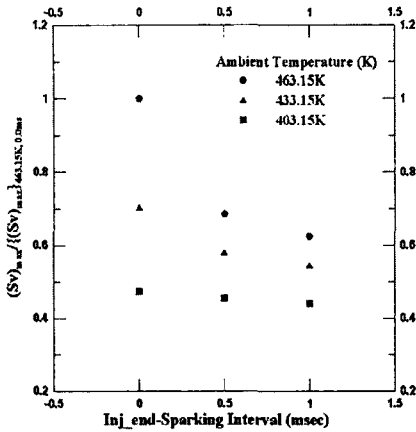


Fig. 10 Effects of ambient temperature on stratification degree $(S_v)_{max}$

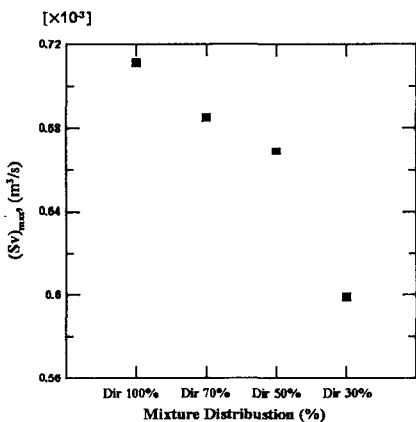


Fig. 11 Effect of mixture distribution on stratification degree $(S_v)_{max}$ (Equivalence Ratio = 0.2, Ambient Pressure = 0.7MPa)

4. 결론

(1) 연소실내 당량비가 초 희박한 경우에도 연료의 성층화에 의해 연소가 가능하며 급속 연소에 의한 연소 시간의 단축과 연소 압력의 증가로 출력의 증가를 가져 올 수 있다.

(2) 연소실내의 동일한 당량비 하에서 성층 연소의 경우 예혼합 연소에 비해 높은 압력을 나타내며, 급속 연소를 가능하게 하여 연소 효율을 증대시킬 수 있다.

(3) 당량비 0.2와 같은 초희박 한계에서도 압축 행정 말기와 같은 0.6~1MPa 정도의 높은 분위기

압력과 강한 유동장을 이용한다면 연소기간의 단축을 초래하여 희박 가연 한계를 확장시킬 수 있다.

(4) 연소실내의 동일한 당량비 하에서 성층 연소의 경우 예혼합 연소에 비해 높은 압력을 나타내며, 급속 연소를 가능하게 하여 연소 효율을 증대시킬 수 있다.

(5) 분위기 온도(T_a)가 감소함에 따라 연소특성이 나빠짐을 알 수 있었으며 이는 점화 가능한 혼합기 영역이 좁아지기 때문이라고 생각된다.

(6) 예혼합 비율이 증가함에 따라 성층 정도를 나타내는 $(S_v)_{max}$ 값이 작아지는 결과를 통하여 점화 플러그 주변의 혼합기 형성이 이루어 지지 않고 있음을 알 수 있다.

(7) 성층 정도로서 최대 체적 연소속도를 소개하였으며, 이 값은 점화 플러그 주위에 농후한 혼합기를 형성하는 Dir_100%인 경우 가장 높게 나타나고 있다. 또한 압력 상승률과 연소 속도 등의 결과와 관련하여 최대 체적 연소 속도 $(S_v)_{max}$ 가 성층 정도를 평가할 수 있는 지표로서 사용가능함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 연소기술센터(CERC)의 후원을 받아 수행되었으며, 관계기관에 진심으로 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- (1) Masahlko Fujimoto, Kelya Nishida, Hiroyuki Hiroyasu and Michihiko Tabata, 1995, "Influence of Mixture Stratification Pattern on Combustion Characteristics in a Constant-Volume Combustion Chamber," SAE Trans., No. 952412.
- (2) Naoki Shiraiishi, Kazuhito Sakai, Syoji Nagasaka, Takayoshi Takano and Hiroshi Sami, 2001, "A Study on Direct Injection Gasoline Combustion Using Constant Volume Combustion Vessel," COMODIA 2001, pp. 178~186.
- (3) Tomoda, T., Sasaki, D., Sawada, D., Saito, A. and Sami, H., 1997, "Development of Direct Injection Gasoline Engine-Study of Stratified Mixture Formation," SAE Trans., No. 970539.

- (4) Karl, G., Kemmler, R., Bargende, M. and Abthoff, J., 1997, "Analysis of a Direct-Injected Internal Combustion Engine," SAE Trans., No. 970624.
- (5) Hiroshi Sami, Takayoshi Takano, Masashi Horie, Naoki Shiraishi, Yoshiro Higuchi and Kiyomi Kawamura, 2003, "Stratification Feature of Swirl Nozzle Sprays and Slit Nozzle Spray in DI Gasoline Combustion," SAE Trans., No. 2003-01-1812.
- (6) Pae, S. S., Lee, K. C. and Min, K. D., 2001, "Measurements of Equivalence Ratio in the Spark Plug Gap and Its Effects on Combustion Under Stratified Mixture Conditions in a Constant Volume Chamber," *Trans. of the KSME B*, Vol. 25, No. 10, pp. 1311~1317.
- (7) Hong, M. S. and Kim, K. S., 1994, "A Study on Direct Injection Stratified Charge Combustion with Spark Ignition in Constant Volume Bomb," *Trans. of the KSAE B*, Vol. 2, No. 5, pp. 30~40.